MANUAL DE BOAS PRÁTICAS DE MANEJO DO ALGODOEIRO EM MATO GROSSO

imamt
INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO

AMPA

CUIABÁ (MT) – 2025

MANUAL DE
BOAS PRÁTICAS DE MANEJO DO ALGODOEIRO
EM MATO GROSSO

JEAN- LOUIS BÉLOT & PATRICIA M. C. A. VILELA
EDITORES TÉCNICOS

5ª EDIÇÃO – 2025

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO

CUIABÁ (MT)
2025

2025
Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodoeiro em Mato Grosso

EDITOR
IMAmt
www.imamt.com.br
Ampa
www.ampa.com.br

EDITORES TÉCNICOS
Jean-Louis Bélot
Patricia M. C. A. Vilela

PROJETO GRÁFICO
Editora Casa da Árvore
editoracasadaarvore.com.br

PUBLICAÇÃO
5ª edição- Revista e ampliada

ISBN
978-85-66457-20-9

CONTATO
Rua Eng. Edgard Prado Arze, 1777 Ed. Cloves Vettorato - 2º andar, Quadra 03
Setor A - Centro Político Administrativo
CEP: 78049-015
Cuiabá - MT

PARCERIAS E AGRADECIMENTOS

O presente manual é o resultado de um trabalho coletivo que envolveu técnicos das seguintes instituições:

- IMAmt - Instituto Mato-Grossense do Algodão
- Abrapa
- Amipa
- Cirad - Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- Embrapa Agrobiologia
- Embrapa Agropecuária Oeste
- Embrapa Algodão
- Embrapa Cerrados
- Embrapa Informática Agropecuária
- Embrapa Instrumentação
- Embrapa Milho e Sorgo
- Fundação MT
- IAC - Instituto Agronômico de Campinas
- IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná

Universidades

- UFMT
- UFPE
- UFR
- UFV
- Unesp - Campus Botucatu
- UniRV
- UNIVAG
- UNOESTE
- USP/Esalq Piracicaba

Empresas privadas

- Centro Brasileiro de Bioaeronáutica (CBB)
- Ceres Consultoria
- Cotimes do Brasil
- Dutra Projetos Ltda
- JF Consultoria
- NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica
- Origens Parcerias Agrícolas Ltda
- SLC Agrícola

Participantes dos grupos de trabalho para definição de diretrizes sobre Manejo de Pragas e Doenças e sobre Sistemas de Cultivos:
Jonas Souza Guerra, Cid Ricardo dos Reis, Gustavo D. F. Gianluppi, Elton J. Emanuelli, Guilherme A. Ohl, Luis Faeda, Volnei Viera, Francis Weber, Carlos Paiva, Marcio Souza, Daniel Cassetari e Inácio Modesto Filho.

O Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt) informa que todos os depoimentos, informações e opiniões contidas neste Manual são de inteira responsabilidade dos autores que contribuiram para sua elaboração.

Agradecemos por suas valiosas contribuições.

PALAVRA DO PRESIDENTE

Informação e conhecimento para o setor algodoeiro

Nosso "**Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodoeiro em Mato Grosso**" tornou-se, ao longo dos anos, uma referência para os técnicos da produção algodoeira. A quarta edição foi realizada em 2020. Por isso, encarregamos a equipe técnica do IMAmt de coordenar a atualização de diversos capítulos do Manual, convidando também novos autores a compartilhar seus conhecimentos em áreas que não haviam sido ainda abordadas nesta publicação.

Para manter sua competitividade, o produtor e suas equipes técnicas precisam estar atentos à evolução dos problemas da cultura algodoeira e às inovações que podem ser desenvolvidas para resolvê-los. Alguns temas evoluem mais rapidamente que outros, razão pela qual modificamos a apresentação do Manual, a fim de permitir a atualização de cada capítulo, separadamente, quando necessário.

Para tratar de assuntos específicos, o IMAmt conseguiu reunir alguns dos melhores especialistas de cada área, que compartilharam conhecimentos teóricos e recomendações práticas de manejo. Acreditamos que a publicação dessas informações técnicas, sejam elas novas ou já consolidadas, nos permite colocar à disposição de estudantes, técnicos, consultores e demais envolvidos na cadeia produtiva um acervo de conhecimento indispensável à sustentabilidade da cotonicultura.

Muitas pessoas e instituições colaboraram na construção desta reedição do Manual, às quais quero manifestar meus sinceros agradecimentos por poder tê-las como parceiras. Também agradeço, especialmente, à equipe do IMAmt, cujo empenho foi fundamental para que pudéssemos concluir esta publicação.

Orcival Gouveia Guimarães
Presidente
Ampa - IMAmt

Em relação a tudo aquilo que não foi possível abordar neste Manual, assim como quanto aos pontos em que possa haver discordância quanto à abordagem adotada, esperamos que possamos receber críticas construtivas que nos permitam evoluir cada vez mais nas próximas edições.

MANUAL DIVULGA INFORMAÇÕES TÉCNICAS A PRODUTORES E É RESULTADO DO TRABALHO DE DIVERSAS INSTITUIÇÕES E SUAS EQUIPES DE PESQUISA

QUEM SOMOS

O Instituto Mato-Grossense do Algodão tem o propósito de oferecer total suporte as pesquisas necessárias para o desenvolvimento e fortalecimento da cotonicultura. Além de profissionais altamente capacitados, possui uma ampla infra-estrutura no campo experimental em Primavera do Leste, e nos cincos centros técnicos e difusão tecnologica (CTDT) distribuidos no estado. O IMAmt conta com laboratórios de biologia molecular, fitopatologia, sementes e entomologia, estrutura para beneficiamento, armazenamento de sementes, deslintamento, câmaras frias.

IMAmt

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

PARTE A: CONTEXTO EDAFO-CLIMÁTICO E ECONÔMICO PARA O CULTIVO ALGODOEIRO
1.1 O cultivo algodoeiro em Mato Grosso ..... 1.1 - 1
1.2 Produtividade do cultivo algodoeiro em Mato Grosso: chuva, solo e época de plantio ..... 1.2 - 1
1.3 Zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados: abrangência em 2025 ..... 1.3 - 1
1.4 Gestão operacional e custo de produção de algodão ..... 1.4 - 1

PARTE B: SOLOS E SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA O ALGODOEIRO
2.1 Sistemas de cultivo do algodoeiro ..... 2.1 - 1
2.2 Sistemas alternativos em plantio direto de alta performance ..... 2.2 - 1
2.3 Manejo do solo no cultivo do algodão ..... 2.3 - 1
2.4 Agricultura de precisão e digital: tecnologias para o algodoeiro ..... 2.4 - 1
2.5 Levantamento da área, amostragem de solo e de folhas para diagnóstico e planejamento ..... 2.5 - 1
2.6 Tecnologia de bioanálise de solo (BioAS): uma forma simples e eficiente para avaliar a saúde dos solos sob cultivo de algodão ..... 2.6 - 1

PARTE C: A PLANTA DE ALGODÃO
3.1 Crescimento do algodoeiro ..... 3.1 - 1
3.2 Distribuição da produção no algodoeiro: conceitos, fatores ecofisiológicos e implicações sobre a produtividade e sobre a qualidade de fibra ..... 3.2 - 1

PARTE D: IMPLANTAÇÃO DA LAVOURA DE ALGODÃO
4.1 A qualidade das sementes ..... 4.1 - 1
4.2 Escolha da variedade ..... 4.2 - 1
4.3 Implantação da cultura ..... 4.3 - 1

PARTE E: CONDUÇÃO DA LAVOURA
5.1 Correção do solo e adubação da cultura ..... 5.1 - 1
5.2 Importância da tecnologia de aplicação para a cotonicultura ..... 5.2 - 1
5.3 Sistemas avançados de aplicação UBV, BVO e SAM ..... 5.3 - 1
5.4 Pulverização eletrostática para uso agrícola ..... 5.4 - 1
5.5 Manejo de plantas daninhas na cultura do algodão ..... 5.5 - 1
5.6 Controle de doenças no algodoeiro em Mato Grosso ..... 5.6 - 1
5.7 Manejo integrado de pragas no algodoeiro em Mato Grosso ..... 5.7 - 1
5.8 Manejo de nematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso ..... 5.8 - 1
5.9 Manejo de reguladores de crescimento no algodoeiro ..... 5.9 - 1
5.10 Manejo de desfolha ..... 5.10 - 1
5.11 Destruição dos restos culturais do algodoeiro (soqueira) ..... 5.11 - 1
5.12 Manejo da água em sistemas irrigados ..... 5.12 - 1

PARTE F: PRODUÇÃO DE UMA FIBRA DE QUALIDADE
6.1 Maximizar a rentabilidade do cultivo algodoeiro, produzindo uma fibra de qualidade e valorizando os coprodutos .. 6.1 - 1
6.2 Uso adequado das colheitadeiras ..... 6.2 - 1
6.3 Preservar a qualidade da fibra no beneficiamento ..... 6.3 - 1
6.4 A fibra de algodão: qualidade e classificação ..... 6.4 - 1
6.5 Valorização dos coprodutos do algodoeiro com foco na alimentação animal ..... 6.5 - 1

PARTE G: MANEJO SUSTENTÁVEL DO CULTIVO ALGODOEIRO
7.1 ESG na produção algodoeira ..... 7.1 - 1
7.2 Riscos ocupacionais na cadeia produtiva do algodão: do plantio à colheita ..... 7.2 - 1
7.3 Como limitar o impacto do cultivo do algodão sobre o meio ambiente ..... 7.3 - 1
7.4 Controle biológico baseado em microrganismos como ferramenta no manejo integrado de doenças e pragas do algodoeiro ..... 7.4 - 1
7.5 Controle Biológico com macrorganismos ..... 7.5 - 1
7.6 Sistemas agroecológicos de manejo e indicadores de sustentabilidade no cultivo do algodão no Cerrado brasileiro ... 7.6 - 1
7.7 Contexto e oportunidades para fazendas de algodão no mercado de carbono e na adaptação às mudanças climáticas ..... 7.7 - 1

INFORMAÇÃO SOBRE OS AUTORES 1

JEAN-LOUIS BÉLOT

PATRICIA M. C. A. VIELA

Pesquisadores do IMAmt
Editores Técnicos do Manual

INTRODUÇÃO

A cultura algodoeira mato-grossense é completamente mecanizada, empregando um manejo altamente tecnificado. Esses avanços são resultado de mais de vinte anos de trabalho de diversos agentes: do próprio produtor, das instituições de pesquisa públicas e privadas, de consultores e das empresas nacionais e internacionais desenvolvedoras de insumos e fabricantes de máquinas agrícolas.

A complexidade do manejo desse cultivo justifica o grande número de suportes de difusão de tecnologia utilizados para facilitar a realização de treinamentos e capacitações, tanto para os agrônomos como para todos os membros do quadro técnico das fazendas. O treinamento contínuo de jovens profissionais é um dos elementos-chave para a continuidade dessa atividade produtiva.

Empenhados nesse esforço de difusão de tecnologia e de informações, a Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão (Ampa) e o Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt) conseguiram mobilizar esforços dos melhores especialistas em manejo do algodoeiro para publicar esta **5ª edição do "Manual de Boas Práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso".**

Além de abordar os conceitos científicos que embasam as recomendações de manejo, os autores disponibilizaram, neste material, suas próprias recomendações sobre métodos, técnicas e processos, que servirão como referência imprescindível no dia a dia dos técnicos das fazendas algodoeiras.

Esse Manual foi editado pela primeira vez em 2012 e, desde então, vem sendo atualizado periodicamente a cada 4 ou 5 anos, com o acréscimo de informações relevantes para o produtor. Percebemos, porém, que as informações de alguns dos capítulos acabam ficando especialmente desatualizadas muito rapidamente, enquanto o mesmo não ocorre necessariamente com outros capítulos. Por essa razão, decidimos mudar a forma de publicação do Manual e passar a disponibilizá-lo unicamente em formato digital. Isso irá permitir a atualização individual dos capítulos – o que pode ser feito anualmente, conforme necessário. O objetivo do IMAmt é, a partir de agora, disponibilizar novas versões deste Manual em dezembro de cada ano, através de seu site na internet.

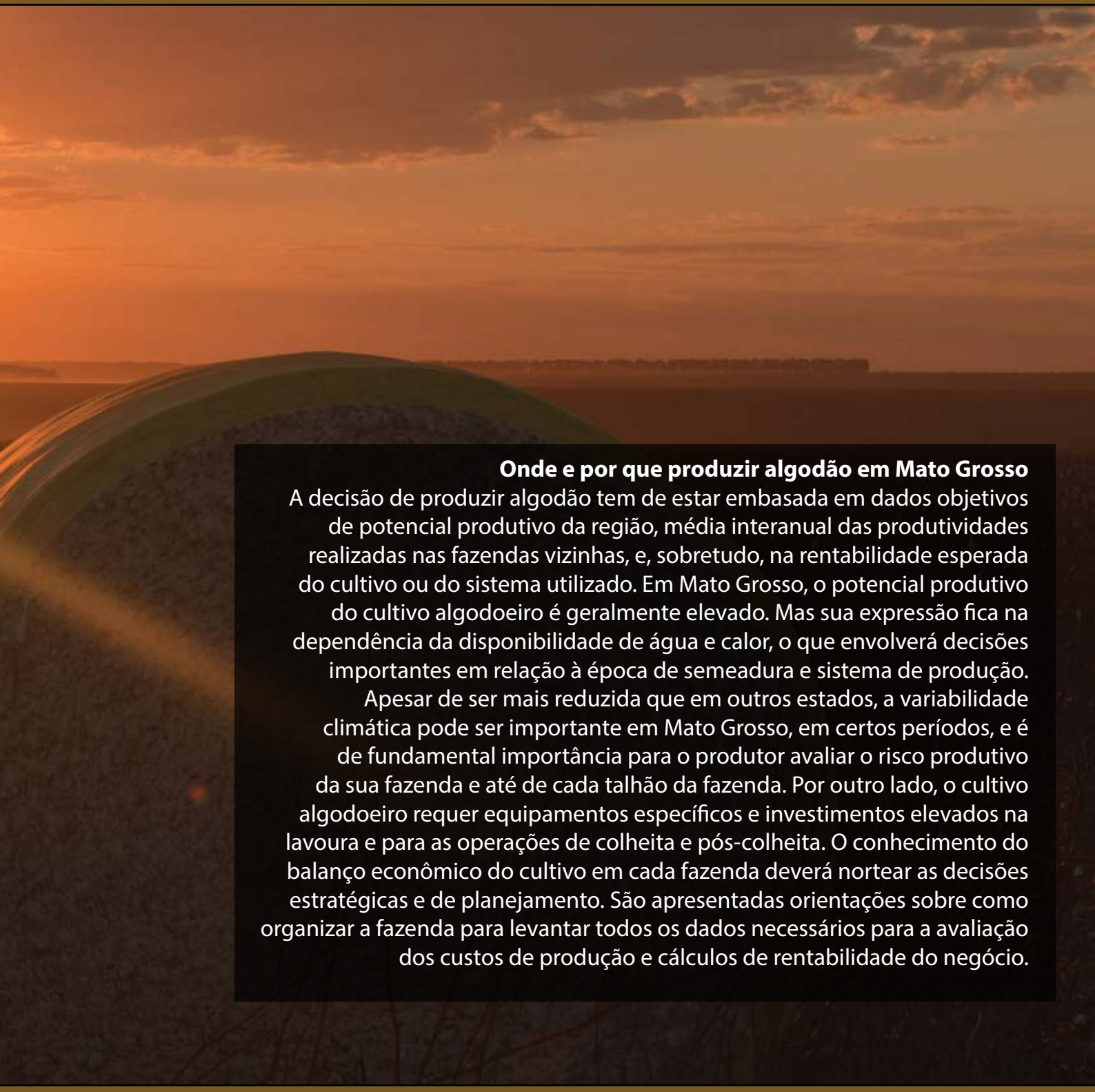
Juntamente com os demais materiais elaborados e disponibilizados pelo IMAmt (incluindo Manuais, Boletim de P&D, Circulares Técnicas, entre outros), acreditamos que esta publicação seja uma ferramenta importante para o cotonicultor mato-grossense assegurar boa produtividade e a lucratividade de sua lavoura. Agradecemos mais uma vez o esforço de todos os colegas e amigos envolvidos na realização deste Manual, esperando, com isso, contribuir para a difusão do conhecimento e da pesquisa sobre a cultura algodoeira.

AMPA

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CONTEXTO

EDAFOCLIMÁTICO E ECONÔMICO PARA O CULTIVO ALGODOEIRO



Onde e por que produzir algodão em Mato Grosso

A decisão de produzir algodão tem de estar embasada em dados objetivos de potencial produtivo da região, média interanual das produtividades realizadas nas fazendas vizinhas, e, sobretudo, na rentabilidade esperada do cultivo ou do sistema utilizado. Em Mato Grosso, o potencial produtivo do cultivo algodoeiro é geralmente elevado. Mas sua expressão fica na dependência da disponibilidade de água e calor, o que envolverá decisões importantes em relação à época de semeadura e sistema de produção. Apesar de ser mais reduzida que em outros estados, a variabilidade climática pode ser importante em Mato Grosso, em certos períodos, e é de fundamental importância para o produtor avaliar o risco produtivo da sua fazenda e até de cada talhão da fazenda. Por outro lado, o cultivo algodoeiro requer equipamentos específicos e investimentos elevados na lavoura e para as operações de colheita e pós-colheita. O conhecimento do balanço econômico do cultivo em cada fazenda deverá nortear as decisões estratégicas e de planejamento. São apresentadas orientações sobre como organizar a fazenda para levantar todos os dados necessários para a avaliação dos custos de produção e cálculos de rentabilidade do negócio.

Renato Tachinardi
IMAmt

Equipe dos ATR
IMAmt

Jean L. Belot
IMAmt

CAPÍTULO I.I

O cultivo algodoeiro em Mato Grosso

Capítulo publicado originalmente na edição de 2014/15, elaborado por Tachinardi e equipe dos ATR, e posteriormente atualizado na edição de 2019/20. Nesta edição de 2025, contou com a atualização de Jean L. Belot.

1. Breve história do cultivo algodoeiro no Estado de Mato Grosso

O cultivo algodoeiro no Estado de Mato Grosso é antigo. Essa história é contada em detalhes por Baptista (2016), complementada pela evolução do beneficiamento no Brasil por Belot *et al.* (2025).

Desde os anos 1960, pequenos agricultores da região de Rondonópolis e Pedra Preta (e, depois, da região de Cáceres, Mirassol do Oeste etc.) plantavam, a cada ano, cerca de 10 mil a 20 mil ha de algodão, no modelo de produção antigo, com colheita manual e uso de poucos insumos e tecnologia.

O cultivo moderno começou em 1988 (Itamarati Norte), com a proposta do algodão como alternativa de rotação para a cultura da soja. Esse novo modelo produtivo, de algodão mecanizado em áreas de Cerrado, desenvolveu-se nos anos 1990 e não parou de crescer até Mato Grosso tornar-se o primeiro Estado produtor de algodão do Brasil (Figura 1) e o Brasil, o primeiro exportador mundial de fibra em 2024, superando os Estados Unidos.

Os dados atualizados de produção algodoeira – mundial, nacional ou por estado – podem ser consultados nos sites seguintes.

Dados internacionais

Consultar o site do ICAC: https://icac.org/publications/statistics

World Cotton Statistics é de acesso livre no endereço: https://icac.shinyapps.io/ICAC_Open_Data_Dashboaard/#

Dados do algodão do Brasil

Muitos dados sintéticos podem ser encontrados no site da ABRAPA (www.abrapa.com.br), em "DADOS/SAFRA BRASIL", oriundos do BI Cotton Brazil. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDFhMDlhZjYtZTljNi00NjNmLWIwMDEtOGY4OGE1OTE5ZmE1IiwidCI6IjRhMDk1OGIzLTg4MWQtNDBmYS05NTU1LTIwODQ1MzdhYWZkMyJ9&pageName=ReportSection10c4aa5d90c47641852d.

Outra fonte interessante de séries estatísticas algodoeiras nacionais é o site da CONAB, no seguinte endereço: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas/graos/algodao.

Dados do algodão do Mato Grosso

No site do IMEA (Instituto Mato-Grossense de Economia Agrícola) (https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado), são disponibilizados diversos relatórios, desde o plantio até a colheita, incluindo estimativas de custos de produção, oferta e demanda etc.

A área algodoeira do Brasil, desde 2000/2001, oscila entre 800 mil e 2 milhões de hectares, cultivados principalmente no Centro-Oeste do país. Chegou a 2.085 milhões de hectares em 2024/25 (Figura 1).

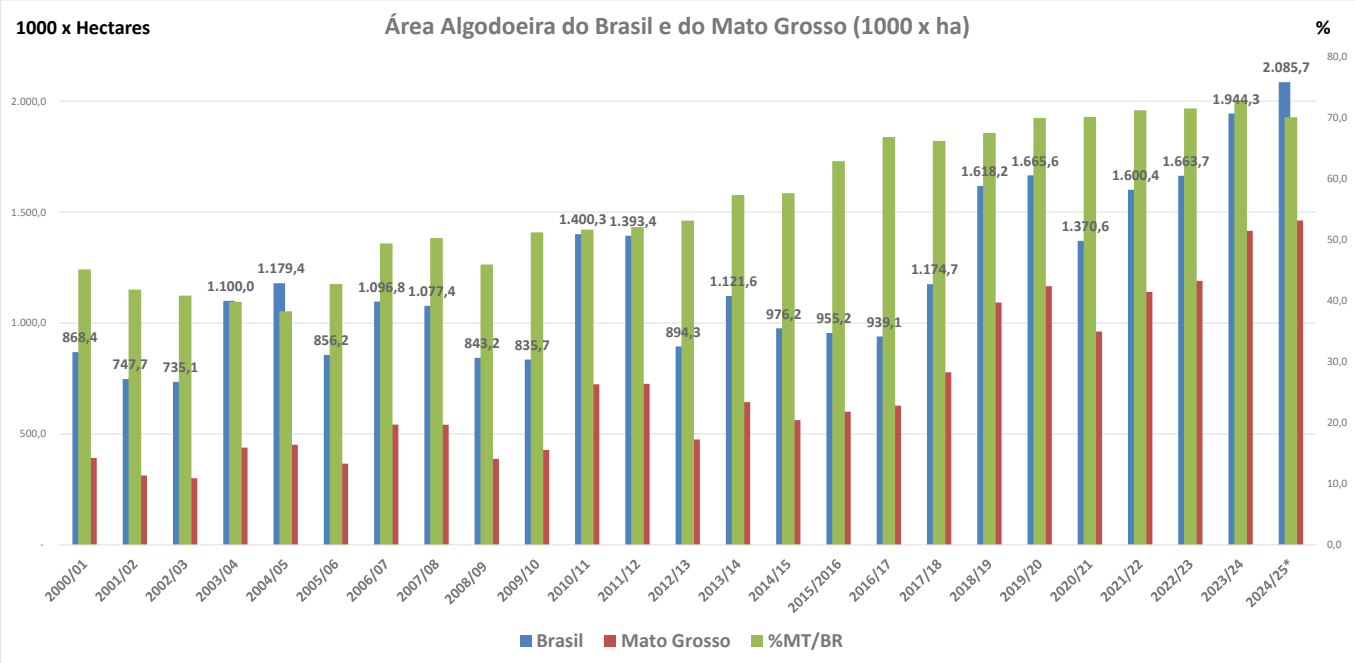


Figura 1. Evolução da área algodoeira de Mato Grosso (Conab, 2025)

A partir da safra 2009/2010, Mato Grosso passou a representar mais de 50% dessa área, ultrapassando 70% da área nas 6 últimas safras. Tudo indica que o estado de Mato Grosso manterá esse patamar de 1,5 milhões de hectares nos próximos anos.

2. Evolução do cultivo algodoeiro e do sistema produtivo em Mato Grosso nos últimos anos

Os agrônomos do IMAmt (ATR), encarregados da assistência técnica nos diversos núcleos produtores de algodão da Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão (Ampa), realizam, a cada ano, um levantamento detalhado da área plantada em cada fazenda. Essa base de dados da Ampa permite gerar informações muito precisas sobre a evolução das áreas e do manejo do cultivo.

2.1. Áreas

Dos 1,515 milhões de hectares plantados em Mato Grosso na safra 2024/25, a repartição por núcleos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Repartição da cultura por Núcleo de produção (Safra 2024/ 25- MT)

Núcleo	Hectares	%
Centro (Campo Verde, Jaciara etc.)	150.615,60	9,86
Centro leste (Primavera do Leste, Santo Antônio do Leste etc.)	146.893,40	9,62
Centro leste Araguaia (Querência, Canarana etc.)	85.623,90	5,61
Médio norte (Campo Novo do Parecis,Tangará da Serra etc.)	322.269,70	21,11
Noroeste (Sapezal, Campos de Julio etc.)	299.377,60	19,61
Norte 1 (Nova Mutum, Lucas do Rio Verde etc.)	241.627,50	15,82
Norte 2 (Sorriso, Sinop etc.)	230.630,50	15,10
Sul (Rondonôpolis, Itiquira etc.)	49.865,60	3,27
TOTAL	**1.526.903,80**	**100,00**

O sul do estado (ao sul da latitude de Cuiabá) apresenta área bem estabilizada, principalmente nos núcleos de Campo Verde e Primavera do Leste. O núcleo sul (Rondonópolis, Serra da Petrovina e Itiquira) reduziu muito o cultivo algodoeiro nos últimos anos, devido principalmente às altas infestações de nematoides, que afetam o potencial produtivo da cultura.

Nessa parte do estado, indo mais para a região leste, o Vale do Araguaia (Canarana, Querência, São Félix do Araguaia) apresenta tendência de forte crescimento da cultura para os próximos anos.

Porém, as principais regiões algodoeiras de Mato Grosso atualmente se encontram nos núcleos de Campo Novo do Parecis, Sapezal e no eixo central da BR-163 (de Nova Mutum até Sinop). O crescimento da cultura é significativo no norte do estado, na região ao redor e ao norte de Sinop.

2.2. Produtividade

Dados do IBGE permitem apresentar a evolução da produtividade da cultura no estado (Figura 2).

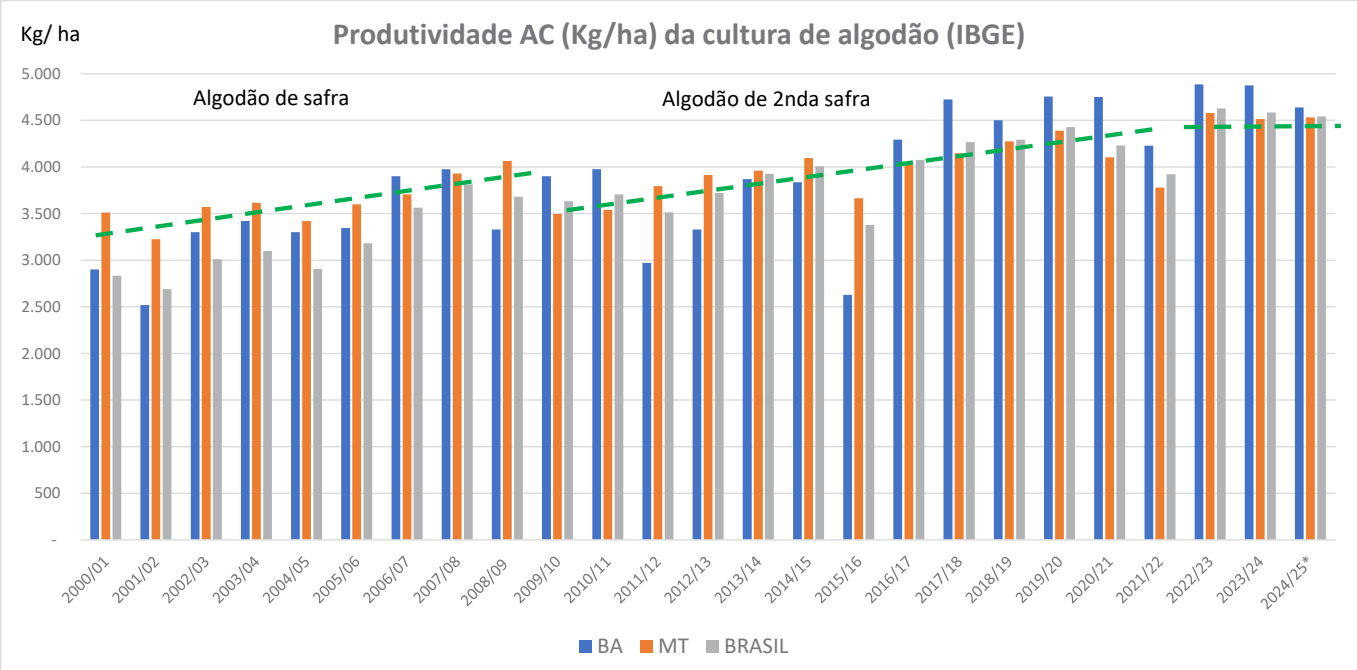


Figura 2. Produtividade de algodão em caroço (AC) no Brasil e para alguns estados (Fonte: elaborado a partir dos dados do IBGE (*) Estimativos IBGE)

Devido a condições climáticas adequadas, a safra 2024/25 foi a segunda safra de maior produtividade em 25 anos de história da cultura no estado, ficando atrás apenas da safra recorde de 2022/23. A produtividade média do estado está estabelecida em torno de 4500 kg/ha de algodão em caroço, resultando em aproximadamente uma média de 120@/ha de fibra – produtividade muito elevada para um algodão conduzido principalmente em sequeiro.

É interessante notar também que, apesar de a cultura de algodão em Mato Grosso ter se tornado, a partir dos anos 2010/11, uma cultura de segunda safra após a soja precoce, a produtividade aumentou constantemente até a safra 2022/23. Esse crescimento deve-se principalmente à adaptação das novas variedades de algodão e ao manejo do sistema soja-algodão.

2.3. Sistemas de cultivo

Diversos sistemas de cultivo são encontrados em Mato Grosso (Figura 3).

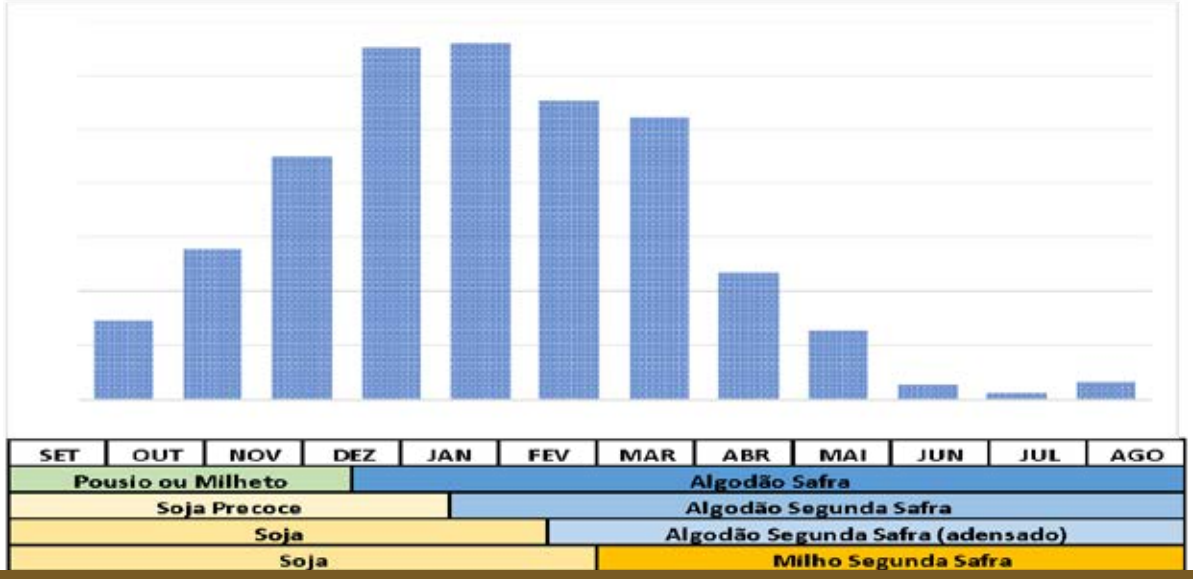


Figura 3. Os principais sistemas de cultivo em Mato Grosso em função da pluviometria mensal

Atualmente, o sistema de produção na modalidade de "alta densidade" (também chamado antigamente de algodão adensado) não existe mais em Mato Grosso. Nos últimos anos, a proporção do algodão cultivado em segunda safra aumentou consideravelmente (Figura 4), estabelecendo-se em torno de 80-85% da área, em função do regime pluviométrico do ano, o que evidencia a preocupação do produtor mato-grossense em intensificar a produção agrícola em suas terras (Lamas & Chitarra, 2022).

Mato Grosso- Safra 2024/25	
Sistema Cultivo	**Porcentagem**
1ª safra	10,60
2ª safra	89,40

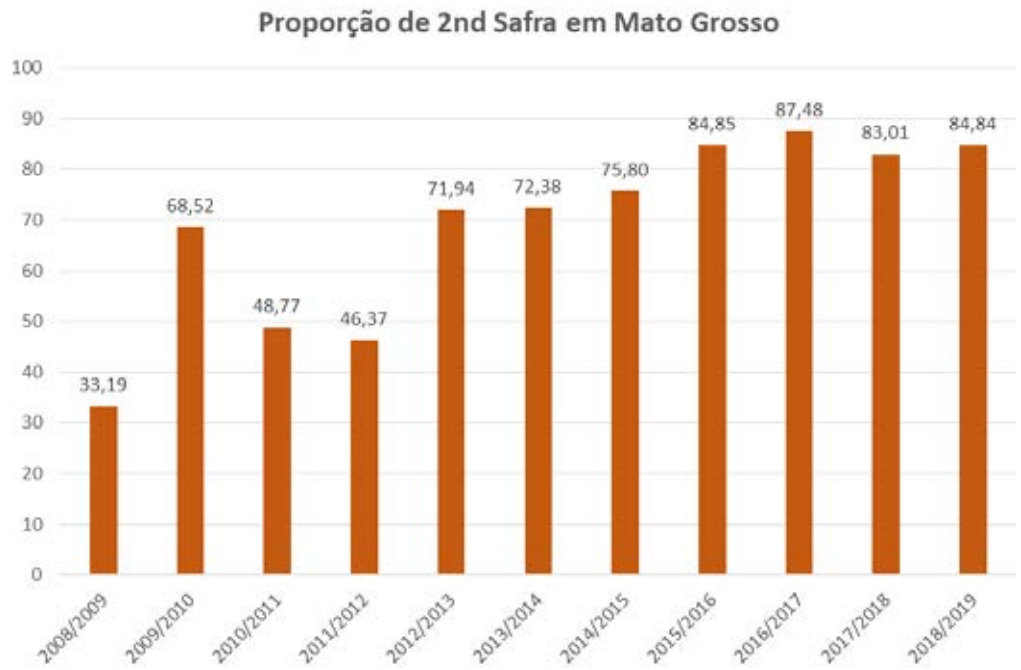


Figura 4. Evolução da área de algodão de segunda safra em Mato Grosso (AMPA, 2025)

Essa tendência fica ainda mais nítida quando se observa o atraso do plantio de algodão nos últimos anos (Figura 5). Atualmente, a maior parte da área de Mato Grosso é plantada em janeiro, enquanto, alguns anos atrás, o mês de dezembro era geralmente o de maior plantio de algodão.

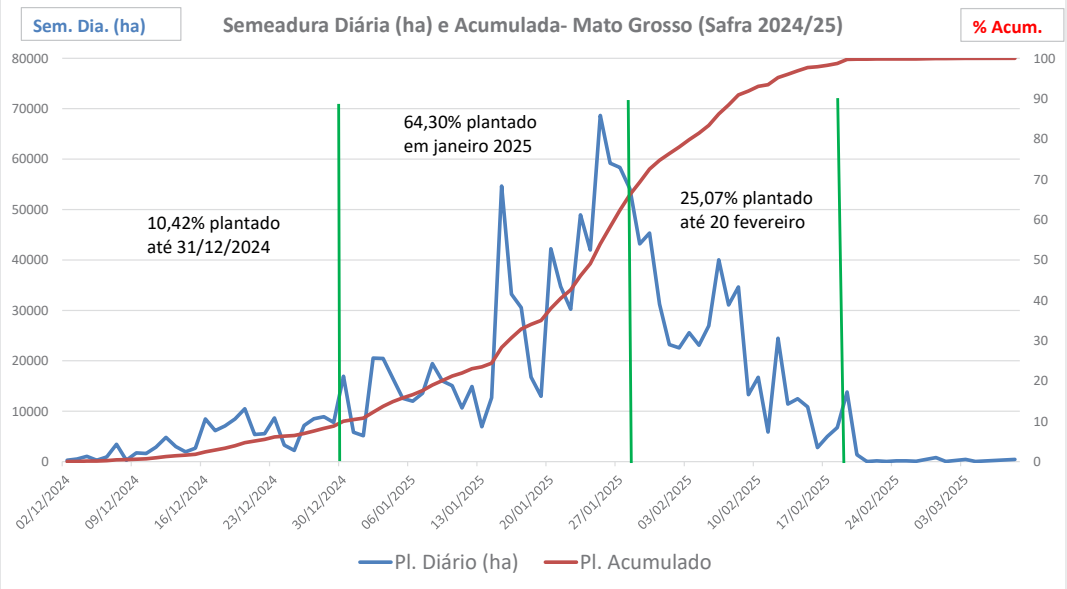


Figura 5. Data de semeadura do algodoeiro em Mato Grosso para a safra 2024/25 (Fonte: AMPA, 2025)

Com o atraso das chuvas no final de 2024, houve atraso no plantio da soja precoce, deslocando parte do plantio do algodão para a segunda quinzena de janeiro de 2025 e para a primeira quinzena de fevereiro de 2025. Quase 65% do plantio foi realizado em janeiro. Felizmente, o prolongamento das chuvas em abril e maio resultou em boas produtividades, apesar desse atraso no plantio.

2.4. Custos de produção

Os custos de produção são tratados em detalhes no Capítulo 1.2 deste Manual. No site do IMEA (https://www.imea.com.br/imea-site/), podem ser encontrados dados atualizados sobre o custo de produção.

Os custos de produção do algodão em Mato Grosso são elevados (em torno de US$ 2.000-2.500/ha), principalmente devido aos tipos de solos do Cerrado, que requerem aportes elevados em corretivos e fertilizantes, às condições de clima tropical úmido, muito favoráveis a pragas e doenças.

3. Evolução do uso das biotecnologias no cultivo algodoeiro em Mato Grosso

A totalidade das variedades cultivadas em Mato Grosso é transgênica. A evolução das biotecnologias é importante ao longo das safras, tanto em função da evolução das dificuldades de manejo a campo (como a evolução da resistência de algumas pragas e/ou plantas daninhas a inseticidas ou biotecnologias), quanto em função das variedades comerciais apresentadas (ciclo, desempenho agronômico e de qualidade da fibra). Para a safra 2024/25, a Figura 6 apresenta a distribuição das tecnologias nas áreas de Mato Grosso.

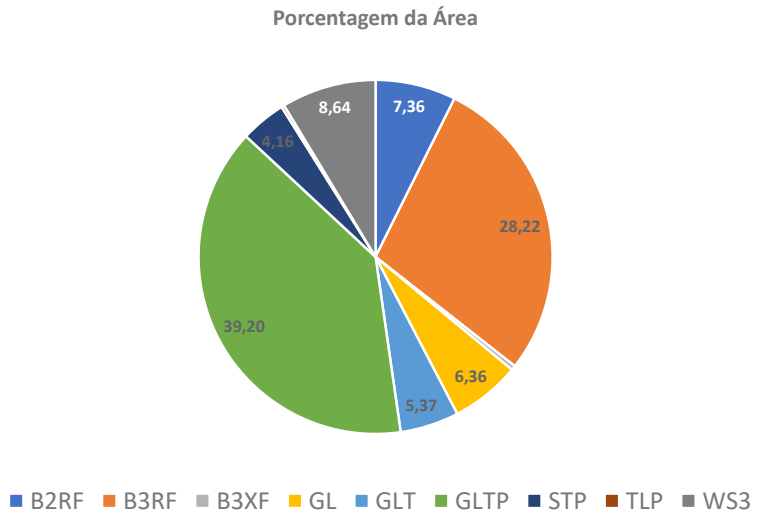


Figura 6. Tecnologias usadas pelos produtores de algodão de MT - Safra 2024-25 (Fonte: AMPA, 2025)

Da mesma forma, há uma rotatividade muito grande das variedades de um ano para outro. Os dados da Tabela 2 mostram essas evoluções.

Tabela 2. Evolução das variedades plantadas em MT (Fonte: AMPA, 2025)

MÉDIO NORTE- 2022/23	%
FM 944GL	15.48
TMG 44B2RF	14.26
FM 985GLTP	10.42
TMG 22GLTP	8.08
IMA 5801B2RF	6.23
FM 978GLTP RM	5.61
FM 906GLT	4.09
IMA 2106GL	3.85
FM 911GLTP	3.72
TMG 91WS3	3.36

MÉDIO NORTE- 2023/24	%
FM 978GLTP RM	14.97
TMG 22GLTP	12.11
TMG 44B2RF	11.82
FM 944GL	8.71
TMG 31B3RF	5.98
FM 906GLT	5.89
IMA 2106GL	5.54
FM 911GLTP	5.18
FM 985GLTP	5.04
FM 974GLT	4.85

MÉDIO NORTE- 2024/25	%
FM 911GLTP	13.02
FM 912GLTP RM	10.36
FM 906GLT	9.46
DP 1949 B3RF	8.49
TMG 31B3RF	5.07
TMG 33B3RF	4.60
FM 944GL	4.07
FM 978GLTP RM	4.00
TMG 22GLTP	3.92
TMG 44B2RF	3.44

NOROESTE- 2022/23	%
TMG 44B2RF	25.78
FM 985GLTP	17.15
FM 978GLTP RM	9.33
TMG 31B3RF	7.98
TMG 22GLTP	7.52
FM 974GLT	5.57
TMG 61RF	4.99
FM 944GL	3.68
IMA 5801B2RF	3.55
TMG 47B2RF	2.72

NOROESTE- 2023/24	%
FM 978GLTP RM	15.09
TMG 44B2RF	12.88
TMG 31B3RF	12.53
FM 974GLT	7.27
TMG 22GLTP	6.40
FM 985GLTP	3.88
DP 1949 B3RF	3.29
FM 911GLTP	3.19
FM 944GL	2.39
IMA 2106GL	2.20

NOROESTE- 2024/25	%
DP 1949 B3RF	11.01
FM 978GLTP RM	8.45
TMG 31B3RF	8.28
TMG 33B3RF	7.34
FM 911GLTP	7.15
FM 974GLT	4.89
FM 912GLTP RM	4.26
TMG 21GLTP	2.43
FM 945STP	2.05
DP 2176B3RF	1.47

Com a perspectiva de atraso no plantio da soja e do algodão, a safra 2024/25 em Mato Grosso favoreceu as variedades de ciclo mais precoce, aumentando significativamente as variedades FM 911GLTP e DP 1949B3RF.

4. Organização da cadeia produtiva- Perfil do cotonicultor mato-grossense

A cadeia produtiva do algodão no Brasil e em Mato Grosso é detalhada em diversos estudos, como FIEMt (2019) e Ferreira *et al.* (2022) (Figura 7).

Figura 7. Processo produtivo do algodão (Fonte: Observatório da Indústria Mato-Grossense, 2019)

A fibra e os subprodutos da produção algodoeira começam a ser industrializados no estado, porém ainda em pequena escala, sendo a maioria deles vendida "in natura". Assim, Mato Grosso, primeiro produtor de fibra do Brasil, com 70% da produção nacional, ainda participa pouco no setor Têxtil e de Confecção (T&C), como evidenciado na Figura 8.

DISTRIBUIÇÃO DAS EMPRESAS DO SETOR T&C PELO BRASIL

Figura 8. Participação dos diversos estados do Brasil no setor de T&C (Fonte: Pimentel, 2025)

A eficiência da produção algodoeira de Mato Grosso é o resultado de diversos fatores:

- Produtores altamente mecanizados e estruturados;
- Alto nível de incorporação de inovações tecnológicas no campo;
- Recursos humanos (técnicos e agrônomos) muito bem treinados para o manejo da cultura;
- Altos investimentos industriais para o beneficiamento do algodão;
- Nível de organização dos produtores, por meio da Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão (Ampa).

O perfil dos produtores de algodão é relativamente diversificado, abrangendo desde produtores individuais, com áreas relativamente pequenas a médias, até grupos agroindustriais, coordenando a produção de algodão em áreas muito grandes em Mato Grosso (Grupo Bom Futuro, Amaggi, Bom Jesus, Scheffer etc.) ou no Brasil (SLC Agrícola).

Os produtores de algodão de Mato Grosso são muito bem organizados e representados pela Ampa e pela Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa).

Outras instituições, criadas pelos produtores de algodão de Mato Grosso, vêm complementando esse esquema de apoio:

O Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), braço tecnológico da Ampa, desenvolve trabalhos de pesquisa sobre os diversos cultivos de interesse dos produtores de algodão e realiza numerosas ações de treinamento e extensão agrícola para os técnicos das fazendas, ações de prevenção de incêndios nas algodoeiras e adequação das fazendas à legislação trabalhista e ambiental. O IMAmt opera em seis estações de pesquisa e centros de treinamento e difusão de tecnologia (CTA) presentes nas maiores regiões de produção algodoeira (Figura 9).

Figura 9. Principais estações de pesquisa e CTA do IMAmt em Mato Grosso (Fonte: IMAmt, 2025)

O IMAmt desenvolve pesquisas em diversas áreas (melhoramento genético do algodoeiro, fitopatologia, nematologia e matologia, controle fitossanitário, desenvolvimento de produtos para controle biológico etc.). Com uma equipe de técnicos de campo (ATR) localizados nos diferentes núcleos de produção do estado, o IMAmt conduz também ações regionais de interesse de todos os produtores de algodão do estado (Figura 10), tais como:

- Rede de monitoramento de pragas e de alerta, em particular visando o bicudo-do-algodoeiro;
- Organização de treinamentos de técnicos das fazendas algodoeiras (monitores de pragas, etc.);
- Destruição de plantas de algodão na beira das estradas;
- Assistência para a organização dos Grupos Técnicos do Algodão (GTA) em todas as regiões.

Figura 10. Ações regionais conduzidas pela equipe de ATR do IMAmt. (A) rede de armadilhamento para o bicudo-do-algodoeiro; (B) destruição de algodão na beira das estradas; treinamentos (C) e (D) (Fonte: ATR)

A Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Agronegócio (Comdeagro), cooperativa encarregada da comercialização dos produtos gerados pelo IMAmt, produz sementes de variedades de algodão e produtos biológicos em diversas unidades industriais.

Referências bibliográficas

BAPTISTA, M. **Algodão: os pioneiros que transformaram Mato Grosso em um grande produtor**. Cuiabá, MT: Entrelinhas. 2016. 183pp.

BELOT, J-L; CHANSELME, J-L; RIBAS, P. Introdução. In: Cuiabá, MT: IMAmt/ Ampa (Edt). **Manual de beneficiamento do algodão.** 2ª Edt. p. 6-21. 2025

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Series históricas**. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas/graos/algodao. Acesso em 10 set. 2025.

FERREIRA, B.N.; MONTEBELLO, A.E.S.; SANTOS, J.A.; MARJOTTA-MAISTRO, M.C. Cadeia produtiva do algodão no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, e298111031730, 2022.

FIEMT. **Cadeia produtiva do algodão - Oportunidades e dificuldades para a industrialização em Mato Grosso**. Boletim Setorial 1/2019. FIEMT.

LAMAS, F.M.; CHITARRA, L.G. Panorama Atual e Perspectivas da Cultura do Algodoeiro em Mato Grosso. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2022. **Documentos Embrapa**. N.148. 25 pp.

PIMENTEL, F.V. **Avaliação do mercado, conjuntura econômica e perspectivas para o setor têxtil e confecção.** Apresentação feita na Câmara Setorial da cadeia produtiva de algodão e derivados. 23 set. 2025. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/algodao/2025/80a-ro-23-09/camara-algodao-23-set.pdf Acesso em 24/09/2025.

José Holanda Campelo Júnior
UFMT

Ricardo Santos Silva Amorim
UFMT

CAPÍTULO I.2

Produtividade do cultivo algodoeiro em Mato Grosso: chuva, solo e época de plantio

Capítulo publicado originalmente na edição de 2014/15, sem atualizações até a edição de 2025, com exceção das variedades da Tabela 1, atualizada por Jean-L. Belot.

1. Avaliando o efeito da chuva sobre a produtividade

Para alcançar uma produtividade compensatória, o algodoeiro necessita de uma proporção harmoniosa de chuva e sol na primeira metade do ciclo de produção e da ausência de chuva no final, depois da abertura dos capulhos.

Em Mato Grosso, muitas vezes, após a colheita de uma primeira safra de produção de grãos, a época de semeadura do algodão estende-se geralmente do início de janeiro até o final de fevereiro, de modo a conciliar-se com a distribuição de chuvas na região, que são mais abundantes em janeiro e diminuem gradualmente até maio.

Dificuldades na disponibilidade de máquinas e equipamentos e na aquisição de insumos, ou mesmo na realização de operações agrícolas no período mais chuvoso, podem causar atrasos na semeadura, trazendo riscos de redução da produtividade, que será constatada somente ao final da colheita.

A importância da chuva para as plantas cultivadas comercialmente decorre da participação da água em diversos processos fisiológicos, como no transporte de nutrientes minerais no solo para absorção pelas raízes, na abertura e fechamento dos estômatos que regulam a saída de água pela transpiração e a entrada de gás carbônico para a realização da fotossíntese. Entretanto, o aumento da quantidade de chuva nem sempre resulta em aumento de produtividade da lavoura. Chuva em demasia pode encharcar o solo, dificultando a aeração das raízes e as tarefas mecanizadas, sem contar que pode reduzir a produtividade, pois reduz a quantidade de luz necessária para a fotossíntese. A água da chuva precisa ser suficiente para atender às necessidades da cultura agrícola à medida que o ciclo de vida vegetal transcorre, ficando disponível no solo a cada dia, apesar do consumo da planta e da evaporação. Desse modo, num mesmo local, em diferentes anos e mesmo em diferentes épocas do ano, a quantidade adequada de água depende não somente do total de chuva ao longo dos dias, mas também da insolação, do vento, da temperatura, da umidade do ar, do tamanho da planta, do espaçamento utilizado no cultivo e da capacidade do solo em reter e fornecer a água para as plantas.

Para avaliar a quantidade adequada de chuva, é necessário realizar a contabilidade da água por meio do balanço hídrico do solo durante todo o ciclo de produção, em intervalos de tempo de uma a duas semanas, preferencialmente em intervalo de dez dias. Isto pode ser feito ano a ano, para ir acompanhando como a lavoura está evoluindo em uma safra, mas também pode ser feito quando se pretende planejar, antes de iniciar a lavoura. No primeiro caso, durante o ciclo de produção daquele ano, é necessário determinar a capacidade de armazenamento de água do solo em cada talhão de cultivo, medir a umidade do solo a cada dez dias e

medir diariamente todas aquelas variáveis meteorológicas já mencionadas, sobretudo a chuva. Se, no entanto, o interesse for o planejamento que antecede a semeadura, é necessário dispor de um histórico do total de chuva cada dez dias, ano a ano, na própria fazenda ou nas imediações.

O IMAmt e a UFMT analisaram dados históricos de chuva, insolação, vento, temperatura, umidade do ar e hábito de crescimento das variedades cultivadas em Mato Grosso, em três classes de capacidade do solo em reter a água, de modo a obter o balanço hídrico do solo a cada dez dias, ano a ano, em 119 localidades na região, o que possibilitou prever a redução de produtividade esperada em três de cada quatro anos, no cultivo do algodoeiro adensado, provocada por deficiência na quantidade de chuva em Mato Grosso, com 75% de segurança, portanto.

A comparação entre a produtividade obtida em 11 talhões de cultivo comercial no ano de 2010 e a produtividade calculada pelos métodos utilizados no zoneamento demonstrou que os procedimentos utilizados no estudo realizado pelo IMAmt e pela UFMT foram adequados.

2. Resultados do Zoneamento do risco de deficiência hídrica para o algodoeiro adensado em Mato Grosso

Os resultados deste trabalho foram apresentados na forma de mapas, que podem ser acessados em http:www.sergeo.ufla.br/sergeo/sergeo, no link Projetos, acessando "Zoneamento do risco de deficiência hídrica para o algodoeiro adensado em Mato Grosso".

Os mapas disponíveis levam em consideração três tipos de variedades (precoces, intermediárias e tardias), solos com capacidade de armazenamento de água de 100, 150 e 200 mm, e semeadura realizada entre 1º de janeiro e 20 de fevereiro (Figura 1). Neles, na escala em que lhes for conveniente, os produtores e técnicos podem obter as informações que julgarem necessárias ao seu planejamento.

Para utilização dos mapas, as variedades presentes no mercado podem ser classificadas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação das variedades de algodoeiro cultivadas atualmente em Mato Grosso (Fonte: Jean L. Belot, 2025)

Precoce	Intermediária	Tardia
FM 906GLT	TMG 44B2RF	TMG 81WS
FM 911GLTP	TMG 33B3RF	TMG 91WS3
FM 912GLTP	TMG 38B3RF	FM 985GLTP
Precoce/ Intermediária	TMG 51WS3	FM 978GLTP
DP 1949B3RF	IMA 243B2RF	IMA 3408B2RF
TMG 31B3RF	IMA 5801B2RF	IMA 3764B2RF
IMA 3010B2RF	IMA 2106GL	
IMA 4807B2RF	FM 944GL	
IMA 707B3XF	FM 945STP	
IMA 712B3XF	**Intermediária/ tardia**	
	IMA 5901B2RF	
	IMA 5802B2RF	
	TMG 22GLTP	
	FM 974GLT	

Outro dado importante para o uso dessa ferramenta pelo produtor é a capacidade do solo em reter a água disponível de cada talhão (CAD, em mm) em que se pretende realizar o cultivo do algodoeiro.

Roteiro para determinação da redução de produtividade nos mapas do Zoneamento do risco de deficiência hídrica do algodoeiro adensado em Mato Grosso

No caso de haver necessidade de determinar a redução de produtividade em uma localidade, utilizando os mapas do Zoneamento do risco de deficiência hídrica do algodoeiro adensado em Mato Grosso, deve-se proceder da seguinte maneira:

Acesse o portal www.sergeo.ufla.br/sergeo/sergeo; no link Projetos**,** acesse **"**Zoneamento do risco de deficiência hídrica para o algodoeiro adensado em Mato Grosso ";

Desmarque o quadrado referente a: 10 Fev (ciclo precoce - 100 mm);

Selecione o mapa desejado. Ex: 20 Fev (ciclo tardio - 200 mm);

Clique nas iniciais do mês (ex.: Fev), para abrir a legenda de valores de queda de rendimento correspondentes aos tons de cinza;

Clique no botão **XY,** localizado na barra da parte superior do mapa **(GoToLocation)**, e digite a longitude e a latitude do local do qual queira determinar a queda de rendimento, com sinais negativos (ex.: longitude = x -56,3526; longitude = y -11,2162);

Clique no botão **Pan To**, para se deslocar para o local procurado;

Dê tantos cliques no botão **Zoom To** quantos forem necessários para que a área da tela em que está o mapa se reduza a uma única tonalidade de cinza;

Anote a faixa de queda de rendimento da legenda que está associada à tonalidade única de cinza encontrada (ex.: 0,34 a 0,43, isto é, 34% a 43%).

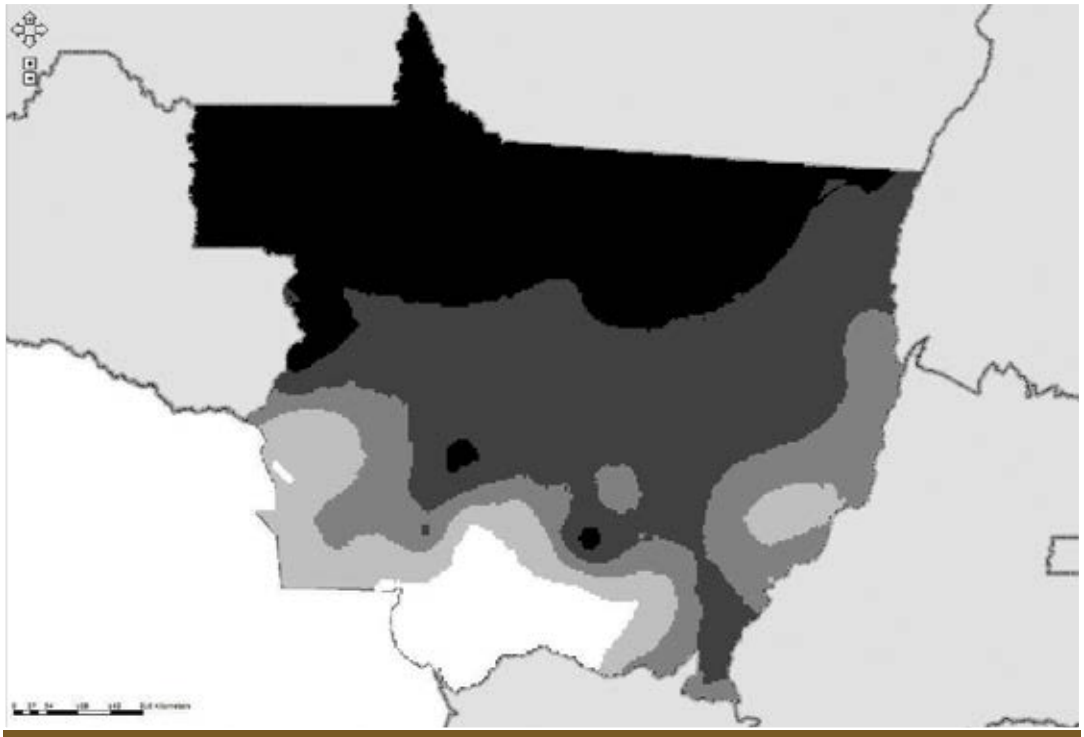


Figura 1. Redução de produtividade de algodoeiro em Mato Grosso, para uma cultivar de ciclo precoce, com plantio em 1º de janeiro, para solos com capacidade de armazenamento de água de 100 mm

3. Determinação da capacidade do solo em reter água (CAD)

A capacidade do solo em reter água disponível para as plantas (CAD, em mm) deve ser determinada para cada camada homogênea que for identificada no solo, levando em consideração a densidade aparente (d, em $mg.m^{-3}$); a espessura (H, em m); e as umidades equivalentes à capacidade de campo (CC, em $kg.kg^{-1}$) e ao ponto de murcha permanente (PMP, em $kg.kg^{-1}$), de cada camada, segundo a expressão:

$$\mathbf{CAD} = (CC-PMP) * d * H * 1000$$

CC: capacidade de campo (CC, em $kg.kg^{-1}$)

PMP: ponto de murcha permanente (PMP, em $kg.kg^{-1}$)

d: densidade aparente do solo (d, em $mg.m^{-3}$, ou $t.m^{-3}$, ou $g.cm^{-3}$, ou em $kg.l^{-3}$)

H: espessura de cada camada homogênea de solo explorada pelas raízes do algodão (H, em m)

A capacidade de campo e a densidade aparente são obtidas em cada talhão de produção na própria fazenda.

A umidade equivalente à capacidade de campo corresponde ao teor de água no solo depois que o excesso de água tenha sido drenado e a taxa de movimento descente tenha sensivelmente diminuído. Isto ocorre num período de 24 a 72 horas para solos arenosos e de 72 a 120 horas para solos argilosos. Esta umidade representa a quantidade máxima de água que pode ficar retida no solo, mas nem todo o volume fica disponível para as plantas; é uma característica intrínseca do solo e é influenciada principalmente pelas características de textura, estrutura, mineralogia e teor de matéria orgânica do solo.

Em laboratório, alguns pesquisadores têm utilizado como umidade equivalente à capacidade de campo a quantidade de água retida no solo sob sucções de 33 kPa, 10 kPa ou 6 kPa. Para solos argilosos, utilizam as menores tensões e, para arenosos, as maiores sucções ou tensões.

Como a planta gasta energia para retirar água do solo, ela não consegue extrair toda a água que está retida na capacidade de campo, pois parte dela está retida com uma energia superior àquela que a planta consegue exercer. Desse modo, há um conteúdo de água que o solo ainda conserva quando as plantas mostram, pela primeira vez, sinais de murchamento definitivo, que é chamado de umidade equivalente ao ponto de murcha permanente (PMP), ou seja, é o teor de água no solo abaixo do qual uma planta em crescimento ativo apresenta perda de turgescência das folhas da qual não se recupera, mesmo quando colocada em ambiente escuro com atmosfera saturada.

A condição de murcha permanente não deve ser confundida com o murchamento temporário, que ocorre todas as vezes que a taxa de transpiração é maior que a taxa de absorção de água pelas raízes, coisa frequente em horários mais quentes e secos, mas que desaparece à noite. Desta forma, a umidade equivalente ao ponto de murcha permanente pode ser considerada como o limite mínimo da água armazenada no solo que será usada pelos vegetais. Apesar de o conceito de PMP ser aceitável e útil para a maioria das plantas cultivadas, seu valor depende do tipo de solo (textura, mineralogia e matéria orgânica do solo) e deve ser encarado com reservas quando se trata de plantas com capacidade de extrair água além desse limite.

Existem na literatura diferentes métodos para obtenção dos valores das umidades equivalentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente. No entanto, por questões de praticidade, indicam-se a seguir um método direto (de campo), um método indireto de laboratório, um método indireto utilizando outros atributos do solo (funções de pedotransferência), e a possibilidade de essas informações serem encontradas em banco de dados de levantamentos pedológicos.

O método direto de determinação da umidade equivalente à capacidade de campo consiste na retirada de uma amostra de solo indeformada, com auxílio de um cilindro rígido. Na Figura 2, é possível observar um cilindro de PVC e a infraestrutura necessária para a coleta de uma amostra desse tipo, com um volume aproximado de 18 l de solo. O cilindro rígido pode ser de metal, como o de uma embalagem em que a tampa e o fundo tenham sido retirados, e o volume de solo pode ser menor. Porém, para alguns solos, amostras menores que 1 l podem não ser representativas. De qualquer forma, é importante que o volume interno do cilindro seja conhecido.

Após a retirada desta amostra, ela será colocada em uma bacia com água, cuja função é

permitir a saturação completa do solo por ascensão capilar, ou seja, de baixo para cima, garantido, assim, que todos os poros estejam cheios de água. Estando o solo saturado, coloca-se o cilindro em local que permita a drenagem do excesso de água (água gravitacional) e impeça a evaporação direta. Assim que a drenagem do excesso de água do solo no cilindro terminar, a quantidade de água que ainda permanecer no solo equivale à máxima quantidade de água que o referido solo consegue reter para as plantas, ou seja, à umidade equivalente à capacidade de campo. O tempo para cessar a drenagem do excesso de água na coluna pode variar de 24 a 72 horas, dependendo principalmente do teor de argila do solo, sendo que, para solos argilosos, a drenagem é mais lenta.

A umidade do solo no cilindro equivalente à capacidade de campo poderá ser obtida determinando o teor de água no solo, que, por sua vez, pode ser obtido pelo método da pesagem, utilizando uma amostra do solo do cilindro. Antes de retirar essa amostra de avaliação da umidade, no entanto, é necessário pesar o cilindro com o solo e sem o solo, para determinar a massa úmida total somente de solo (MU), que permitirá estimar a densidade aparente, já mencionada como necessária para encontrar a CAD. Retira-se então uma amostra do solo do cilindro que alcançou a capacidade de campo e determina-se a massa do solo úmido (MSu) e a massa do solo seco (MSs), em uma balança, após a amostra permanecer em estufa, em um forno micro-ondas, ou de outro tipo, na temperatura de 105°C, durante 24 horas. O valor da CC é dado por:

$$\mathbf{CC} = \frac{(PSu - PSs)}{PSs}$$

A densidade aparente, *d*, em $mg.m^{-3}$, ou $t.m^{-3}$, ou $g.cm^{-3}$, ou em $kg.l^{-3}$, é a massa seca total somente de solo contida no

Figura 2. Exemplo demonstrativo de cilindro com solo (A) do aparato para introdução do cilindro no solo (B, C e D)

cilindro, dividida pelo volume interno do cilindro (V), e pode ser obtida por:

$$\mathbf{d} = \frac{\frac{MU}{1 + CC}}{V}$$

4. O ponto de murchamento permanente obtido em cada talhão de produção na própria fazenda

O método direto ou biológico para determinação da umidade equivalente ao ponto de murcha permanente (PMP) consiste basicamente na utilização da própria planta para indicar a umidade do solo abaixo da qual ela não consegue extrair água no solo em quantidade suficiente para manter-se túrgida.

Este método pode ser aplicado em ambiente protegido na fazenda (viveiro, estufa, galpão, etc.) utilizando-se como plantas indicadoras feijão, girassol, soja e sorgo. O girassol, em particular, é considerado como planta padrão universal. Mas, se possível, é mais recomendável a utilização da cultura a ser conduzida no solo em questão.

Para este método, utiliza-se solo destorroado e passado em peneira de 2,0 mm (terra fina seca ao ar, ou TFSA - 2,0 mm) coletado na profundidade de interesse (profundidade efetiva das raízes da cultura de interesse). Em seguida, coloca-se esta TFSA em tubos de PVC com 10 cm de diâmetro e 21 cm de altura, deixando-se um centímetro para atingir a borda. Este solo deve ser adequadamente adubado conforme exigência da cultura que será utilizada. Em seguida, distribui-se cinco sementes por vaso da espécie a ser cultivada e mantém-se a umidade do solo igual à umidade equivalente à capacidade de campo (CC). Desta forma, a cultura terá condições de solo (nutricional e hídrica) ideais para o seu desenvolvimento inicial. Após a germinação e o crescimento inicial (o tempo necessário depende da espécie trabalhada), faz-se o desbaste deixando-se apenas uma planta por recipiente.

Após o desbaste, com o auxílio de uma balança, deve-se continuar mantendo a umidade do solo igual à CC, até que as plantas apresentem o sistema radicular bem desenvolvido (presentes em todo o volume de solo), o que geralmente ocorre quando a plântula apresenta o 4º ou 5º par de folhas definitivas. Neste momento, aplica-se água ao solo até sua saturação e, posteriormente, faz-se a impermeabilização da superfície com

filme plástico ou parafina fundida, para impedir que ocorra evaporação direta da água do solo, tomando-se o devido cuidado para não afetar as plantas. Deste ponto em diante, a perda de água do solo se dará unicamente por absorção das raízes e transpiração das folhas e, desta forma, começará propriamente o teste para determinação do PMP.

Assim que as plantas apresentarem os primeiros sintomas de murcha, deve-se colocá-las em ambiente úmido e escuro, onde permanecerão até recuperarem a turgescência. Caso isso ocorra, as plantas devem ser novamente deixadas no local de condução do experimento. Este procedimento deve ser repetido até que as plantas não recuperem a sua turgescência, ou seja, atinjam a murcha permanente.

Quando as plantas atingirem este estado, deverão ser cortadas rente à superfície do solo, removida a impermeabilização (plástico ou parafina) da superfície e realizado o peneiramento para separação das raízes e homogeneização do solo. Posteriormente, retira-se uma pequena porção deste solo homogeneizado e determina-se sua umidade, a qual, de forma similar à CC, pode ser obtida pelo método da pesagem. Esta umidade equivale àquela abaixo da qual a cultura em teste entrará em murcha permanente, ou seja, umidade equivalente ao ponto de murcha permanente para a cultura em teste, dada por:

$$\mathbf{PMP} = \frac{(PSu-PSs)}{PSs}$$

5. A capacidade do solo em reter água determinada em laboratórios capacitados para avaliar as propriedades hidráulicas do solo

A capacidade do solo em reter água pode ser determinada em laboratórios capacitados para avaliar as propriedades hidráulicas do solo, onde as análises podem ser efetuadas em um tempo superior a 30 dias, em virtude do tempo de execução desses procedimentos, da demanda de usuários pelo serviço e da quantidade de laboratórios capacitados para este fim. Nesse caso, o primeiro passo é a coleta de amostras de solos de forma adequada e representativas das condições edáficas a que estejam submetidos os talhões com a cultura do algodão. As amostras deverão ser coletadas em camadas de 20 em 20 cm, até onde forem encontradas raízes da cultura, ou até a profundidade de 100 cm, se não for realizada uma sondagem para verificar a presença de raízes.

As amostras devem ser indeformadas (amostras de solo com estutura natural) e representar uma porção de terra com a mesma disposição e o mesmo arranjamento das partículas encontrado no perfil do solo no campo. Elas são feitas com um amostrador com anel volumétrico metálico e de bordos cortantes, que é introduzido no solo, sob pressão, com auxílio de um "castelo", sendo removido a seguir, cuidadosamente, para que o solo nele contido não sofra deformações (Figuras 3A, 3B). Com um instrumento cortante, elimina-se o excesso de terra de ambas as faces do anel (Figuras 3C, 3D). Em seguida, a amostra indeformada é retirada do amostrador e se insere um novo anel no amostrador, para a coleta em uma nova profundidade ou em outro perfil de solo (Figuras 3E, 3F).

Em consequência das dificuldades de coleta e de transporte das amostras, da configuração dos equipamentos de laboratório, dos problemas de tempo mencionados no parágrafo anterior, os laboratórios geralmente utilizam anéis de 80 a 100 cm^3, apesar da possibilidade de problemas de representatividade de amostras de solo com volume dessa ordem.

Após a coleta das amostras indeformadas, elas deverão ser devidamente acondicionadas e encaminhadas ao laboratório, para obtenção da densidade aparente do solo, da capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente.

Para determinação das umidades

equivalentes à capacidade de campo (CC) e ao ponto de murcha permanente (PMP), as amostras são colocadas para saturação em bandejas com água por uma noite. Após a saturação, é feita a pesagem das amostras saturadas, que, posteriormente, são submetidas às tensões para retirada de água até a CC e o PMP. As tensões para obtenção da CC são de 33 kPa e 100 kPa para solos de textura argilosa e arenosa, respectivamente. Enquanto que, para obtenção da PMP, utiliza-se a tensão de 1.500 kPa para qualquer tipo de solo. Após a secagem das amostras nas respectivas tensões, elas são pesadas, e a CC e o PMP são obtidos por:

$$\mathbf{CC} = \frac{(PS_{sat} - PSS_{TCC})}{PSS_{est}}$$

$$\mathbf{PMP} = \frac{(PSS_{TPMP} - PSS_{est})}{PSS_{est}}$$

Em que:

CC = umidade equivalente à capacidade de campo do solo ($kg.kg^{-1}$).

PS_{sat} = Peso da amostra de solo saturado (kg).

PSS_{TCC} = Peso da amostra de solo submetido à tensão de 33 kPa ou 100 kPa depois de cessada a drenagem interna (kg).

PSS_{est} = Peso da amostra de solo seco em estufa a 105°C (kg).

PMP = umidade equivalente ao ponto de murcha permanente do solo ($kg.kg^{-1}$).

PSS_{TPMP} = Peso da amostra de solo submetido à tensão de 1.500 kPa depois de cessada a drenagem interna (kg).

A densidade aparente do solo é obtida conhecendo o volume do cilindro e a massa de solo seco que coube dentro do cilindro:

$$\mathbf{d} = \frac{PSS_{est}}{Vc_t}$$

Em que Vc_t corresponde ao volume do cilindro (cm^3).

Figura 3. Amostrador volumétrico de Kopeck e procedimentos para coleta de amostra indeformada de solo (Fonte: José Campelo)

6. A capacidade do solo em reter água determinada com informações disponíveis em trabalhos de levantamento de solo anteriores

Na impossibilidade de determinar em laboratório a densidade aparente do solo, a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente, o interessado pode recorrer a um levantamento de solos já existente.

O Brasil tem gerado grande quantidade desse tipo de dados por meio de levantamentos e outros estudos, como os realizados pelo antigo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), da Embrapa, e pelo Projeto Radam Brasil. A disponibilização desses dados na forma de mapas, independentemente de suas escalas, não fornece toda a informação requerida pelos usuários, já que a quantidade de dados coletados durante os levantamentos exige um espaço que não cabe em mapas ou legendas. Geralmente, o detalhamento desses dados está disperso em planilhas, relatórios técnicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros, boletins de pesquisa, além de outros meios magnéticos.

O Sistema de Informações Georreferenciadas de Solos do Brasil (SigSolos - versão 1.0) foi estruturado para permitir o armazenamento de informações oriundas de diferentes fontes, níveis e escalas de levantamentos de solos, tendo, como base, normas e conceitos utilizados na ciência do solo. A primeira etapa do SigSolos foi concluída com a disponibilização da versão 1.0, para o armazenamento de dados, e, atualmente, já é possível acessar algumas informações sobre os solos brasileiros a partir da Iniciativa Solos.br, diretamente na página da Embrapa Solos na internet, no seguinte endereço: http://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br.

Outra base de dados de solos brasileiros pode ser consultada em http://www.esalq.usp.br/gerd/Solos_Brasil.mdb, desenvolvida em ambiente Microsoft Access. Em http://www.esalq.usp.br/gerd/BrazilSoilDB_08VI05.xls, as informações podem ser encontradas em ambiente Microsoft Excel.

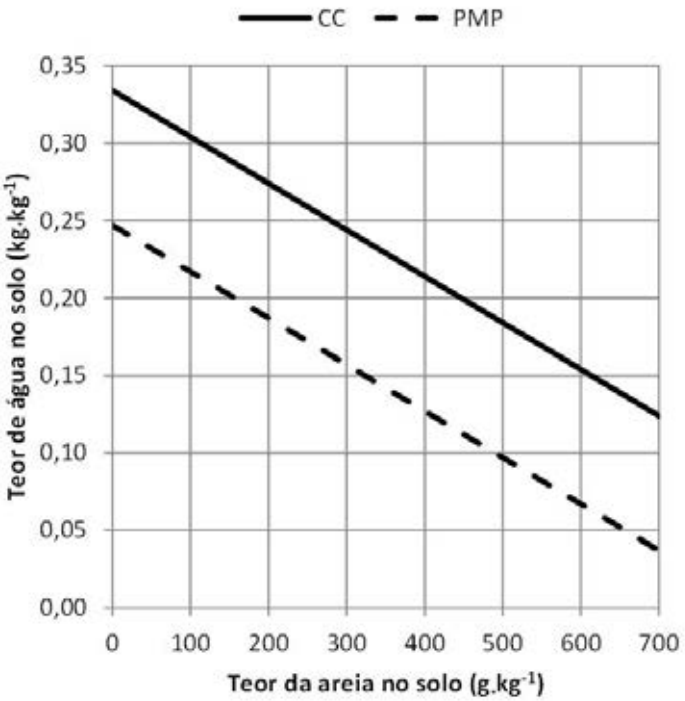


Figura 4. Estimativa da capacidade de campo (CC, em $kg.kg^{-1}$) e do ponto de murchamento permanente (PMP, em $kg.kg^{-1}$), a partir do teor de areia do solo

7. A capacidade do solo em reter água determinada com dados de textura ou de outros atributos do solo, disponíveis em análises de solo já realizadas antes

Nas regiões produtoras de Mato Grosso, a Figura 4 pode ser utilizada para estimar os valores de CC e PMP, com base no teor de areia do solo, até o limite de 700 $g.kg^{-1}$.

Um exemplo do uso da Figura 4 é um solo com um teor de areia de 500 $g.kg^{-1}$ (ou 50% de areia). Entre no eixo horizontal da figura, suba até a linha PMP e leia o valor de 0,10 $kg.kg^{-1}$ no eixo vertical. O valor correspondente para a linha CC é 0,18 $kg.kg^{-1}$ no eixo vertical.

É importante ressaltar que o uso da Figura 4 é restrito aos solos de Mato Grosso, e solos muito argilosos, com teor de areia inferior a 700 $g.kg^{-1}$ (menor do que 70%). Para solos mais arenosos, é aconselhável providenciar a coleta de amostras, e o enviá-las ao laboratório, ou determinar diretamente na própria fazenda.

Se os valores de densidade aparente, capacidade de campo e ponto de murchamento permanente forem os que estão na Tabela 2, a capacidade de armazenamento de água disponível no solo poderá ser calculada para cada camada, que, depois de somadas, totalizarão 108,1 mm.

Tabela 2. Valores de densidade aparente (d, em $kg.l^{-3}$), capacidade de campo (CC, em $kg.kg^{-1}$) e do ponto de murchamento permanente (PMP, em $kg.kg^{-1}$) em camadas de um solo cultivado com algodoeiro

Camadas do solo		D	CC	PMP
Profundidade (m)	Espessura (m)			
0-0,20	0,20	1,30	0,18	0,10
0,20-0,40	0,20	1,25	0,20	0,11
0,40-0,60	0,20	1,40	0,18	0,10
0,60-0,80	0,20	1,35	0,22	0,14
0,80-1,00	0,20	1,30	0,20	0,12

Camada de 0,00 a 0,20 m: CAD=(0,18-0,10)*1,30*0,20*1000=20,8 mm
Camada de 0,20 a 0,40 m: CAD=(0,20-0,11)*1,25*0,20*1000=22,5 mm
Camada de 0,40 a 0,60 m: CAD=(0,18-0,10)*1,40*0,20*1000=22,4 mm
Camada de 0,60 a 0,80 m: CAD=(0,22-0,14)*1,35*0,20*1000=21,6 mm
Camada de 0,80 a 1,00 m: CAD=(0,20-0,12)*1,30*0,20*1000=20,8 mm
Solo de 0,00 até 1,00 m: CAD=20,8+22,5+22,4+21,6+20,8=108,1 mm

8. Organize os dados de chuva da fazenda para aprimorar o zoneamento

Um estudo como o "Zoneamento do risco de deficiência hídrica para o algodoeiro", desenvolvido pelo IMAmt e a UFMT, não pode ser realizado com os dados de chuva de apenas uma safra. Ele necessita do histórico das chuvas de vários anos, em diversas localidades distribuídas em todo o território de sua abrangência.

Nesse ponto, cada fazenda de produção poderia contribuir para o aprimoramento do trabalho, se informasse os dados de que dispõe.

É importante ressaltar que os dados históricos de chuva de cada ano já transcorrido só têm utilidade se estiverem organizados por dia do ano, ou em somas já totalizadas, do primeiro ao décimo dia, do décimo primeiro ao vigésimo dia e do vigésimo primeiro ao último dia de cada mês. Os totais mensais não têm utilidade, porque não revelam como a chuva se distribuiu, isto é, se houve períodos menores de tempo em que houve uma deficiência hídrica significativa, a ponto de prejudicar o desenvolvimento das plantas, afetando a produtividade.

Um mínimo de dez anos seria o recomendável para realizar um trabalho de natureza científica, mas um número menor de anos já permite uma avaliação preliminar do problema. Seria preferível que o histórico não contivesse falhas de medida, mas, ainda assim, é possível utilizá-lo, desde que sejam informados quais os dias em que a medida não foi realizada, ou em que o registro tenha sido perdido.

Os dados podem ser enviados para o endereço eletrônico campelo@ufmt.br, para que seja analisada a homogeneidade e, em caso positivo, se determine qual a probabilidade de ocorrência de diferentes totais de chuva em cada período, que seriam enviados ao remetente dos dados, de modo a serem utilizados no planejamento das atividades na fazenda, além de contribuírem para aprimorar o zoneamento.

Caso haja interesse e disponibilidade, além da chuva, dados de outras informações meteorológicas, espaçamento utilizado na semeadura, demais práticas de manejo, como época e doses de adubação e aplicação de defensivos, resultados de laboratório da análise de solo, principalmente as classes de textura do solo, datas de semeadura e de colheita e produtividade em cada talhão podem ser enviados para o mesmo endereço, para serem analisados, incorporados às melhorias que forem sendo introduzidas na versão original do estudo, e encaminhados de volta ao remetente, para serem utilizados como lhe parecer mais adequado.

9. Alguns exemplos de estimativa de queda de rendimento, usando tabelas elaboradas com os mapas do zoneamento

A fim de facilitar o acesso aos dados do zoneamento por técnicos das fazendas, foram elaboradas tabelas de queda de produtividade para dez localidades representativas da variabilidade das áreas algodoeiras de Mato Grosso. Esses resultados foram apresentados na Circular Técnica Nº 2/2013 do IMAmt.

Por exemplo, a Tabela 3 apresenta a estimativa de redução de produtividade de algodão (em três anos cada quatro, o que corresponde a uma probabilidade de 75%, ou 25% de risco de uma queda maior que essa), em sistema adensado na região de Alto Taquari (Fazenda Janice), em função do ciclo da variedade, da reserva do solo e da data de plantio.

Assim, no exemplo de Alto Taquari, com um solo com CAD de 100 mm, e um enraizamento de 1 m, utilizando uma variedade tardia semeada em 1º de fevereiro, a estimava de perda de produtividade seria aproximadamente entre 52% e 60%, enquanto que com o uso de uma variedade precoce, essa perda seria reduzida entre 41% a 52%. Para assumir a mesma perda com uma variedade tardia, haveria de realizar-se o plantio no máximo até 20 de janeiro.

Tabela 3. Faixa de redução de produtividade (em %) do algodoeiro adensado, com 75% de confiança, em função do tipo de variedade (precoce, intermediária e tardia), da capacidade de armazenamento de água do solo (CAD de 100, 150 e 200 mm) e da data de semeadura, para as coordenadas de 17°47'0,21" de latitude Sul e 53°21'45,89" de longitude Oeste (Fazenda Janice, Município de Alto Taquari — Mato Grosso) (Fonte: http:www.sergeo.ufla.br/sergeo/sergeo)

	Tardia			Intermediária			Precoce		
Data	200	150	100	200	150	100	200	150	100
20/02	53 a 67	65 a 75	70 a 78	59 a 72	63 a 75	69 a 78	69 a 87	57 a 71	62 a 74
10/02	56 a 69	59 a 71	64 a 74	69 a 86	57 a 70	74 a 87	49 a 64	52 a 67	47 a 56
01/02	50 a 64	53 a 66	52 a 60	48 a 63	52 a 66	49 a 59	43 a 58	34 a 46	41 a 52
20/01	45 a 61	39 a 51	45 a 54	43 a 59	36 a 49	66 a 81	27 a 40	30 a 43	36 a 47
10/01	42 a 56	33 a 46	39 a 49	41 a 55	30 a 43	35 a 45	23 a 36	25 a 38	29 a 40
01/01	25 a 37	28 a 40	32 a 42	23 a 35	25 a 37	29 a 39	20 a 32	20 a 32	24 a 36

Recomendação Final

Uma recomendação que pode ser deduzida dos resultados do zoneamento é a de que, em caso de impossibilidade de evitar o atraso na semeadura, os produtores devem evitar os talhões onde a capacidade de armazenamento de água no solo seja menor, ou iniciar o plantio por esses talhões e planejar o uso dos talhões, deixando para o final aqueles de textura mais argilosa, maior densidade e onde constatem maior profundidade na penetração de raízes, portanto, com maior capacidade de armazenamento de água, para o final de uma semeadura escalonada. Esta preocupação deve ser considerada ainda mais relevante nas fazendas de produção localizadas mais ao sul e ao leste do Estado.

Mais informações sobre o sistema adensado podem ser encontradas em:

- O Sistema de Cultivo do Algodoeiro Adensado em Mato Grosso, IMAmt, 2010
- Sistema de produção do algodão adensado, Abrapa, 2015

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: rsamorim@cpd.ufmt.br

Paulo Augusto Vianna Barroso
Embrapa Algodão

Lúcia Vieira Hoffmann
Embrapa Algodão

Marleide Magalhães de Andrade Lima
Embrapa Algodão

Sidnei Douglas Cavalieri
Embrapa Algodão

José Jaime Vasconcelos Cavalcanti
Embrapa Algodão

CAPÍTULO I.3

Zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados: abrangência em 2025

Capítulo publicado na edição de 2025.

1. O que são as zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados?

As zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados são áreas do território brasileiro onde se permite exclusivamente o cultivo de algodoeiro convencional. Portanto, o cultivo de variedades de algodoeiro geneticamente modificadas (transgênicas) é proibido nessas áreas.

Essa medida de biossegurança foi instituída em 2005 pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), quando da liberação do primeiro algodoeiro geneticamente modificado no Brasil, o algodoeiro Bollgard (evento Mon 531). Ela foi criada para proteger a diversidade de *Gossypium* existente no Brasil dos efeitos deletérios de um possível fluxo gênico, ou seja, a transferência de genes entre plantas, que pode ocorrer via polinização. A preocupação da CTNBio se justifica, pois, além do algodoeiro herbáceo cultivado (*Gossypium hirsutum* r. latifolium), o Brasil possui mais três tipos de algodoeiro:

- O algodoeiro mocó (*G. hirsutum* r. Marie Galante), muito cultivado no Nordeste até o final dos anos 80. Populações ferais, com alta variabilidade, ainda persistem na Paraíba e Rio Grande do Norte;
- *G. mustelinum*, única espécie nativa que ocorre exclusivamente na forma silvestre na região Nordeste (Barroso *et al.*, 2021);
- *Gossypium barbadense*, espécie cultivada no Brasil desde os primórdios da colonização até o início do século XX. Foi substituída por *Gossypium hirsutum*, mas o Brasil continua a ser considerado um centro de diversidade de *G. barbadense* (Brubaker *et al.*, 1999).

Todos os quatro tipos de algodoeiro que ocorrem no Brasil são total ou parcialmente compatíveis sexualmente. Isso significa que o cultivo de algodoeiros geneticamente modificados nas imediações dos outros tipos de algodoeiro pode criar condições propícias para a ocorrência de cruzamentos. Esses cruzamentos podem afetar negativamente a capacidade de adaptação e sobrevivência dos algodoeiros não cultivados comercialmente. Além disso, podem contribuir para diminuir sua diversidade genética ou alterar suas características adaptativas. Portanto, com base no Princípio da Precaução, conforme previsto na legislação brasileira, decidiu-se evitar a coexistência entre os algodoeiros não cultivados comercialmente com os algodoeiros geneticamente modificados (Borém *et al.*, 2003).

A zona de exclusão foi originalmente proposta por Freire (2000) e sua abrangência legal foi determinada usando recomendação da Embrapa (Barroso *et al.*, 2005). A zona de exclusão foi delimitada com base nos

conhecimentos existentes à época, particularmente quanto à distribuição espacial das espécies e a diversidade genética potencialmente existente, fatores ambientais e aspectos relacionados à biologia dos diferentes algodoeiros que ocorrem no país.

Originalmente, a zona de exclusão contava com quatro regiões:

1. Todos os estados da região Norte e os municípios que fazem parte do bioma Amazônia em Mato Grosso e Maranhão, com o principal objetivo de proteger algodoeiros da espécie *Gossypium barbadense*;
2. Os municípios do bioma Pantanal no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com a mesma finalidade de proteger *Gossypium barbadense*;
3. Região do Seridó da Paraíba e do Rio Grande do Norte, com o objetivo de preservar a variabilidade de populações ferais de algodoeiros mocó e as populações silvestres de *Gossypium mustelinum*, que é a única espécie nativa do Brasil;
4. O Norte da Bahia, com a finalidade de proteger as populações silvestres de *G. mustelinum*.

2. Evolução das zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados

À medida que a área cultivada com algodoeiro se expandia, produtores localizados dentro da zona de exclusão e autoridades estaduais, solicitaram à CTNBio a revisão dessa zona. A intenção era que os produtores desses estados tivessem acesso às tecnologias incorporadas nas cultivares geneticamente modificadas. Para atender às demandas, foram realizados estudos específicos para avaliar o possível impacto que o cultivo de algodoeiro geneticamente modificado poderia ter sobre a diversidade de *Gossypium* presente nesses estados. As solicitações de alteração foram primeiro realizadas pelo Tocantins em 2008, depois por Roraima em 2016, Rondônia em 2018, no município de Conceição do Araguaia (PA) em 2023 e Mato Grosso em 2024, estados em que a zona de exclusão visava impedir cruzamentos com *Gossypium barbadense*.

Para fundamentar todas as decisões, a Embrapa realizou estudos e forneceu à CTNBio relatórios técnicos com informações sobre a biologia da espécie, o modo como ocorre, os riscos aos quais as espécies estavam submetidas, e a possibilidade de ocorrência de fluxo gênico e seus impactos (Cavalcanti *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2008; Pereira *et al.,* 2012; Hoffmann *et al.*, 2013; Barroso *et al.*, 2023; Barroso *et al.*, 2025). Com base nos resultados da pesquisa, a CTNBio autorizou a retirada da zona de exclusão em todas as solicitações feitas. Com isso, a zona de exclusão originalmente proposta foi alterada, como mostrado na Figura 1. A abrangência atual da zona de exclusão, conforme Despacho CTNBio de 28/05/2024, também é apresentada na Tabela 1. É importante salientar que a abrangência pode ser alterada sempre que novas informações científicas indicarem a necessidade de ajustes.

Algumas das alterações realizadas na zona de exclusão foram precedidas pelo cultivo de algodoeiro geneticamente modificado em áreas dentro dessas zonas com a autuação resultante da fiscalização efetiva do Ministério da Agricultura. O cultivo era realizado pelos agricultores de modo inadvertido, que alegavam desconhecer a existência da zona de exclusão. De fato, trata-se de medida de biossegurança estabelecida em 2005 com ampla divulgação apenas nos primeiros anos de sua vigência. De modo geral, o plantio do algodoeiro geneticamente modificado era realizado quando agricultores de médio ou grande porte incorporavam novas áreas em locais dentro da zona de exclusão, implementando sistemas de produção e rotação de culturas similares aos utilizados em suas áreas originais. As lavouras de algodoeiro dificilmente são implantadas imediatamente nas novas áreas, sendo precedida por outras culturas anuais durante algumas safras, como soja e milho.

A análise da consolidação municipal das culturas de soja e milho, considerada neste trabalho como aqueles municípios que cultivam 10 mil ou mais hectares de uma dessas culturas (Figura 2), combinada com o histórico de plantios inadvertidos permite identificar áreas de maior risco para o cultivo irregular de algodoeiro geneticamente modificado na zona de exclusão. Ao aplicar esse critério, constata-se que 16 municípios cultivaram mais de 10 mil hectares de milho, enquanto 21 ultrapassaram essa marca na produção de soja (Tabela 2).

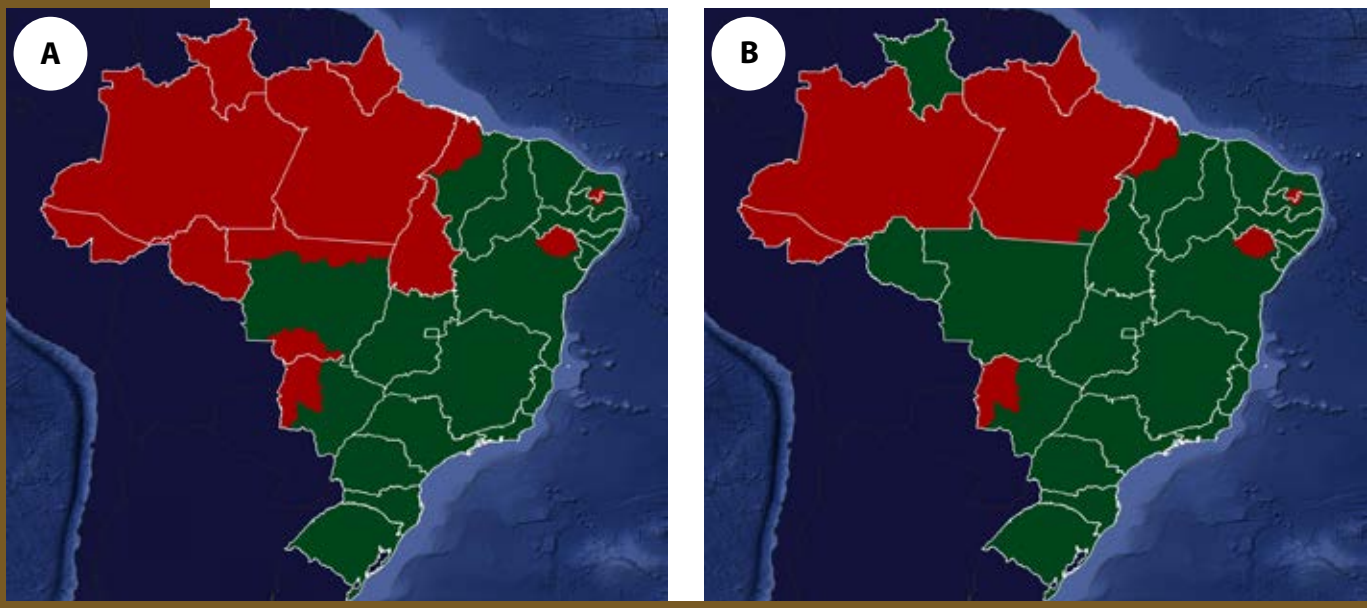


Figura 1. Zona de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados original (A) e em vigência a partir de 2024 (B). Áreas em verde: cultivo de algodoeiro geneticamente modificado permitido; Áreas em vermelho: cultivo de algodoeiro geneticamente modificado proibido

Tabela 1. Estados e municípios que compõem a zona de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados a partir de maio de 2024

Estado	Abrangência da zona de exclusão
Acre	Todos os municípios
Amapá	Todos os municípios
Amazonas	Todos os municípios
Pará	Todos os municípios, menos Santana do Araguaia
Mato Grosso do Sul	Anastácio, Aquidauana, Corumbá, Dois Irmãos do Buriti, Ladário, Miranda e Porto Murtinho
Maranhão	Açailândia, Alto Alegre do Pindaré, Amapá do Maranhão, Anajatuba, Apicum-Açu, Araguanã, Arari, Bacuri, Bacurituba, Bela Vista do Maranhão, Bequimão, Boa Vista do Gurupi, Bom Jardim, Bom Jesus das Selvas, Buriticupu, Cajapió, Cajari, Cândido Mendes, Carutapera, Cedral, Central do Maranhão, Centro do Guilherme, Centro Novo do Maranhão, Conceição do Lago Açu, Cururupu, Godofredo Viana, Governador Newton Bello, Governador Nunes Freire, Guimarães, Igarapé do Meio, Itinga do Maranhão, Junco do Maranhão, Luís Domingues, Maracaçumé, Maranhãozinho, Matinha, Mirinzal, Monção, Nova Olinda do Maranhão, Olinda Nova do Maranhão, Palmeirândia, Pedro do Rosário, Penalva, Peri-Mirim, Pindaré-Mirim, Pinheiro, Pio XII, Porto Rico do Maranhão, Presidente Médici, Presidente Sarney, Santa Helena, Santa Inês, Santa Luzia, Santa Luzia do Paruá, São Bento, São Francisco do Brejão, São João Batista, São João do Carú, São Pedro da Água Branca, São Vicente Ferrer, Satubinha, Serrano do Maranhão, Tufilândia, Turiaçu, Turilândia, Viana, Vila Nova dos Martírios, Vitória do Mearim e Zé Doca.
Rio Grande do Norte	Acari, Caicó, Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Currais Novos, Equador, Ipueira, Jardim do Seridó, Ouro Branco, Parelhas, Santana do Seridó, São João do Sabugi, São José do Seridó e São Vicente
Paraíba	Baraúna, Cubati, Frei Martinho, Juazeirinho, Junco do Seridó, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Picuí, Salgadinho, São José do Sabugi, São Vicente do Seridó, Tenório e Várzea
Bahia	Abaré, Andorinha, Canudos, Chorrochó, Curaça, Euclides da Cunha, Glória, Jaguarari (a leste da Rodovia Br 407), Jeremoabo, Juazeiro (a leste da Rodovia BR 407), Macururé, Monte Santo, Paulo Afonso, Rodelas e Uauá

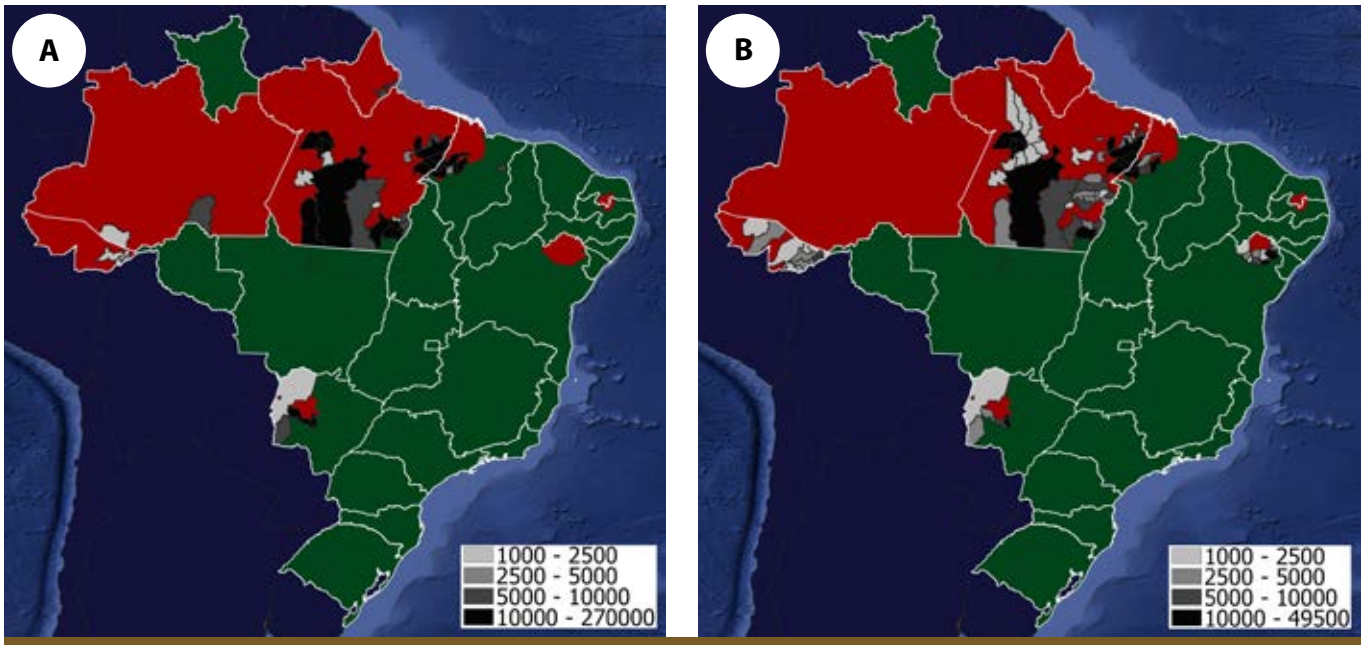


Figura 2. Área plantada na safra 2023/2024 com soja (A) e milho (B) nos municípios dentro da zona de exclusão de algodoeiro geneticamente modificado (Fonte: IBGE, 2025)

Tabela 2. Municípios dentro da zona de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados com área plantada de milho ou soja acima de 10 mil hectares na safra 2023/2024 (Fonte: IBGE, 2025)

Município	Estado	Milho	Soja
Euclides da Cunha	Bahia	16640	-
Jeremoabo	Bahia	35000	-
Açailândia	Maranhão	11694	71700
Bom Jardim	Maranhão	3100	15100
Buriticupu	Maranhão	8526	35000
Itinga do Maranhão	Maranhão	18945	34024
Santa Luzia	Maranhão	21000	11550
Anastácio	Mato Grosso do Sul	9885	20155
Dois Irmãos do Buriti	Mato Grosso do Sul	13840	20806
Miranda	Mato Grosso do Sul	2585	10920
Altamira	Pará	10500	14000
Belterra	Pará	25900	30000
Cumaru do Norte	Pará	5945	13645
Dom Eliseu	Pará	33000	170000
Mojuí dos Campos	Pará	49500	50000
Novo Progresso	Pará	4000	28472
Paragominas	Pará	36700	270000
Redenção	Pará	3062	10536
Rondon do Pará	Pará	31000	70000
Santa Maria das Barreiras	Pará	48400	66615
Santarém	Pará	32000	30000
Tailândia	Pará	18000	17500
Ulianópolis	Pará	10700	65000

O Pará concentra o maior número de municípios com essa característica, totalizando 13. A maioria desses municípios está localizada na mesorregião do Sudeste Paraense, com dois polos de produção próximos a Paragominas e Redenção. No Baixo Amazonas, a produção se concentra em Mojuí dos Campos, Belterra e Santarém. Já na mesorregião do Sudoeste Paraense, os municípios de Novo Progresso e o sul de Altamira, o maior município em extensão territorial do Brasil, destacam-se pela produção de soja e milho, situando-se próximos à divisa com o Mato Grosso.

No Maranhão, os municípios dentro da zona de exclusão com maior área cultivada de soja e milho estão na divisa com o Pará, nas proximidades da região de Redenção. São cinco municípios do Oeste Maranhense.

No Mato Grosso do Sul, Anastácio, Dois Irmãos do Buriti e Miranda cultivam mais de 10 mil hectares de milho ou soja. Todos esses municípios estão localizados na Mesorregião dos Pantanais. O cultivo de milho e soja nesses municípios é realizado, quase que integralmente, no Bioma Cerrado.

Na Bahia, Jeremoabo e Euclides da Cunha não cultivam soja. Ambos os municípios estão integralmente localizados na Caatinga, porém uma parte significativa das áreas cultivadas com milho utiliza híbridos geneticamente modificados e um sistema de produção que se assemelha ao usado em outros biomas do país. Em ambos os municípios houve um súbito aumento na área de milho. Desde 2017, Euclides da Cunha aumentou a área cultivada em 350% enquanto em Jeremoabo o crescimento foi de impressionantes 680% (IBGE, 2025). Segundo informações pessoais obtidas, esse crescimento foi impulsionado pela inclusão dos municípios como áreas aptas ao plantio de milho pelo ZARC (Zoneamento Agrícola de Risco Climático). Isso fez com que os produtores locais aumentassem a área cultivada e que produtores da região SEALBA (região formada por conjunto contíguo de municípios do leste de Sergipe e Alagoas e do nordeste da Bahia) migrassem para essa área. O aumento local e a migração ocorreram devido à possibilidade de acesso a financiamento bancário, ao seguro agrícola e ao preço de arrendamento relativamente baixo. Para ambos os municípios, não há recomendação do ZARC para o cultivo de soja, mas há para o algodoeiro. Apesar da aptidão climática, os dois municípios não cultivam algodoeiro, e não há movimento conhecido para que esse cenário se altere.

3. Importância das zonas de exclusão para o produtor de algodão

O plantio de algodoeiro geneticamente modificado dentro da zona de exclusão pode trazer problemas tanto para o agricultor quanto para a cadeia produtiva. O agricultor pode sofrer penalidades, como multas elevadas, apreensão da produção e a obrigação de destruir a lavoura, resultando em graves prejuízos financeiros. Para a cadeia produtiva, o plantio irregular pode resultar no descrédito dos sistemas de qualidade, sustentabilidade e rastreabilidade construídos com esmero e trabalho árduo de cotonicultores e das associações de produtores.

Conforme já relatado, historicamente, os cultivos de algodoeiro geneticamente modificado dentro da zona de exclusão são realizados de modo inadvertido devido ao desconhecimento da legislação. Portanto, a divulgação da existência das zonas de exclusão pode ser um mecanismo eficaz para evitar transtornos futuros. Essa divulgação pode ser realizada pela união de forças de setores governamentais, como o Ministério da Agricultura e Pecuária e as Secretarias Estaduais e Municipais de Agricultura, juntamente com a iniciativa privada, como sindicatos,

associações de produtores, federações de agricultores e empresas que comercializam sementes de algodoeiro. A divulgação deve ser feita em todos os locais dentro da zona de exclusão, priorizando aqueles em que as chances de ocorrência sejam maiores. Pela análise realizada, sugere-se que os locais priorizados sejam:

- Sudoeste do Pará, nas regiões de Paragominas e Redenção;
- Baixo Amazonas, no Pará, com enfoque em Mojuí dos Campos, Belterra, Santarém;
- Sudoeste Paraense, em sua porção mais ao sul, abrangendo os municípios de Novo Progresso e nos distritos de Cachoeira da Serra e Castelo dos Sonhos de Altamira;
- Oeste Maranhense, nas microrregiões de Pindaré (Bom Jardim, Buriticupu e Santa Luzia) e de Imperatriz (Açailândia e Itinga do Maranhão);
- Microrregião de Aquidauana, em especial aos municípios de Anastácio, Dois Irmãos do Buriti e Miranda.

Como previsto pela Embrapa no Comunicado Técnico 242 (Barroso *et al.*, 2005), aperfeiçoamentos nas zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados devem ser realizados sempre que necessário. A CTNBio, atendendo a solicitações de atores das cadeias produtivas ou do poder público, e com base em informações científicas, tem realizado tais aperfeiçoamentos. Portanto, agricultores que atuam em zonas de exclusão e desejam cultivar algodoeiro geneticamente modificado devem buscar apoio de entidades de classe e órgãos governamentais que podem verificar a viabilidade de solicitar uma alteração da zona de exclusão à CTNBio, além de esclarecer as necessidades que fundamentarão a solicitação.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, V.C.; PEREIRA, G.S.; SILVA, M.G.; COSTA, J.N.; BARROSO, P.A.V. Distribuição e caracterização in situ de populações de *Gossypium barbadense* L. (Malvaceae) no estado de Tocantins. In: 59 Congresso Nacional de Botânica, 2008, Natal. **Anais**. 59 Congresso Nacional de Botânica, 2008.

BARROSO, P.A.V.; AMARAL, J.A.B.; FREIRE, E.C.; HOFFMANN, L.V. Zonas de exclusão de transgênicos preserva populações in situ. **Visão Agrícola** (USP / ESALQ), v. 3, p. 23-25, 2006.

BARROSO, P.A.V.; FREIRE, E.C.; AMARAL, J.A.B.; SILVA, M.T. **Zonas de Exclusão de Algodoeiros Transgênicos para Preservação de Espécies de *Gossypium* Nativas ou Naturalizadas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005 (Série Comunicado Técnico).

BARROSO, P.A.V.; HOFFMANN, L.V.; DA COSTA, N.D.L. Challenges and Opportunities for in situ Maintenance of the Native Brazilian Cotton *Gossypium mustelinum* Miers. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 675340, 2021.

BORÉM, A.; FREIRE, E.C.; PENNA, J.C.V.; BARROSO, P.A.V. Considerations about gene escape of cotton in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n.4, p. 315-332, 2003.

BRUBAKER, C.L.; BOURLAND, F.M.; WENDEL, J.F. The Origin and Domestication of Cotton. In: SMITH, C.W.; COTHEN, J.T., Eds., **Cotton: Origin, History, Technology and Production**. Johnston and Sounds, New York, 23-32, 1999.

HOFFMANN, L.V.; BARROSO, P.A.V.; SOUSA, J.M.; TIBAZARWA, F.I. Fitness of hybrids between *Gossypium barbadense* and upland cotton and resistance to *Pectinophora gossypiella* and *Alabama argillacea*. **Journal of Life Sciences**, v. 7, p. 820-826, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas. Acesso em 18/03/2025.

PEREIRA, G.S.; ALMEIDA, V.C.; HOFFMANN, L.V.; BARROSO, P.A.V. Estrutura populacional e diversidade genética de acessos de *Gossypium barbadense* L. (Malvaceae) do Estado de Roraima via marcadores microssatélites. In: 59 Congresso Nacional de Botânica, 2008, Natal. **Anais**. 59 Congresso Nacional de Botânica, 2008.

PEREIRA, G.S.; SOUSA, R.L.; ARAÚJO, R.L.; HOFFMANN, L.V.; SILVA, E.F.; BARROSO, P.A. Selective fertilization in interspecific crosses of allotetraploid species of *Gossypium*. **Botany** (Ottawa. Print), v. 90, p. 159-166, 2012.

Lucilio Rogerio Aparecido Alves
Esalq/USP

Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros
Esalq/USP

Mauro Osaki
Esalq/USP

Renato Garcia Ribeiro
Esalq/USP

CAPÍTULO I.4

Gestão operacional e custo de produção de algodão

Capítulo publicado inicialmente na edição 2012/13, com autoria de Alves, Barros e Osaki. Foi atualizado pelos mesmos autores na reedição de 2014/15 e, na atualização de 2019/20, a autoria passou a ser de Alves, Barros, Osaki e Lima.

1. Motivadores para gerenciar custos de produção

Como em qualquer outro negócio, administrar uma fazenda agropecuária – ou seja, tomar as decisões que garantam sua rentabilidade e segurança econômica – requer uma gama abrangente e detalhada de informações sobre técnicas e aspectos financeiros. Porém, em geral, tais informações costumam ficar armazenadas somente na memória do administrador, sem registros formais, dificultando a análise do diagnóstico econômico-financeiro da propriedade, o que pode criar um quadro potencialmente enganoso sobre o desempenho ou a eficiência do administrador do negócio agropecuário.

Cada vez mais, empresários rurais sentem a necessidade de conhecimentos administrativos mais adequados como condição imprescindível para a própria sobrevivência da empresa. Esse interesse demanda novas tecnologias gerenciais, a começar pela contabilidade rural, que se destaca como o principal instrumento de apoio à tomada de decisões durante a execução e o controle das operações da empresa rural.

Os registros podem ser feitos de forma manual, mas, atualmente, cresce a necessidade do desenvolvimento de sistemas informatizados mais completos, ágeis e flexíveis. Independentemente do formato utilizado, indicadores de eficiência devem ser gerados de modo a apontar os pontos fortes e fracos, bem como os gargalos que dificultam os ajustes capazes de propiciar sustentabilidade ao negócio agropecuário. Em forma de relatórios, esses indicadores devem permitir um diagnóstico da empresa e os ajustes necessários para alcançar maior eficiência em termos de resultados administrativos. Os indicadores permitem, ainda, examinar as características estruturais da fazenda, incluindo a evolução do capital e sua composição (terra, benfeitorias, rebanhos e culturas permanentes, maquinário), a eficiência e o retorno a esse capital, necessidade de empréstimos e financiamento, capacidade de oferecer as devidas garantias e pagar os compromissos financeiros decorrentesdecorrentes, ou seja, a solvência do negócio. Dessa forma, pode-se avaliar a situação patrimonial e financeira, assim como a rentabilidade das empresas rurais.

Os relatórios obtidos a partir da contabilidade e da gestão de custos devem garantir à gerência um fluxo contínuo de informações sobre os mais variados aspectos econômicos e financeiros da empresa rural, permitindo a avaliação de sua situação atual e comparações com o que foi planejado quando foram tomadas as decisões que resultaram no projeto de investimento. Tal confronto possibilita a identificação e o controle dos desvios e suas causas, bem como que se façam os ajustes necessários frente a mudanças não previstas no

cenário utilizado na formulação do projeto inicial. A contabilidade rural, por meio do registro de informações e elaboração de demonstrações financeiras e relatórios, tem as seguintes finalidades:

- Medir o desempenho econômico-financeiro da empresa e de cada atividade produtiva individualmente;
- Orientar as operações agropecuárias de forma a melhorar o desempenho da fazenda;
- Controlar as transações financeiras;
- Apoiar a tomada de decisões no planejamento da produção, das vendas e dos investimentos;
- Auxiliar as projeções de fluxo de caixa e necessidade de crédito;
- Permitir a comparação do desempenho da empresa no tempo e desta com outras empresas;
- Conduzir as despesas pessoais do proprietário e de sua família;
- Justificar a liquidez e a capacidade de pagamento da empresa junto a agentes financeiros e outros credores;
- Servir de base para seguros, arrendamentos e outros contratos;
- Gerar informações para a declaração do Imposto de Renda.

Os registros também são importantes para demonstrar a conformidade com regulamentos ambientais, estabelecer a necessidade de seguro, planejar e avaliar patrimônios, monitorar estoques, elaborar relatórios para sócios e acionistas, dividir renda e despesas em negócios com vários donos, entre outras finalidades.

A partir dos dados disponíveis na contabilidade e dos resultados econômicos, podem ser analisados, por exemplo, os seguintes aspectos do negócio:

- Níveis e combinações de insumo e produto;
- Quando e como adquirir mais recursos;
- Riscos e retornos da adoção de novas tecnologias;
- Novos investimentos de capital;
- Ajuste do tamanho do estabelecimento;
- Troca de empreendimento;
- Busca de novos mercados para seus produtos.

Os indicadores base para as análises listadas anteriormente são, geralmente, os seguintes:

- Custo fixo total por fazenda e por unidade de negócio;
- Custos variáveis por produto e por unidade de negócio;
- Margem de contribuição em nível de produto;
- Margem bruta por fazenda;
- Pontos de equilíbrio em volumes e receitas de vendas;
- Lucratividade;
- Retorno do investimento operacional;
- A necessidade de aporte financeiro para reposição da infraestrutura produtiva, ou seja, a sustentabilidade agrícola.

Não se pode esquecer que o estudo do custo de produção é um dos assuntos mais importantes, pois, quando confrontado com as receitas do negócio, fornece ao empresário rural um roteiro indicativo para a escolha dos sistemas de produção a serem adotados e seguidos, podendo dispor e combinar os recursos utilizados em sua produção, visando melhores resultados. Não se pode apenas utilizar como parâmetro o recurso disponível em caixa, ou seja, a diferença entre recebimentos e pagamentos, para verificar se a empresa rural está resultando em lucro de forma sustentável. Na prática, seria ideal que o produtor gerasse receita suficiente a cada safra que garantisse a reposição do patrimônio investido, permitindo manter a sustentabilidade da propriedade rural.

O fato é que os gestores do futuro continuarão tomando decisões, assim como fazem hoje, e usarão princípios econômicos, orçamentos, resumos contábeis, análises de investimento, demonstrações financeiras e outras técnicas gerenciais para ajudá-los a tomar essas decisões.

É necessário, no entanto, analisar se o emprego de novas tecnologias proporciona resultados positivos a produtos novos e mais especializados para comercialização. Em outras palavras, as inovações eletrônicas podem oferecer dados mais exatos e ágeis, facilitando a tomada de decisões gerenciais. Este aspecto é extremamente importante no ganho de eficiência, pois os agropecuaristas terão que competir mais agressivamente com negócios não agrícolas pelo uso de terra,

mão de obra e recursos de capital.

No contexto de gestão e tomada de decisão, as funções da gestão envolvem: (i) o planejamento, estabelecendo metas, identificando a quantidade e qualidade dos recursos disponíveis no empreendimento, para que estes sejam alocados entre os diversos usos concorrentes. Em seguida, segue-se para (ii) a implementação, que implica em adquirir recursos e materiais necessários para efetivar o plano, além de inspecionar todo o processo. Com as atividades em andamento, será preciso focar no (iii) controle, ou seja, monitorar resultados, verificar registros de informações e comparar os resultados com a evolução histórica e, se possível, com um padrão médio da região ou do negócio característico. Assim, o passo final são os (iv) ajustes, etapa que envolve avaliar a necessidade de novos planejamentos, comparando os resultados com os objetivos do gestor. Isso pode exigir o aperfeiçoamento da tecnologia em uso ou, então, a troca de empreendimentos (Kay *et al.*, 2014; Olson, 2011). Em alguns casos, dados mais detalhados de produção e custos deverão ser coletados para a identificação de problemas específicos.

2. Quais fatores devem ser observados para contabilizar custos

Nesta seção, são apresentados alguns passos para que o agropecuarista possa contabilizar seus custos de produção agregados em diferentes categorias, visando o agrupamento de dados e a posterior elaboração de indicadores. A descrição está organizada em cinco passos distintos.

Passo 1: Identificar os centros de custos

Inicialmente, para contabilizar custos, é preciso identificar claramente a estrutura e a especificidade do negócio e das transações da fazenda. Por exemplo, esclarecer as movimentações que envolvem o cotidiano da fazenda, distinguindo o que é referente ao negócio agrícola, o que é de responsabilidade da família e o que se refere a alguma unidade industrial. Não se deve misturar, por exemplo, os gastos necessários para a produção agrícola com os da família ou de uma algodoeira ou armazém, por exemplo. Despesas com filhos na escola não devem ser atribuídas à fazenda. Da mesma forma, a energia elétrica consumida pela algodoeira e pelo silo não é de responsabilidade da produção agrícola. Membros da família devem receber pró-labore, se for o caso, e a unidade industrial deve ter seus próprios gastos e receitas específicas.

É importante que a identificação e a contabilidade de cada unidade estejam bem claras, pois isso ajuda a identificar quais negócios estão obtendo lucro ou prejuízo, fundamentando o diagnóstico e planejamento de cada centro de custo.

Gastos, custos e receitas devem ser identificados para cada centro de custos				
Família	Fazenda	Algodoeira	Silo	Outro

Passo 2: Alocação dos custos

Ao identificar os centros de custos na unidade agrícola, é importante que se possa discriminar as quantidades de insumos, mão de obra, máquinas, equipamentos, combustível, entre outros itens que podem ser contabilizados para uma determinada cultura e/ou atividade rural, e quais itens devem ser, por outro lado, classificados como conjuntos. Para os itens que não puderem ser contabilizados diretamente, deverá ser adotada uma forma de rateio. Além disso, os custos e desembolsos devem ser segregados por fazenda, talhão, sistemas produtivos, entre outros quesitos. Quanto mais detalhada a segregação, melhor será o controle.

Passo 3: Preços e quantidades

Identificar os preços unitários de cada insumo ou mesmo o custo unitário de

cada atividade, sendo que a multiplicação de ambos resultará no cálculo do custo total dos fatores de produção.

Passo 4: Segregação dos itens de custos

Para assegurar uma listagem completa dos itens de custo, recomenda-se separar em categorias distintas os custos ou despesas de produção. Pode ser utilizada, para isso, a seguinte classificação: custeio, despesa com comercialização, despesas gerais, arrendamentos, despesas financeiras, e despesas com tributos e taxas diversas, conforme definições a seguir.

- **Custeio:** podem ser contabilizados os custos com cada grupo de insumos, com cada categoria de operação mecânica, mão de obra, serviço terceirizado e irrigação.
- **Despesas com comercialização:** referem-se às despesas com a classificação, a padronização e a comercialização do produto. Assim, considera-se o gasto com embalagens e a comissão do corretor. Além disso, considera-se o custo de transporte da produção da propriedade até o local de venda.
- **Despesas gerais:** após definidos critérios de rateios, poderão ser contabilizados os desembolsos que geralmente não são diretos de uma ou outra cultura ou atividade, tais como: energia elétrica, telefone, contabilidade rural, escritório de advocacia, exames médicos admissional e demissional, análise do solo, custo de empregados gerais e administrativos, custo do deslocamento do produtor rural entre a residência e a propriedade ou mesmo até a cidade, custo com transporte de funcionário, custo da manutenção das instalações, seguro de utilitários (caminhonete), EPI (equipamento de proteção individual), entre outros itens.
- **Aluguel da terra:** não se pode deixar de contabilizar o desembolso com arrendamento[1], caso a área seja de terceiros. A prática mais comum é o valor do aluguel ser fixado tomando-se por base um parâmetro equivalente em unidade de produto agrícola, geralmente em sacas de soja. Caso o arrendamento seja anual e haja uso da terra por mais de uma cultura no período, será necessária a definição de critério de rateio, que pode ser pela renda bruta obtida.
- **Despesas financeiras** relacionam-se aos desembolsos com juros ou taxa cambial para financiamento de custeio agrícola, de bens duráveis (máquinas, implementos, silos e armazéns, estufas e galpões) e juros sobre o capital de giro de forma geral.
- **Despesas com tributos e taxas:** diferenciam-se das demais por serem cobranças recolhidas por órgãos de governo. Geralmente são descontadas no momento da comercialização do produto. São elas a Contribuição Especial da Seguridade Social Rural (CESSR) e os tributos específicos cobrados em cada Estado.

Passo 5: Mão de obra e patrimônio imobilizado

É importante preparar uma listagem com os recursos humanos e seus respectivos salários, encargos e outros adicionais, assim como a listagem do patrimônio imobilizado da fazenda, com o máximo de detalhamento possível. No caso de veículos automotores, por exemplo, recomenda-se descrever, a marca, potência, ano de fabricação, valor de compra e vida útil esperada (em horas ou anos). A mesma descrição deve ser feita para cada máquina, equipamento e benfeitorias disponíveis. Apesar de este procedimento exigir bastante trabalho inicial, novos registros somente ocorrerão quando houver venda ou compra de um novo bem, simplificando o processo.

3. Estrutura de planilhas de custos de produção

As planilhas de custos devem permitir que possam ser contabilizados separadamente dados gerais da fazenda, da mão de obra, itens do patrimônio imobilizado e uma estrutura para cálculo de cada etapa do processo operacional – desde a preparação do solo, passando por cultivo, tratos culturais, colheita e comercialização. Para cada

[1] Arrendamento rural é o contrato agrário pelo qual uma pessoa se obriga a ceder a outra, por tempo determinado ou não, o uso e gozo de imóvel rural, parte ou partes do mesmo, incluindo ou não outros bens, benfeitorias e ou facilidades, com o objetivo de nele ser exercida atividade de exploração agrícola, pecuária, agroindustrial, extrativa ou mista, mediante certa retribuição ou aluguel, observados os limites percentuais da lei.

processo, devem ser discriminados a quantidade de insumos, seus preços, máquinas, equipamentos e mão de obra utilizada.

Exemplos de planilhas eletrônicas com dados gerais são apresentados abaixo. Podem ser utilizadas planilhas semelhantes para cada talhão, discriminando as culturas de verão e de segunda safra envolvidas, com seus respectivos níveis de produtividade e preços de comercialização. Também nas colunas "cultura" e "áreas", poderiam ser detalhadas todas as culturas e atividades de cada talhão, considerando os cultivos de verão e de segunda safra. Na mesma planilha, poderiam ser discriminados o custo unitário do óleo diesel já posto na fazenda e as taxas de juros associadas a cada fonte dos recursos financeiros utilizados para custeio da fazenda, permitindo o cálculo de uma taxa média de custeio (Figura 1).

Para os itens do patrimônio imobilizado, deve ser feita uma listagem do inventário, segregando máquinas, implementos e benfeitorias. As Tabelas 1, 2 ,3 e 4 exemplificam uma estrutura básica que pode ser adotada com esta finalidade; alguns itens das figuras serão tratados com mais detalhes em seções subsequentes.

Descrição da propriedade			Valor da terra		%	Valor da propriedade
Reserva legal e APP	2143	ha	R$ 47.000,00	ha	30,00%	R$ 100.714.285,71
Área de pastagem		ha		ha	0,00%	R$ -
Área agrícola	5000	ha	R$ 47.000,00	ha	70,00%	R$ 235.000.000,00
Área arrendada		ha		ha	0,00%	R$ -
Área de reflorestamento		ha		ha	0,00%	R$ -
Área Total	7142,86	ha				R$ 335.714.285,71
Área de cultivo	5000,00	ha				

Arrendamento (sc/ha)	12,00

Culturas	Áreas		Produtividade	Unidade	Preço considerado	Unidade	Fator	Valor do fator
Soja RR	62,5	ha	64,00	Sc. 60kg	R$ 117,50	R$/Sc. 60kg	12,00	R$ 117,50
Milho Verão Bt RR	375	ha	130,00	Sc. 60kg	R$ 53,50	R$/Sc. 60kg	12,00	R$ 117,50
Algodão 1ª Safra GL	225	ha	136,30	Arroba	R$ 120,00	R$/@	12,00	R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
Soja Intacta	3062,5	ha	64,00	Sc. 60kg	R$ 117,50	R$/Sc. 60kg	12,00	R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
Algodão 1ª Safra GLTP	750	ha	143,50	Arroba	R$ 120,00	R$/@	12,00	R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
Algodão 1ª safra B2RF	525	ha	128,70	Arroba	R$ 120,00	R$/@	12,00	R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50
		ha			R$ -			R$ 117,50

	Capital Próprio (%) a.a	Bancos Rec. Controlado (%) a.a	Bancos Rec. Livre (%) a.a	Tradings e Barter (defensivos) (%) a.a	Cooperativas e/ou Revendas Agrícolas (%) a.a
Taxa	5,00%	13,50%	14,20%	10,00%	
	1		1,2%	0,8%	
Soja RR	20,00%	30,00%	10,00%	40,00%	
Milho Verão Bt RR	20,00%	30,00%	10,00%	40,00%	
Algodão 1ª Safra GL	20,00%	30,00%	10,00%	40,00%	
Soja Intacta	20,00%	30,00%	10,00%	40,00%	
Algodão 1ª Safra GLTP	20,00%	30,00%	10,00%	40,00%	
Algodão 1ª safra B2RF	20,00%	30,00%	10,00%	40,00%	

Figura 1. Exemplo de entrada de dados gerais da fazenda

Tabela 1. Exemplo de lista de maquinário existente na propriedade

Qtde	Máquina	CV	Preço novo (R$)	Taxa residual	Vida útil (horas)	Vida útil (ano)	Taxa de manutenção	frc	CARP (R$/ano)	CARP Total (R$/ano)
5	Trator Ford 6600	76	154.298,22	20%	12.000	10	80%	0,113	0,67	3,34
1	Trator JD 6145j	80	182.589,06	20%	12.000	10	80%	0,113	0,79	0,79
4	Trator JD 6165j	145	313.467,67	20%	12.000	10	80%	0,113	1,36	5,43
5	Trator JD 6300	165	196.207,69	20%	12.000	10	80%	0,113	0,85	4,25
2	Trator JD 7500	100	176.292,89	20%	12.000	10	80%	0,113	0,76	1,53
6	Trator JD 7505	140	176.292,89	20%	12.000	10	80%	0,113	0,76	4,58
2	Trator JD 8335r	320	681.355,93	20%	12.000	10	80%	0,113	2,95	5,91
1	Trator JD 8370r	335	752.542,37	20%	12.000	10	80%	0,113	3,26	3,26
1	Trator NH 6630	370	173.585,50	20%	12.000	10	80%	0,113	0,75	0,75
8	Trator NH 7630	90	202.093,92	20%	12.000	10	80%	0,113	0,88	7,01
3	Trator NH TL 75 E	103	143.481,24	20%	12.000	10	80%	0,113	0,62	1,87
3	Pulverizador Uniport 2000	75	249.493,61	20%	12.000	10	80%	0,113	1,08	3,24
8	Pulverizador JD 4630	128	526.844,18	20%	12.000	10	70%	0,113	2,28	18,27
1	Dist. Fert. Hércules 5.0	165	553.809,52	20%	12.000	10	70%	0,113	2,40	2,40
1	Colhedora JD CP690 (enfardadeira)	180	3.503.986,67	20%	12.000	10	70%	0,113	42,26	42,26
5	Colhedora JD 7660 (enfardadeira)	567	3.091.666,58	20%	4.000	10	70%	0,113	37,29	186,44
1	Colhedora Case 2399 (grãos)	300	740.333,33	20%	4.000	10	80%	0,113	5,01	5,01
1	Colhedora Case 2 566 (grãos)	330	656.361,28	20%	4.000	10	80%	0,113	4,44	4,44
4	Colhedora Case 7120 (grãos)	253	1.238.888,89	20%	4.000	10	70%	0,113	8,38	33,53

Tabela 2. Exemplo de lista de implementos existentes na propriedade

Qtde	Implemento	Preço novo (R$)	Taxa residual	Vida útil (horas)	Vida útil (ano)	Taxa de manutenção	frc	CARP (R$/ano)	CARP Total (R$/ano)
1	Carreta graneleiro	100.000,00	20%	3.000	10	80%	0,113	0,43	0,43
7	Carretinha	6.700,00	20%	3.000	10	80%	0,113	0,03	0,20
1	Distribuidor Calc. Master 1200 kg	10.608,33	20%	2.000	10	50%	0,113	0,05	0,05
1	Distribuidor Calc./ Fert. Hércules - 10 t	88.402,78	20%	2.000	10	50%	0,113	0,38	0,38
1	Distribuidor Lancer Magnum - 15 t	132.604,17	20%	2.000	10	50%	0,113	0,57	0,57
1	Guincho	8.916,50	20%	2.000	10	80%	0,113	0,04	0,15
2	Grade niveladora 60d x 22"	54.693,22	20%	2.000	10	60%	0,113	0,24	0,47
14	Plantadeira JD 2117	148.222,15	20%	1.500	10	80%	0,113	0,64	8,99
3	Plantadeira JD DB74	444.666,44	20%	1.500	10	80%	0,113	1,93	5,78

Continua →

Tabela 2. Continuação

Qtde	Implemento	Preço novo (R$)	Taxa residual	Vida útil (horas)	Vida útil (ano)	Taxa de manutenção	frc	CARP (R$/ano)	CARP Total (R$/ano)
1	Plataforma de milho 12 linhas	129.122,24	20%	4.000	10	50%	0,113	0,87	0,87
1	Plataforma de milho JD 206	64.561,12	20%	4.000	10	50%	0,113	0,44	0,44
1	Subsolador 13 hastes	21.958,37	20%	2.000	10	75%	0,113	0,10	0,10
2	Tanque de água 50.000 litros	67.500,00	20%	3.000	10	50%	0,113	0,29	0,59
5	Roçadeira Trinton	30.500,00	20%	2.000	10	150%	0,113	0,37	1,84

Tabela 3. Exemplo de lista de benfeitorias existentes na propriedade

Qtde	Benfeitoria	Preço novo (R$)	Taxa residual	Vida útil (ano)	Taxa de manutenção	frc	CARP (R$/ano)	CARP Total (R$/ano)
1	Casa do proprietário (250 m^2)	466.000,00	50%	30	10%	0,047	0,64	0,64
3	Casa do gerente (150 m^2)	150.000,00	50%	30	10%	0,047	0,21	0,62
20	Casa do funcionário (80 m^2)	54.800,00	50%	30	10%	0,047	0,08	1,51
3	Alojamento (250 m^2)	169.625,00	50%	30	10%	0,047	0,23	0,70
2	Galpão máquinas (2400 m^2)	781.200,00	50%	30	10%	0,047	1,08	2,16
1	Galpão máquinas/oficina (800 m^2)	390.600,00	50%	30	10%	0,047	0,54	0,54
3	Galpão embalagem (90 m^2)	13.500,00	50%	30	10%	0,047	0,02	0,06
1	Galpão de defensivos (1000 m^2)	200.000,00	50%	30	10%	0,047	0,28	0,28
3	Caixa d'água 300.000 L	150.000,00	50%	30	10%	0,047	0,21	0,62
1	Tanque de combustível 20.000 L	17.600,00	50%	30	10%	0,047	0,02	0,05
8	Poço artesiano	35.000,00	50%	30	10%	0,047	0,05	0,39

Tabela 4. Exemplo de lista de mão de obra existente na propriedade

Qtde	Descrição da função	Salário (R$/mês)	Tempo de contrato (meses/ ano)	Encargo Traba-lhista (R$/mês)	Encargo Social (R$/mês)	Provisio-namento (R$/mês)	Despesa (R$/mês)	Despesa anual (R$)	Valor da hora (R$/hora)
50	Op. Máquinas Agrícolas	2.350,00	12	503,94	279,39	295,12	171.422,71	2.057.072,50	17,92
4	Almoxarife	2.150,00	12	461,06	255,61	270,00	12.546,68	150.560,20	16,39
4	Ajudante	990,00	12	212,30	117,70	124,33	5.777,31	69.327,72	7,55
1	Técnico Agrícola	3.500,00	12	750,56	416,11	439,54	5.106,21	61.274,50	26,69

É importante também manter uma planilha que permita calcular os custos e as despesas com mão de obra. Nesse caso, os valores devem envolver salários, encargos diversos e até mesmo as despesas e os desembolsos com alimentação, transporte e bonificação dos colaboradores (quando houver); se possível, deve-se segregá-los em diferentes categorias. Os valores agregados podem ser calculados em termos de seu cômputo mensal e anual, ou mesmo por hora trabalhada. É preciso atentar-se à soma alocada a cada cultura e/ou atividade e à sua comparação com a despesa anualizada.

Os custos do patrimônio imobilizado podem ser calculados por unidade de área utilizada (verão e segunda safra), assim como por hora disponível durante a vida útil de cada bem. O custo por hora multiplicado pelo tempo gasto para executar a atividade resultará no custo de máquinas e equipamentos da atividade.

Em seguida, podem ser contabilizados os custos operacionais, desde o preparo do solo até a colheita e o transporte. Ressalta-se novamente que seria importante detalhar o máximo possível esses itens. Nesses cálculos, é essencial considerar os preços (ou custos) dos produtos postos na fazenda.

Para computar os custos com insumos, podem ser desenvolvidas planilhas para cada cultura, em cada talhão, como na Figura 2, com dados referentes ao uso de fertilizantes e à semeadura de algodão. Observe que são detalhados o produto, o mês de compra, o mês de pagamento do produto, a quantidade aplicada, o preço por unidade e o percentual da área em que foi aplicado (coluna "Rep.").

Para realizar a aplicação dos fertilizantes e a semeadura, utilizam-se máquinas e implementos, assim como podem ser necessários também outras máquinas, implementos e/ou equipamentos de auxílio para a operação. Esses devem ser detalhados, como ilustrado na Figura 3. Se os serviços forem terceirizados, basta criar colunas em planilha eletrônica que permitam descrever a atividade, seu preço e a quantidade.

Atividades	Produto	Unid.	Dose	Preço	Rep	Valor	Obs
Adubação de pré-plantio	Super Simples		0,45	R$ 1.700,00	0,4	306,00	
Adubação de pré-plantio		ton				0,00	
Adubação de pré-plantio		-				0,00	
-		-				0,00	

Adubação na Semeadura/plantio

Atividades	Produto	Unid.	Dose	Preço	Rep	Valor	Obs
Semeadura/Plantio	MAP	ton	0,22	R$ 3.800,00	0,6	501,60	
Semeadura/Plantio		-				0,00	
Semeadura/Plantio		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	

Semeadura/Plantio

Atividades	Produto	Unid.	Dose	Preço	Rep	Valor	Obs
Semente	Semente de Algodão GL	Dose	105.000	R$ 0,00625	1,00	656,25	Tratada
-		-				0,00	
-		-				0,00	
						0,00	
			-			656,25	

Adubação de cobertura

Atividades	Produto	Unid.	Dose	Preço	Rep	Valor	Obs
Adubação cobertura (de a	Sulfato de Amônio Granulado	ton	0,300	R$ 1.500,00	2,0	900,00	
Adubação cobertura (de a	Cloreto de Potássio	ton	0,300	R$ 3.666,67	1,0	1100,00	C/ boro
Adubação cobertura (de a		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	
-		-				0,00	
						2000,00	

Figura 2. Exemplo de entrada de insumos para produção de cada cultura da fazenda

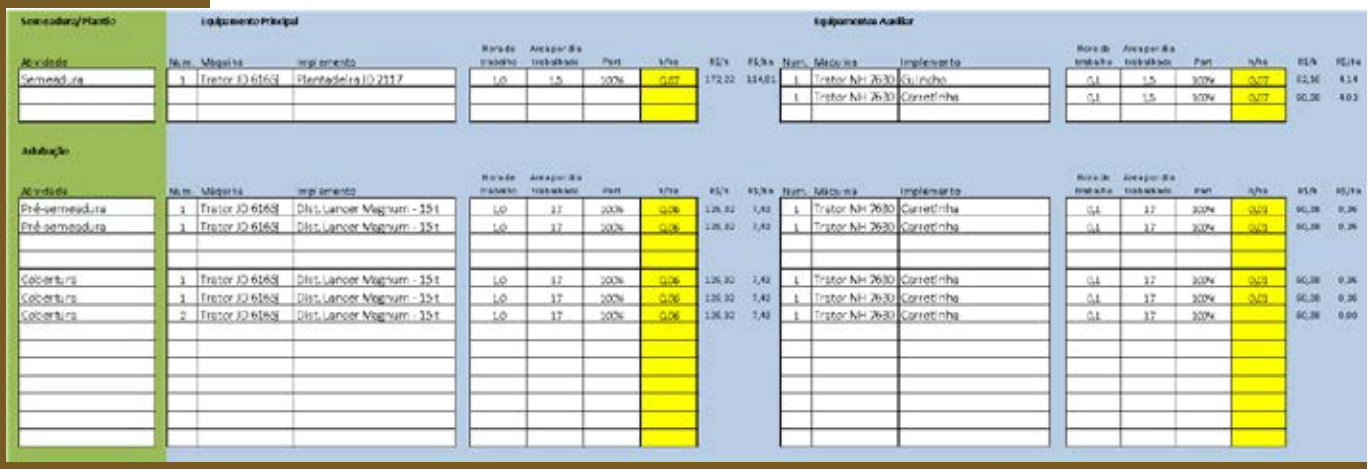


Figura 3. Exemplo de operação mecânica para cada cultura da fazenda

Semeadura/Plantio	Mão de obra Principal				Mão de obra Auxiliar			
Atividade	Num.	Funcionário	R$/h	R$/ha	Num.	Funcionário	R$/h	R$/ha
Semeadura	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	11,95	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,19
					1	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,19
Adubação								
Atividade	Num.	Funcionário	R$/h	R$/ha	Num.	Funcionário	R$/h	R$/ha
Pré-semeadura	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,05	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	0,11
Pré-semeadura	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,05	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	0,11
Cobertura	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,05	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	0,11
Cobertura	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,05	1	Op. Máquina Agrícola	17,92	0,11
Cobertura	2	Op. Máquina Agrícola	17,92	1,05	2	Op. Máquina Agrícola	17,92	0,00

Figura 4. Exemplo de entrada de mão de obra para a produção de cada cultura da fazenda

Consequentemente, podem ser acrescidos os valores da mão de obra utilizada em cada operação. Somando-se ao valor da mão de obra os custos das máquinas e implementos principais e auxiliares, obtém-se o custo total de cada operação, sem incluir o valor dos insumos, que foram contabilizados separadamente. Esse critério pode ser utilizado para todas as etapas do processo produtivo (Figura 4).

Outro ponto importante é o cálculo do custo operacional de máquinas e equipamentos. O correto é contabilizar por meio de centros de custos detalhados para cada item do patrimônio

imobilizado, direcionando os valores para cada cultura e/ou atividade. Como, em geral, as fazendas apresentam dificuldades nessa implementação, podem-se utilizar parâmetros médios. O valor de uma hora-máquina (HM) leva em consideração o custo de manutenção (cons) e o consumo de combustível (comb), calculados por meio da seguinte fórmula:

$$HM = Cons\ e\ Comb$$

Sendo,

$$Cons = ((V_i^{M*TxmM})/\ VuM),\ \text{e}$$

$$Comb = CV * 0{,}12 * PrD$$

Em que:
V_iM = Valor inicial da máquina
$TxmM$ = Taxa de manutenção da máquina
VuM = Vida útil da máquina (horas)
CV = Cavalos-vapor da máquina
PrD = preço do óleo diesel posto na propriedade

Como exemplo, considere, a partir da Tabela 1, um trator de 145 cv (cavalos-vapor) adquirido novo a um valor de R$ 313.467,67. A vida útil considerada é de 12 mil horas, e a taxa de manutenção durante a vida útil é equivalente a 80% de seu valor. O preço do óleo diesel tomado como referência neste exemplo é de R$ 3,65/l. Aplicando a fórmula anterior, cada hora trabalhada com o trator tem um custo de R$ 93,17, dos quais R$ 20,90 correspondem à manutenção e R$ 72,27 ao consumo de combustível.

Para implementos e equipamentos, deve ser calculado apenas o custo de conservação. Por exemplo, a partir da Tabela 2, considere um distribuidor de calcário adquirido novo a um valor de R$ 132.604,17. A vida útil considerada é de 2 mil horas, e a taxa de manutenção durante a vida útil é equivalente a 50% de seu valor. Aplicando a fórmula de custo de manutenção (cons), cada hora trabalhada com o trator tem um custo de R$ 33,15.

O custo operacional de uma operação mecânica também deve incluir a mão de obra efetiva utilizada. Para tal, basta dividir o gasto com salário e encargos de cada colaborador pelo total de horas disponíveis para trabalho e, então, multiplicar pelo rendimento da operação mecânica:

$$Mo = \frac{Sal+Enc}{hr} * rend$$

Em que:
Mo = Gasto com mão de obra por hectare na operação mecânica
Sal = Remuneração anual recebida por cada colaborador
Enc = Encargos totais anuais pagos por cada colaborador
hr = Horas disponíveis no ano por cada colaborador
$rend$ = Rendimento da operação mecânica em horas/hectare

Como exemplo, um operador de máquina (Tabela 4) que recebe uma remuneração de R$ 2.350,00/mês e está à disposição por 8 horas/dia em 261 dias úteis no ano e mais 4 horas/dia em 52 dias, tem custo de R$ 17,92/hora. Assim, em uma operação de plantio, o rendimento é de 0,67 horas/hectare (1,5 ha/h), e o gasto efetivo de mão de obra é de R$ 11,95/ha.

4. Divisão entre custos operacionais e custos fixos

Com o detalhamento do patrimônio e a descrição dos custos operacionais, é preciso iniciar a separação dos valores finais para elaboração de uma planilha-resumo. Também será preciso efetuar alguns cálculos com os custos fixos, relacionados aos itens do patrimônio.

Sugere-se que os custos totais sejam formados pelos custos operacionais (CO) e pelo custo anual de recuperação do patrimônio (CARP), conforme Barros *et al.* (2019):

$$\text{CUSTO TOTAL} = \text{CO} + \text{CARP}$$

O CO refere-se a todos os gastos assumidos pela propriedade ao longo de um ano (civil ou agrícola) e referentes a itens que serão consumidos nesse mesmo intervalo de tempo. Nesse grupo não se incluem investimentos em máquinas, equipamentos ou terra.

O CO é composto por itens como: sementes/mudas, adubos e corretivos, herbicidas, inseticidas, fungicidas, adjuvantes, preparo do solo, semeio, tratos culturais, colheita, combustível, frete, beneficiamento, classificação, assistência técnica, financiamento de capital de giro, mão de obra e

manutenção de máquinas, implementos e equipamentos.

O CO, portanto, é composto pelo resultado da multiplicação do preço pela quantidade (W) de insumos utilizados, do custo de manutenção das máquinas, implementos e equipamentos (C_{op}), do custo de consumo de óleo diesel das máquinas e o tempo dedicado a cada cultura (W_{op}), da manutenção das benfeitorias (C_i) e do juro sobre capital de giro (JSCG) (Figura 5). O JSCG deve ser calculado considerando a taxa envolvida na captação de recursos ou nas compras a prazo. Todos os itens operacionais devem ser considerados pelo período (dias ou meses) em que permanecem imobilizados, ou seja, a partir de sua compra até o recebimento pela venda da produção. Não confundir com desembolso de parcelas de financiamentos do patrimônio.

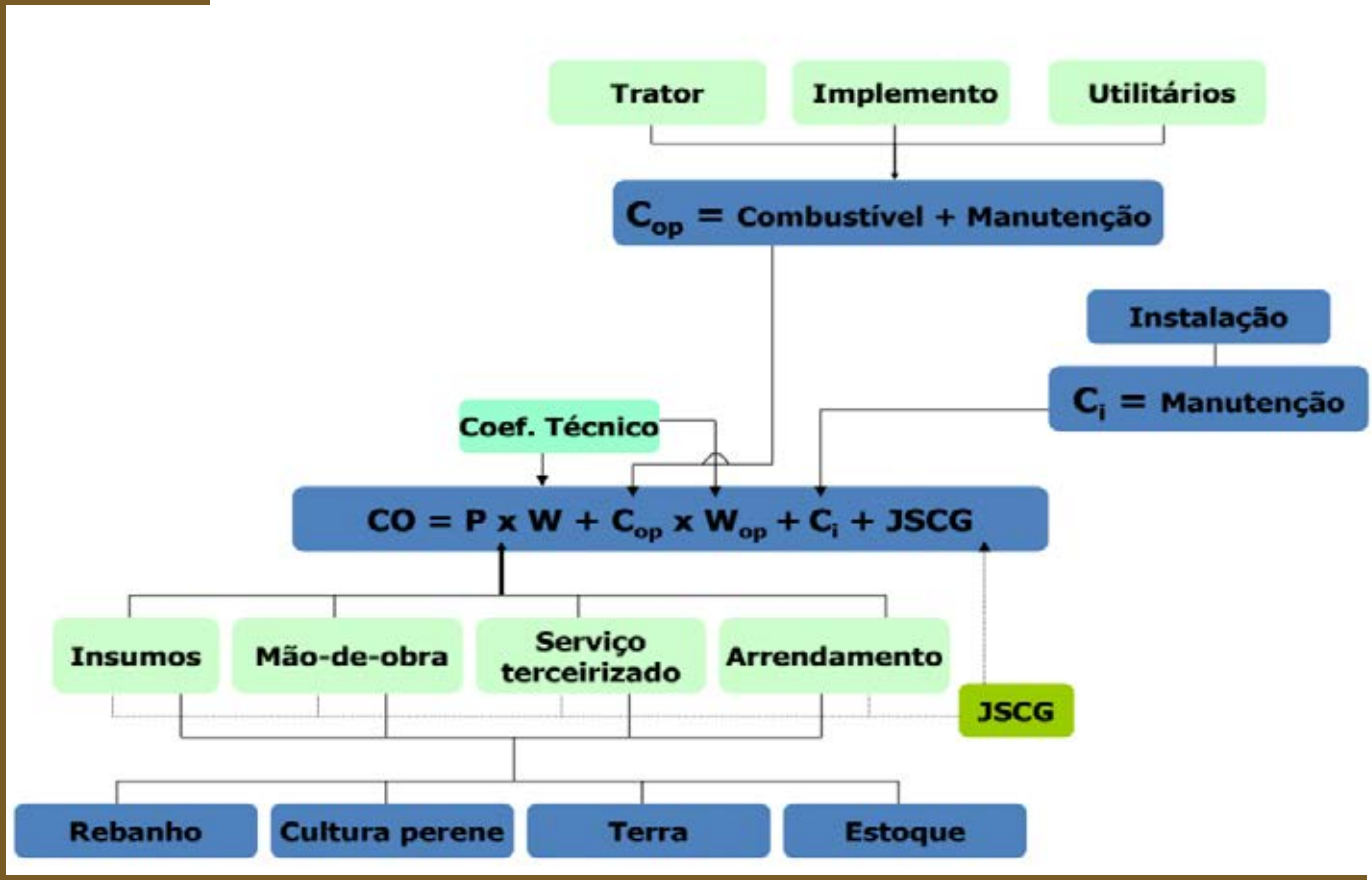


Figura 5. Fluxo geral do CO da propriedade

Como resultado, poder-se-ia ter uma planilha-resumo dos custos operacionais como consta na Figura 6.

No CARP, estão computados os valores da depreciação e da remuneração do capital investido. O CARP é uma estimativa do valor mínimo que uma fazenda deve obter como receita líquida anualmente para permitir o retorno econômico desejado ao patrimônio – máquinas, equipamentos, benfeitorias, terra – incluindo sua reposição quando couber, garantindo a permanência na atividade no longo prazo, ou seja, a sustentabilidade do negócio.

O correto, porém, é que o produtor extraia anualmente, em média, uma receita no mínimo igual ao CARP, para que seu patrimônio se mantenha com a rentabilidade esperada. Com isso, o produtor conseguirá ter capital suficiente para renovar todo seu patrimônio.

O CARP para uma máquina é:

$$CARP_{maq} = frc_{maq} \times CR_{maq}$$

Onde:
frc = fator de recuperação do capital; e,
CR = valor de mercado para reposição da máquina.

O *frc* refere-se aos custos anualizados do capital, calculados por:

$$frc_{maq} = \frac{(1+r)^z \times r}{(1+r)^z - 1}$$

Onde:
r = taxa de desconto real (sem inflação) ou custo de oportunidade do capital, em anos; e
z = é a vida útil da máquina, em anos.

Para uma máquina com valor de compra de R$ 350.000,00, sem valor residual, vida útil de dez anos e custo de oportunidade de 1,92% a.a. (taxa de juro real, que pode ser obtida pela média dos rendimentos da poupança e da taxa Selic, descontada pela média dos índices de inflação IGP-DI – Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna – e IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo), o CARP é dado por:

$$CARP_{maq} = \frac{(1+r)^z \times r}{(1+r)^z - 1} \times CR_{maq}$$

$$CARP_{maq} = \frac{(1+0{,}0192)^{10} \times 0{,}0192}{(1+0{,}0192)^{10} - 1} \times 350.000{,}00$$

$$CARP_{maq} = \frac{1{,}209467 \times 0{,}0192}{1{,}209467 - 1} \times 350.000{,}00$$

$$CARP_{maq} = \frac{0{,}023222}{0{,}209467} \times 350.000{,}00$$

$$CARP_{maq} = 0{,}110861 \times 350.000{,}00$$

$$CARP_{maq} = \text{R\$ } 38.801{,}37 \text{ / ano na propriedade}$$

Descrição	Soja RR	Milho Verão Bt RR	Algodão 1ª Safra GL	Soja Intacta	Algodão 1ª Safra GLTP	Algodão 1ª safra B2RF
Insumos (A)	***R$ 3.477,02***	***R$ 3.052,14***	***R$ 7.263,32***	***R$ 3.624,70***	***R$ 7.874,80***	***R$ 7.490,07***
Corretivos	R$ 2,81	R$ 16,88	R$ 10,13	R$ 137,81	R$ 33,75	R$ 23,63
Sementes de forrageiras	R$ 0,68	R$ 4,09	R$ 2,45	R$ 33,41	R$ 8,18	R$ 5,73
Fertilizantes	R$ 1.583,33	R$ 2.502,14	R$ 2.807,60	R$ 1.583,33	R$ 2.807,60	R$ 2.807,60
Sementes	R$ 506,00	R$ 1.110,60	R$ 656,25	R$ 598,00	R$ 1.606,50	R$ 1.181,25
Tratamento de semente	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Def. agr./Adjuvantes/Foliares	R$ 1.384,19	R$ 1.418,43	R$ 3.786,89	R$ 1.272,14	R$ 3.418,77	R$ 3.471,87
Herbicidas	R$ 268,68	R$ 186,96	R$ 688,00	R$ 268,68	R$ 688,00	R$ 674,75
Inseticidas	R$ 644,08	R$ 954,31	R$ 2.068,13	R$ 432,03	R$ 1.697,02	R$ 1.763,37
Fungicidas	R$ 407,86	R$ 271,16	R$ 771,61	R$ 407,86	R$ 771,61	R$ 771,61
Adjuvantes/Regulador de cresc.	R$ 31,98	R$ 6,00	R$ 161,95	R$ 31,98	R$ 161,95	R$ 161,95
Fertilizantes foliares	R$ 131,60	R$ -	R$ 200,00	R$ 131,60	R$ 200,00	R$ 200,00
Operação mecânica (B)	***R$ 565,00***	***R$ 715,34***	***R$ 1.388,67***	***R$ 602,89***	***R$ 1.338,37***	***R$ 1.335,53***
Correção do solo	R$ 0,79	R$ 4,74	R$ 2,84	R$ 38,67	R$ 9,47	R$ 6,63
Formação de forragem PD	R$ 142,51	R$ 142,51	R$ 142,51	R$ 142,51	R$ 142,51	R$ 142,51
Preparo do solo	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Adubação pré-semeadura	R$ 41,87	R$ 41,87	R$ 16,75	R$ 41,87	R$ 16,75	R$ 16,75
Semeadura/adubação	R$ 118,63	R$ 118,63	R$ 199,79	R$ 118,63	R$ 199,79	R$ 199,79
Ad. Cobertura (N e K)	R$ 25,73	R$ 77,19	R$ 154,37	R$ 25,73	R$ 154,37	R$ 154,37
Pulverização	R$ 104,76	R$ 79,71	R$ 227,73	R$ 104,76	R$ 170,80	R$ 170,80
Outros tratos culturais	R$ -	R$ -	R$ 53,61	R$ -	R$ 53,61	R$ 53,61
Colheita	R$ 130,72	R$ 250,70	R$ 591,07	R$ 130,72	R$ 591,07	R$ 591,07
Operações terceirizadas (C)	***R$ 337,75***	***R$ 519,00***	***R$ 1.315,80***	***R$ 337,75***	***R$ 1.315,80***	***R$ 1.315,80***
Preparo do solo	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Semeadura	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Tratos culturais	R$ -	R$ 90,00	R$ 300,00	R$ -	R$ 300,00	R$ 300,00
Colheita	R$ 126,55	R$ -	R$ 484,24	R$ 126,55	R$ 484,24	R$ 484,24
Frete agrícola (rod.)	R$ 211,20	R$ 429,00	R$ 531,56	R$ 211,20	R$ 531,56	R$ 531,56
Mão de obra (D)	***R$ 226,61***	***R$ 272,27***	***R$ 488,73***	***R$ 245,63***	***R$ 448,03***	***R$ 446,60***
Preparo do solo	R$ 5,80	R$ 5,99	R$ 4,69	R$ 7,64	R$ 5,01	R$ 4,87
Semeadura	R$ 2,30	R$ 2,30	R$ 3,87	R$ 2,30	R$ 3,87	R$ 3,87
Tratos	R$ 9,04	R$ 9,59	R$ 29,71	R$ 9,04	R$ 25,46	R$ 25,46
Colheita	R$ 4,97	R$ 8,69	R$ 8,48	R$ 4,97	R$ 8,48	R$ 8,48
Geral	R$ 204,51	R$ 245,70	R$ 441,97	R$ 221,69	R$ 405,21	R$ 403,92
Irrigação (E)	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***
Custo geral (F)	***R$ 129,50***	***R$ 120,02***	***R$ 275,66***	***R$ 129,50***	***R$ 292,16***	***R$ 262,38***
Comercialização (G)	***R$ -***	***R$ -***	***R$ 1.826,55***	***R$ -***	***R$ 1.937,25***	***R$ 1.737,45***
Impostos (H)	***R$ 115,02***	***R$ 106,38***	***R$ 248,34***	***R$ 115,02***	***R$ 263,10***	***R$ 236,46***
CESSR (Funrural)	R$ 112,80	R$ 104,33	R$ 243,54	R$ 112,80	R$ 258,30	R$ 231,66
Imposto estadual	R$ 2,22	R$ 2,05	R$ 4,80	R$ 2,22	R$ 4,80	R$ 4,80
Arrendamento	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***	***R$ -***
Seguro (I)	***R$ 60,42***	***R$ 60,42***	***R$ 98,13***	***R$ 60,42***	***R$ 98,13***	***R$ 98,13***
Assistência técnica (J)	***R$ 92,13***	***R$ 131,17***	***R$ 209,13***	***R$ 96,22***	***R$ 219,54***	***R$ 211,76***
Juros de capital de giro (K)	***R$ 474,11***	***R$ 668,39***	***R$ 1.423,38***	***R$ 494,56***	***R$ 1.496,67***	***R$ 1.426,91***
CUSTO OPERACIONAL	R$ 5.477,55	R$ 7.645,13	R$ 14.537,70	R$ 5.706,68	R$ 15.283,85	R$ 14.561,09

Figura 6. Exemplo de estrutura de custo operacional por cultura da fazenda, em R$/ha

Estes cálculos sinalizam que para uma máquina de R$ 350.000,00, para cada um dos dez anos de vida útil é preciso considerar um custo de R$ 38.801,37 por ano na propriedade, caso o custo de oportunidade seja de 1,92% a.a.

Para obter o custo que deve ser direcionado para cada hectare, é preciso calcular a quantidade de hectares cultivados nos quais esta máquina está disponível na fazenda, considerando as áreas de primeira e de segunda safras. Caso haja mais de uma máquina com o mesmo valor de compra e vida útil, basta multiplicar os resultados pela quantidade total de máquinas equivalentes. Assim, a fórmula passa a ser:

$$CARP_{maq} = \frac{frc_{maq} \times CR_{maq}}{ACT} \times n$$

Onde:

ACT = área de cultivo total para a qual a máquina está disponível; e,

n = número de máquinas com o mesmo valor inicial e vida útil.

O mesmo raciocínio vale para implementos, equipamentos e benfeitorias. Para a terra, porém, basta apenas considerar o custo de oportunidade, pois não há depreciação envolvida. O valor do patrimônio em terra deve ser dividido pela área total de cultivo (primeira e segunda safras) e multiplicado pela taxa de oportunidade do capital (juro) em termos reais (deflacionado). Quanto mais se utilizar a terra, menor seu custo fixo por hectare cultivado. Assim, tem-se:

$$CARP_{terra} = \frac{VPterra}{ACT} \times r$$

Onde:

VPterra = valor do patrimônio em terra.

Para a fazenda descrita na Figura 1 e seus custos operacionais na Figura 6, os valores do CARP para as áreas de soja, algodão e milho seriam os apresentados na Figura 7, considerando que as máquinas de grãos seriam alocadas para soja e milho, e que, no caso do algodão, haveria máquinas e equipamentos dedicados exclusivamente à cultura.

Ao somar os custos fixos (CARP) de todos os itens do patrimônio da fazenda, obtém-se os resultados como os apresentados na Figura 8.

Itens	Soja		Milho 1ª Safra		Algodão	
Máquinas	R$	493,13	R$	493,13	R$	1.291,50
Implementos	R$	124,52	R$	124,52	R$	124,52
Benfeitoria	R$	45,44	R$	45,44	R$	45,44
Terra	R$	1.342,86	R$	1.342,86	R$	1.342,86
CARP Total	**R$**	**2.005,94**	**R$**	**2.005,94**	**R$**	**2.804,31**

Figura 7. Custo Anual de Recuperação do Patrimônio (CARP), por hectare, para máquinas, equipamentos, benfeitorias e terra, em fazenda produtora de soja, milho e algodão

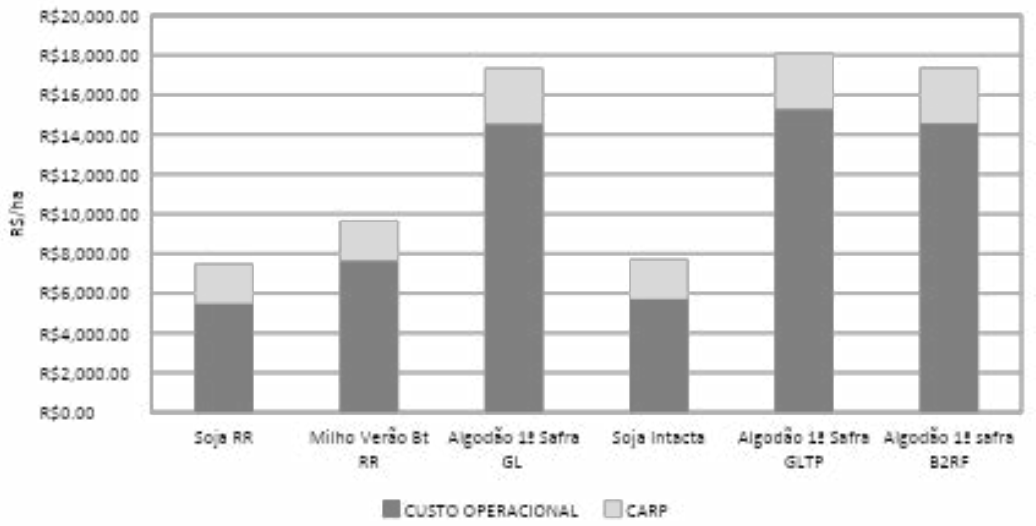


Figura 8. Custo total de produção, por hectare, para as culturas e as tecnologias da fazenda

5. Apuração da lucratividade do investimento

Com a contabilização dos custos operacionais e dos custos fixos, resta analisar a receita total (RT), que é o resultado da multiplicação dos preços de comercialização (venda antecipada, *barter*, venda na colheita ou venda durante a entressafra) pela quantidade colhida. O esquema resumo seria (Figura 9):

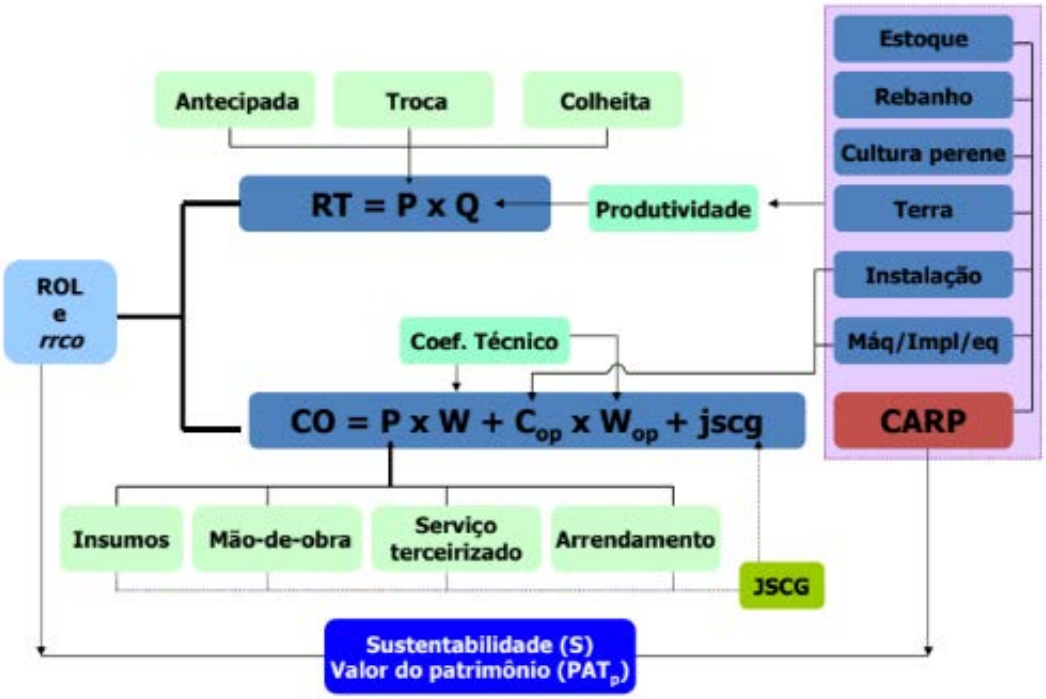


Figura 9. Fluxo econômico-financeiro de produção para cada cultura da fazenda

Ao subtrair da RT de uma cultura o valor correspondente a seu CO, tem-se a receita líquida operacional (RLO):

$$RLO_i = RT_i - CO_i$$

Observe que, para o negócio ser sustentável, a RLO deve ser superior ou igual ao CARP. Caso contrário, a RLO não seria suficiente para cobrir os custos de oportunidade e a possível recompra de itens do imobilizado. Se negativa, a receita não seria suficiente para pagamento nem mesmo dos

desembolsos de cada ano-safra.

Se da RT se subtrair o CT, obtém-se a receita líquida total (RLT):

$$RLT_i = RT_i - CT_i$$

A RLT não negativa é que dará condições para novos investimentos e para ampliação do patrimônio. Com RLT > 0, o negócio geraria renda suficiente para cobrir os custos de oportunidade e também permitiria a aplicação em novos ativos.

Com as RLOs e RLTs, pode-se calcular a rentabilidade por real investido (rr). Sobre o CO, tem-se:

$$rrco_i = \frac{RLO_i}{CO_i}$$

Em que a $rrco_i$ = *Retorno por real investido no custo operacional da cultura i.*

Sobre o CT, tem-se:

$$rrct_i = \frac{RLT_i}{CT_i}$$

Sendo $rrct_i$ = Retorno por real investido no custo total da cultura i.

Considerando os exemplos de culturas citados anteriormente, ter-se-iam os resultados apresentados na Figura 11, considerando os parâmetros de preços e produtividades também detalhadas na mesma figura. Para os exemplos citados, a cultura do algodão mostrou-se com expressivas receitas líquidas e retorno sobre investimento, seguida pelos retornos da soja. A cultura do milho apresentou retorno positivo apenas sobre o custo operacional.

Para a fazenda como um todo, devem ser somadas todas as receitas brutas e todos os custos para analisar sua sustentabilidade (Figura 10). Em termos monetários, os resultados constam da Figura 12, em que se observam resultados extremamente favoráveis, especialmente para o algodão.

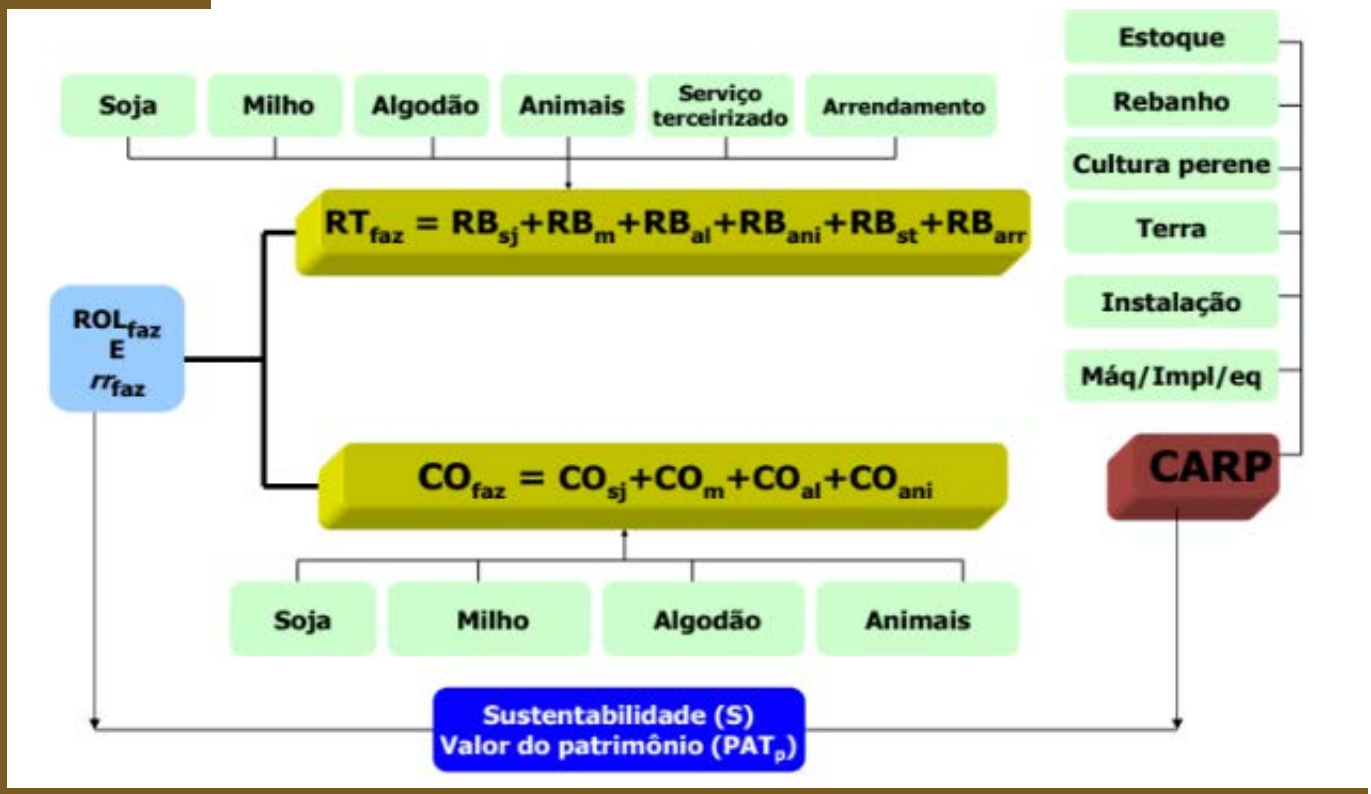


Figura 10. Fluxo de análise da sustentabilidade da fazenda

Quadro de análise	Soja RR	Milho Verão Bt RR	Algodão 1ª Safra GL	Soja Intacta	Algodão 1ª Safra GLTP	Algodão 1ª safra B2RF
Preço médio (pluma ou grão)	R$ 117,50	R$ 53,50	R$ 120,00	R$ 117,50	R$ 120,00	R$ 120,00
Produtividade (pluma ou grão)	64,00 sc	130,00 sc	135,30 @	64,00 sc	143,50 @	128,70 @
Preço médio (Caroço)			R$ 2.419,56		R$ 2.419,56	R$ 2.419,56
Produtividade (Caroço)			2,57 t		2,57 t	2,57 t
Receita Bruta	**R$ 7.520,00**	**R$ 6.955,00**	**R$ 22.463,95**	**R$ 7.520,00**	**R$ 23.447,95**	**R$ 21.671,95**
CO	R$ 5.477,55	R$ 7.645,13	R$ 14.537,70	R$ 5.706,68	R$ 15.283,85	R$ 14.561,09
CT	R$ 7.483,49	R$ 9.651,07	R$ 17.342,01	R$ 7.712,62	R$ 18.088,16	R$ 17.365,40
RLO (RT - CO)	R$ 2.042,45	-R$ 690,13	R$ 7.926,25	R$ 1.813,32	R$ 8.164,10	R$ 7.110,86
RLT (RT - CT)	R$ 36,51	-R$ 2.696,07	R$ 5.121,94	-R$ 192,62	R$ 5.359,79	R$ 4.306,55
Retorno por real investido (rrco)	37,3%	-9,0%	54,5%	31,8%	53,4%	48,8%
Retorno por real investido (rrct)	0,5%	-27,9%	29,5%	-2,5%	29,6%	24,8%

Figura 11. Resultados financeiros e econômicos por cultura na propriedade

Quadro de análise	Soja	Milho 1ª Safra	Algodão	Total
Receita Bruta	**R$ 23.500.000,00**	**R$ 2.608.125,00**	**R$ 34.018.121,16**	**R$ 60.126.246,16**
CO	R$ 17.819.049,43	R$ 2.866.922,62	R$ 22.378.438,50	R$ 43.064.410,55
CT	R$ 24.087.613,28	R$ 3.619.150,29	R$ 26.584.904,51	R$ 54.291.668,07
RLO (RT - CO)	R$ 5.680.950,57	-R$ 258.797,62	R$ 11.639.682,66	R$ 17.061.835,61
RLT (RT - CT)	-R$ 587.613,28	-R$ 1.011.025,29	R$ 7.433.216,65	R$ 5.834.578,09
Retorno por real investido (rrco)	31,9%	-9,0%	52,0%	39,6%
Retorno por real investido (rrct)	-2,4%	-27,9%	28,0%	10,7%

Figura 12. Resultados financeiros e econômicos em termos agregados para a propriedade

6. Gestão sustentável

A gestão sustentável, ou a sustentabilidade econômica, é aquela na qual a receita líquida operacional do empreendimento é superior ou igual a seu CARP. Se for superior, há perspectiva de aumento do patrimônio, e não somente sua manutenção. Se a RLO for menor que o CARP, isso significa que o capital não está sendo remunerado o suficiente para que a fazenda se mantenha ou cresça ao longo do tempo. Se isso persistir, pode se preparar: a atividade não é economicamente sustentável no longo prazo. Informações detalhadas sobre a modelagem deste aspecto são apresentadas em Barros *et al*. (2019).

7. Indicadores para análises de desempenho do negócio rural

Uma questão que sempre aparece nas análises de negócios agropecuários é por que motivo estabelecimentos semelhantes têm rendas diferentes. Aqui, destaca-se a importância de realizar a contabilidade rural, permitindo a construção de indicadores. Como base nesses indicadores, haverá a possibilidade de fixar padrões para comparar resultados, assim como medir o desempenho efetivo do negócio e, certamente, tomar medidas corretivas para melhorar o desempenho, após serem identificados os aspectos com problemas (Kay *et al.*, 2014).

As comparações de resultados podem ser realizadas com base nas metas e/ou orçamentos, em comparação com outros estabelecimentos semelhantes ou mesmo avaliando tendências históricas, sendo que nesse último caso também se deve avaliar as melhorias introduzidas ao longo do tempo. O desempenho pode ser avaliado com base em: (a) medidas de lucratividades (rentabilidades sobre investimentos, margens monetárias, etc.), em (b) medidas de tamanho (receita bruta, valor do imobilizado, total de área disponível e cultivada, mão de obra utilizada, quantidade produzida e vendida e valor da produção), (c) medidas de eficiência (que se referem à quantidade ou ao valor de produção obtido por unidade de recurso empregado), e (d) medidas financeiras (quantidade da dívida, relação da quantidade da dívida com o imobilizado, alterações do patrimônio ao longo do tempo, capital de giro disponível, entre outras).

Dessa forma, poderiam ser citados os seguintes indicadores como possibilidades de construção, com base nas informações de custos e receitas:

- Evolução das quantidades e dos preços de cada insumo utilizado no processo produtivo;
- Evolução dos custos operacionais de cada cultura e/ou atividade em áreas e períodos diferentes;

- Cálculo do custo econômico de cada bem do patrimônio;
- Cálculo dos custos de manutenção e de consumo de cada máquina e equipamento;
- Mensuração dos custos econômicos totais (CT) e do CARP;
- Evolução das produtividades de cada cultura em períodos diferentes de cultivo;
- Evolução dos preços de comercialização;
- Mensuração da receita total;
- Cálculos das RLOs e das RLTs;
- Mensuração das rentabilidades (rrco e rrct);
- Simulações de preços e produtividade, para analisar os cenários de riscos;
- Outros indicadores.

8. Tomada de decisão com as informações contabilizadas

Um dos primeiros pontos a se avaliar num processo de tomada de decisão envolve os princípios econômicos de escolha de combinações de insumo e/ou produto. Como se sabe, para se obter um produto da agropecuária, é necessário o uso de vários insumos no processo produtivo. É papel do gestor escolher a combinação ou proporção de insumos a ser utilizada, visando maximizar o lucro final. Esse é o caso, por exemplo, de sementes geneticamente modificadas, de métodos de aplicação de fertilizantes, entre outros aspectos.

Para utilizar uma área agrícola, não se pode deixar de considerar as combinações de produtos, aqui entendidos como culturas e atividades, em um contexto, inclusive, de rotação e sucessão. No mesmo período de cultivo, é preciso avaliar os empreendimentos concorrentes em áreas, assim como os caracterizados como suplementares (quando a oferta de um produto pode ser aumentada sem que ocorra alteração no nível de produção de outro produto) e complementares (quando o aumento da produção de um empreendimento implica no aumento de outro produto, ao mesmo tempo). Para os empreendimentos concorrentes, a regra de decisão maximizadora de lucro será a igualdade entre a razão de substituição de áreas entre culturas (quantidade de produto aumentada ÷ quantidade de produto diminuída) e a razão de lucro entre as culturas (lucro do produto aumentado ÷ lucro do produto reduzido).

Assim, para a análise da viabilidade do negócio agropecuário, poderiam ser detalhados os seguintes aspectos:

- Se o uso de determinado insumo tem correlação positiva com produtividade (será que maior uso de fertilizantes, por exemplo, implica em maior produtividade?);
- Qual área e/ou sistema que resultou em maior custo operacional e custo total;
- Se é conveniente adquirir uma nova máquina e/ou implemento;
- Quais culturas e sistemas geram as maiores produtividades, receita e rentabilidade (rrco e rrct);
- Se a venda antecipada gera receita suficiente para pagar os custos;
- Quais culturas e sistemas têm potencial para gerar maiores rentabilidades (rrco e rrct);
- Com as simulações de preços e produtividades, analisar as probabilidades de resultados negativos e optar pelas culturas e sistemas com maior probabilidade de rentabilidades positivas;
- Enfim, que ajustes devem ser procedidos na condução da fazenda.

9. Avaliação de retornos de sistemas de produção

Como descrito nas seções anteriores, foram inseridos nas avaliações os custos operacionais e custo fixo, via CARP, para diferentes culturas. Foram avaliadas as receitas, despesas e lucros

potenciais de um empreendimento separado. Na prática, cada cultivo (e poderia ser sistema na pecuária) é um empreendimento. Nos empreendimentos agrícolas, a contabilização de custos é feita por unidade de área, que, no Brasil, o padrão o hectare, ou mesmo alqueires. Como no custo operacional se considera o juro sobre o capital de giro, e no CARP estão envolvidas a depreciação e custo de oportunidade de ativos imobilizados, o lucro no final pode ser denominado lucro econômico. Nessas situações, um lucro econômico zero significa que o trabalho, a terra e o capital estão obtendo exatamente a remuneração de seus custos de oportunidade.

Com as estruturas de custos formalizadas para cada cultura, deve-se elaborar indicadores para análise de desempenho e tomadas de decisão em um contexto de sistemas produtivos (primeira e segunda safras, por exemplo) ou no período que envolve todo um ciclo produtivo. A escolha de combinações de empreendimentos se faz necessária, uma vez que gestores querem encontrar a combinação de empreendimentos que irá fornecer o maior lucro, através da melhor utilização dos recursos limitados da fazenda.

De nada adianta comparar rentabilidades de soja e algodão diretamente, sabendo que durante o ciclo do algodão é possível produzir soja no verão e milho na segunda safra em boa parte da área. A comparação só é válida quando se confronta o sistema soja + milho 2ª safra com o de algodão safra. É preciso somar os custos de soja e de milho, assim como a receita, para comparar com os valores equivalentes de algodão.

Para Mato Grosso, poderiam ser comparados os resultados de sistemas como:

- Algodão safra (cultivo normal);
- Soja + algodão segunda safra 0,76 m entre linhas;
- Soja + algodão segunda safra 0,45 m entre linhas;
- Soja + milho segunda safra;
- Soja + milheto segunda safra;
- Entre outros.

Observa-se que as análises também devem levar em consideração as variedades e os períodos de cultivos. Por exemplo, podem ser analisadas as rentabilidades de variedades convencionais com as de variedades geneticamente modificadas. Para uma avaliação mais técnica, poderia ser utilizado o processo matemático de programação linear para encontrar a combinação ótima de empreendimentos. Esse procedimento não será detalhado neste material, mas parte dos procedimentos pode ser analisada em Lima & Alves (2023).

Referências bibliográficas

BARROS, G.S. DE C. *et al*. **Gestão de negócios agropecuários com foco no patrimônio**. Campinas: Alínea, 2019.

KAY, R.D.; EDWARDS, W.M.; DUFFY, P. A. **Gestão de Propriedades Rurais.** Tradução Théo Amon; revisão técnica: Paulo Dabdab Waquil. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

LIMA, F.F. DE. **Gestão de risco em propriedades com sistemas de produção de algodão, soja e milho em Mato Grosso, Brasil.** Piracicaba: Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2019.

LIMA, F.F. DE; ALVES, L.R.A. Portfolio theory approach to plan areas for growing cotton, soybean, and corn in Mato Grosso, Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 3, p. e258224, 8 dez. 2023.

OLSON, K.D. **Economics of farm management in a global setting**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2011.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

SOLOS E SISTEMAS
DE PRODUÇÃO PARA O ALGODOEIRO

Como escolher o sistema de produção e de cultivo do algodoeiro

A qualidade física, biológica e química do solo é fundamental para a produção da lavoura. Técnicas de agricultura de precisão (AP) e de amostragem georreferenciada são ferramentas disponíveis para ajudar o produtor a conhecer melhor o potencial de produção da sua fazenda e a tomar decisões para corrigir certos problemas químicos. Os agrônomos brasileiros desenvolveram metodologias para os cálculos de correção dos solos dos Cerrados e sabem avaliar precisamente como fertilizar o cultivo algodoeiro ou o sistema. Cada vez mais, o produtor de Mato Grosso quer intensificar o uso da sua terra, posicionando o algodão em segundo ciclo após uma soja precoce. Para assegurar a sustentabilidade da atividade em longo prazo, é importante difundir cada vez mais sistemas alternativos, como, por exemplo, as técnicas de sistemas de plantio direto integral, que privilegiam rotações de culturas e uso de plantas de cobertura. A implantação desses sistemas no cenário do agronegócio mato-grossense é provavelmente o maior desafio dos próximos anos.

Leandro Zancanaro
Origens Parcerias Agrícolas Ltda

Claudinei Kappes
NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica

CAPÍTULO 2.1

Sistemas de cultivo do algodoeiro

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 e posteriormente atualizado pelos mesmos autores na edição de 2025.

No estado de Mato Grosso existem dois sistemas de cultivo do algodoeiro: algodão safra e algodão segunda safra.

1. Definições

1.1. Algodão safra

O algodão safra refere-se ao algodão cultivado como única cultura comercial dentro de um mesmo ano agrícola. Antes de sua implantação, quando necessário, é realizada alguma intervenção mecânica, além da implantação de culturas de coberturas na primavera, como braquiárias, crotalárias ou milheto (Figura 1), cuja escolha depende dos objetivos específicos do manejo.

Em Mato Grosso, o cultivo de algodão safra tem sido peculiar e mais expressivo na região de Primavera do Leste e Serra da Petrovina (Pedra Preta e Alto Garças) e em áreas onde a cultura está sendo introduzida pela primeira vez. Em contrapartida, regiões como Parecis e Médio Norte, por exemplo, praticamente todo o algodão cultivado é segunda safra, após a cultura da soja. Quando o algodão é cultivado pela primeira vez ou apresenta alguma limitação técnica para o sistema de cultivo na segunda safra, que é um sistema intensivo de produção, o algodão safra é o mais indicado.

Se realizado de forma sucessiva ao longo dos anos, na ausência de uma cultura anterior ao algodão, o sistema de produção seria considerado de monocultivo. Mas, tal sistema não ocorre

Figura 1. Semeadura de algodão safra após o cultivo de milheto na primavera (Fonte: Claudinei Kappes)

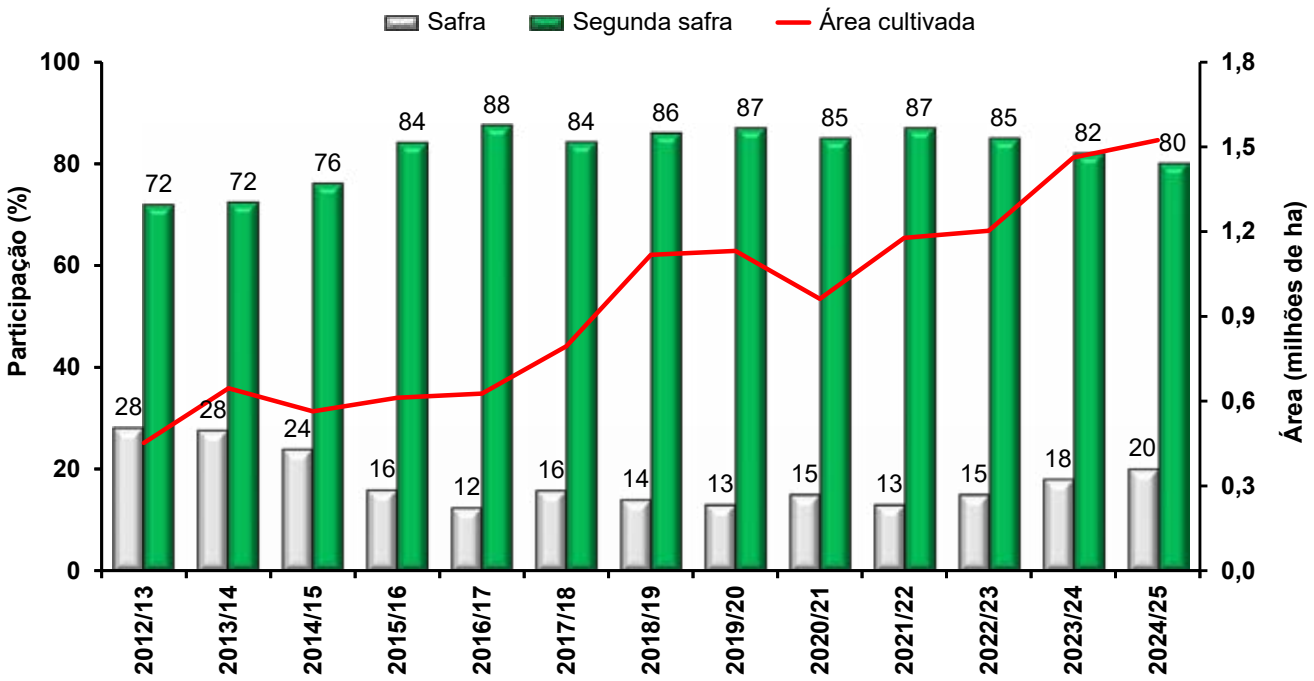


Figura 2. Evolução na área cultivada com algodão em Mato Grosso entre as safras 2012/13 e 2024/25 e comparativo percentual das modalidades de cultivo safra e segunda safra (Fonte: elaborado a partir dos dados do IMEA, 2025)

mais, o que é muito bom para a conservação do solo, do ambiente e para o cotonicultor. Em lavouras com cultivos anuais de algodão safra, na maioria das vezes, após a implantação de culturas de cobertura específicas, conforme a sequência das culturas, pode-se ter um sistema de produção tendo a sucessão braquiária/algodão primeira safra, com impactos positivos na qualidade física do solo. Também pode-se adotar sistemas de produção que rotacionam a cultura que antecede o algodão safra. Evidentemente, a implantação desta cultura de cobertura antes do algodão safra também é dependente da disponibilidade de água, ou melhor, do tempo em que o solo tenha umidade suficiente para que estas culturas se desenvolvam adequadamente.

1.2. Algodão segunda safra

O algodão segunda safra é o sistema predominante em Mato Grosso (Figura 2). Com base nos dados do Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA), é possível constatar nas últimas 13 safras uma evolução expressiva na área cultivada de algodão no estado (em torno de 1,5 milhão de hectares na safra 2024/25), sobretudo na modalidade de segunda safra, cuja participação média sobre o total de área cultivada é superior a 80%.

Figura 3. Semeadura de algodão segunda safra após a colheita da soja (Fonte: Jorge P. Silva Neto)

No sistema de cultivo segunda safra, o algodão é implantado, no mesmo ano agrícola, após a colheita de outra cultura comercial, sendo, na maioria das vezes, após a cultura da soja (Figura 3).

Se este sistema de cultivo for repetido todos os anos, pode-se afirmar que está sendo praticado o sistema de produção de sucessão de soja/algodão segunda safra. O ideal é que o algodão fosse conduzido em sistemas de produção com rotação com outras culturas. Mas o produtor tem o seu motivo: o financeiro. Tecnicamente, ao longo do tempo, poderá haver limitações quanto à qualidade biológica do solo e à condição física do solo.

O termo segunda safra deve-se ao fato de este algodão ser cultivado após a soja, implantada no início da estação chuvosa no ano agrícola do Cerrado brasileiro. Porém, atualmente, o algodão segunda safra é a principal cultura (a mais importante quanto ao resultado econômico) para muitos cotonicultores que praticam este sistema de produção, soja na primeira safra do ano agrícola, seguida de algodão na segunda safra. Estes, na maioria das vezes, se necessário assumem maiores riscos na implantação da soja, para garantir a melhor época de semeadura para o algodão segunda safra.

Há situações em que, quando há atraso na implantação da soja, devido ao atraso do início e da estabilização da estação chuvosa, ocorre apenas o cultivo do algodão naquele ano agrícola, ou seja, algodão safra, por um ano apenas.

Há lavouras em Mato Grosso sendo cultivadas com algodão segunda safra em rotação com soja e milho segunda safra. No campo, em lavouras comerciais, na maioria das vezes, quando isto acontece, é realizado o cultivo de algodão segunda safra por um período de três anos, mas há variações, seguido de três anos de cultivo de soja safra e milho segunda safra. Isto é realizado para otimizar o uso dos investimentos em correção do solo e adubação da cultura do algodão, que apresenta efeito residual elevado conforme os nutrientes. Porém, há nutrientes aplicados em maior quantidade no algodão, conforme os solos que não apresentam residual elevado.

Neste cenário, é fundamental destacar a importância do tempo de cultivo e do investimento acumulado na correção do solo das lavouras atuais de algodão, além do impacto dos programas de melhoramento genético de soja e algodão. Esses programas de melhoramento genético permitiram a obtenção de cultivares de soja e algodão mais produtivas, mesmo com redução do ciclo das culturas. Fazer duas safras com alto potencial produtivo, no mesmo ano agrícola, em regiões com estação chuvosa bem definida, como no Cerrado brasileiro, não é por acaso. É tecnologia aplicada.

Os programas de melhoramento genético de soja, algodão e milho têm impacto elevado também na qualidade do solo no decorrer dos anos, por consequência, na eficiência de tudo o que é investido nele. É possível afirmar que esses programas de pesquisa contribuem muito para o produtor estar fazendo: melhorando, indiretamente, a qualidade dos solos, pelo fato de contribuir para a introdução de mais culturas inseridas no sistema de produção.

2. Principais fatores que determinam a escolha entre algodão safra e algodão segunda safra

2.1. Econômico

- Fazer duas safras dentro do mesmo ano agrícola, tendo o algodão como uma cultura de alto valor financeiro, diminui o custo fixo da propriedade, além de permitir maiores margens financeiras entre os sistemas de produção envolvendo as grandes culturas;
- Geralmente, o custo de produção do algodão safra é maior que o custo de produção do algodão segunda safra, devido, na maioria das vezes, ao ciclo da cultura neste sistema de cultivo, sendo que nem sempre a produtividade é maior. Atualmente, em determinadas regiões e situações de solo, manejo e clima, por exemplo, aptas ao sistema segunda safra, a produtividade de algodão segunda safra é maior que a produtividade de algodão safra. Nesta modalidade de cultivo, é comum a menor ocorrência de apodrecimento de maçãs em relação ao algodão safra;

- Mas apenas o aspecto econômico não é suficiente.

2.2. Histórico de distribuição de chuvas no ano agrícola

- A região do Cerrado brasileiro apresenta duas estações de chuvas bem definidas: a estação seca e a estação chuvosa;
- Se a estação chuvosa apresentar início frequente no final de setembro e estabilização ocorrer até a primeira quinzena de outubro, estendendo-se até o final dos meses de abril e maio, maiores serão as chances para a implantação do sistema de cultivo com algodão segunda safra, após soja;
- Porém, se o início da estação chuvosa atrasar e a estabilização e/ou a paralisação da chuva ocorrer no início do mês de abril, por exemplo, o sistema de cultivo de soja/algodão segunda safra não é recomendado. Neste cenário, o algodão safra oferece maior segurança ao cotonicultor;
- Assim, quanto maior o período da estação chuvosa, maior será a chance de implantar duas culturas comerciais no mesmo ano agrícola. E todas as práticas de manejo que permitem melhor crescimento radicular explorando o maior volume de solo possível, aumentam a probabilidade de sucesso do cultivo do algodão segunda safra (Figura 4);
- Importante: para qualquer cultura, incluindo o algodão, expressar o seu potencial produtivo não é a quantidade de chuva a discutir, mas sim a distribuição desta ao longo do ciclo de cada cultura, associada à capacidade do solo de drenar o excesso de água, e reter e **disponibilizar água às plantas** por maior período possível, quando as chuvas encerrarem. O algodão de alta produtividade não é obtido em regiões que mais chovem, mas em regiões com temperaturas amenas e radiação solar abundante, que apresentam chuvas suficientes para cada estádio fenológico considerado crítico à escassez de água. Para isto, quanto maior o volume de solo explorado pelas raízes, menor será a dependência climática.
- Considerando apenas a cultura do algodão, chuvas em excesso podem representar maiores perdas de parte do potencial produtivo. Algodão de alta produtividade é obtido com menos perdas de estruturas reprodutivas.

Figura 4. Crescimento de raízes da cultura do algodão segunda safra em sistema de produção com rotação de soja e milho, após 28 anos sob sistema de plantio direto (Fonte: Cortinove & Leal, 2012)

2.3. Solos disponíveis para o cultivo do algodão

- É do solo que as plantas absorvem água e nutrientes. Logo, tudo que afetar a disponibilidade de água e nutrientes, e o crescimento radicular para explorar o máximo volume de solo, ajuda a definir a escolha entre algodão safra e segunda safra;
- Quanto melhor a condição química do solo, inclusive em profundidade, maior a probabilidade de sucesso do algodão segunda safra;
- Quanto melhor a condição física do solo, diretamente relacionada à disponibilidade de água e ao volume de solo efetivamente explorado pelas raízes, maior a probabilidade de sucesso do algodão segunda safra. Neste item é importante salientar que o algodão não tolera solos rasos, compactados e com problemas de drenagem. Esses aspectos estão diretamente relacionados à condição física do solo;
- Da mesma forma, quanto melhor a condição biológica do solo, aumenta-se a probabilidade de sucesso do algodão segunda safra. Raízes sadias, por exemplo, livres de nematoides, absorvem mais água e nutrientes, além de outros aspectos. Solos com problemas físicos tendem a apresentar problemas quanto à saúde das raízes;
- A textura do solo, em solos tropicais, como os do Cerrado brasileiro, está diretamente relacionada com o teor de matéria orgânica do solo e interfere, condiciona, por vários fatores, a retenção e a disponibilidade de nutrientes às plantas;
- Solos argilosos armazenam mais água que solos arenosos. Logo, solos argilosos tendem a ser mais aptos para sistema de cultivos intensificados, como é o caso da soja na primeira safra seguida de algodão segunda safra;
- Importante: em solos sem outras limitações, a disponibilidade de água é o principal fator a definir a escolha quanto ao algodão primeira ou segunda safra.

3. Época de semeadura

Em regiões com estações de chuvas definidas, como ocorre na região do Centro-Oeste brasileiro, discutir a época de semeadura das culturas, ainda mais em sistemas de cultivos intensificados, como é o algodão segunda safra, é discutir também a disponibilidade de água.

É difícil definir, em um texto, as datas de semeadura do algodão safra e segunda safra. Há variações conforme a região em que a propriedade está localizada, influência de todos os fatores que condicionam o solo e também da estratégia do produtor ou do responsável técnico. Cada ano é um ano distinto.

Em Mato Grosso, a semeadura do algodão safra se concentra entre 15 e 30 de dezembro. Semeaduras anteriores a este período aumentam a complexidade do manejo do crescimento vegetativo, a probabilidade de abortos de estruturas reprodutivas em períodos de muita precipitação associada a pouca luminosidade, bem como o apodrecimento das "maçãs" maduras, e prejudicam a qualidade dos capulhos abertos com umidade elevada.

No estado da Bahia, onde o sistema de cultivo de algodão safra é predominante, a semeadura ocorre em período anterior ao de Mato Grosso.

O algodão segunda safra é semeado o mais rápido possível após a colheita da primeira cultura comercial (soja). Na segunda safra, a data de semeadura afeta diretamente o número de dias que a planta terá água disponível,

logo, interfere diretamente na formação do ponteiro e, por consequência, na produtividade final.

Quanto à definição da época de semeadura, após muitos anos de histórico de cultivo de algodão na propriedade, a melhor pesquisa quanto à escolha deste tema, é a realizada a campo.

É comum, no Mato Grosso, em lavouras comerciais, o algodão segunda safra ter o início da implantação logo após o término da implantação do algodão safra. Na prática, a campo, por exemplo, 20 dias de atraso das chuvas no início da estação chuvosa podem alterar a proporção de algodão safra ou segunda safra dentro da propriedade.

Importante: neste capítulo foi enfatizado o sistema de sequeiro. Quando há investimentos em irrigação, o algodão obrigatoriamente deve ser implantado na época que permita não ter ocorrência de água em excesso, e sim, suficiente apenas, e com isso, ter a maior luminosidade possível. Evidentemente, o fator temperatura deve ser considerado. O sistema de irrigação complementa a água necessária, se houver necessidade.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: leandrozancanaro@origens.agr.br

Lucien Seguy
Cirad
(in memoriam)

Serge Bouzinac
Cirad/UR Aïda

CAPÍTULO 2.2

Sistemas alternativos em plantio direto de alta performance

Capítulo publicado originalmente na edição de 2014/15, sem atualizações.

A maioria das lavouras de algodão em Mato Grosso é atualmente conduzida em sistema convencional (aração e gradagem) ou de plantio semidireto em cima de milheto, ou em segunda safra, com plantio direto após soja precoce. São poucas as áreas com rotação de culturas, e menos ainda as áreas com sistemas de plantio direto integral. Os sistemas atuais de cultivo do algodoeiro usam quantidades cada vez maiores de agroquímicos (herbicidas, inseticidas, fungicidas), aumentando drasticamente os custos de produção e o impacto ambiental da produção algodoeira. Evidenciou-se alguma poluição do meio ambiente em 2006, em algumas regiões de Mato Grosso, o que justifica ainda mais a adoção de novas práticas culturais mais respeitosas ao ambiente.

Em algumas situações, o esgotamento do solo é tanto, que quase inviabiliza a produção agrícola, como observamos em algumas lavouras de algodão de Alto Garças (Figura 1). Essa "fadiga" do solo caracteriza-se geralmente por um baixo teor de matéria orgânica, compactação subsuperficial do solo, alterações nos ciclos bioquímicos dos nutrientes, baixa atividade microbiológica e associação com altas populações de nematoides.

Figura 1. Algodão raquítico em solos arenosos - Fadiga de solo - Alto Garças, 2012 (Fonte: Márcio Caldeira)

Os sistemas de plantio direto sobre coberturas vegetais (PDSCV) com biodiversidade funcional elevada são as ferramentas básicas da regeneração e do aumento contínuo da fertilidade e do saneamento do solo por conta de:

- **Criação de uma forte macroporosidade** (Figura 2) no perfil de solo, o que permitirá um enraizamento potente e rápido das culturas em profundidade, dando acesso a uma grande reserva útil de água e nutrientes, evitando tanto o escorrimento superficial de água como o encharcamento temporário e reciclando eficientemente os nutrientes lixiviados em profundidade (funcionamento do sistema solo-culturas em circuito fechado, evitando perdas de nutrientes);
- **Criação de uma vida biológica intensa e diversificada no perfil de solo**, o que ajudará a manter o equilíbrio biológico entre microrganismos patógenos e saprofitos e participará no controle de doenças e pragas diversas das culturas, melhorando sua nutrição;
- **Aumento contínuo da fertilidade do solo de origem organo-biológica** ao incorporar no perfil de solo altas quantidades de carbono oriundo de fontes diversifi-

Figura 2. Macroporosidade criada pelas potentes plantas de cobertura (Fonte: Lucien Seguy)

cadas e de nitrogênio (aumento do N orgânico do solo simultaneamente ao do carbono, fixação simbiótica das leguminosas + fixação por bactérias livres dos gêneros Azospirillum, Azotobacter na rizosfera de gramíneas, tais como *Eleusine coracana* (pé-de-galinha);

– **Cobertura importante e duradoura do solo para controlar eficientemente as invasoras** (por sombreamento, alelopatia, competição por luz, água e nutrientes: exemplo das coberturas de sorgo, sorgo + Brachiaria) e, assim, diminuir os herbicidas na cultura;
– **Ação ecossistêmica favorável aos fatores físicos e à qualidade do solo:** a proteção superficial do solo pelos sistemas de plantas multifuncionais favorece diversos mecanismos reguladores da temperatura, troca de gases, respiração de raízes e ciclagem de nutrientes.

Finalmente, a forte cobertura do solo, com biomassa aliada a uma forte e diversificada densidade de raízes dentro do solo, permitirá a criação de um perfil de solo elástico, resiliente, capaz de suportar máquinas pesadas sem prejuízos para o estado da superfície e sem risco de compactação.

São expostos nesse capítulo diversos sistemas técnicos em plantio direto (PD) para produzir mais, mais barato e mais limpo, com redução dos insumos químicos e dos impactos ambientais.

1. Biomassas multifuncionais em substituição ao milheto no final da estação seca - início das chuvas (final de setembro - início de outubro)

Quando plantar?

No final da estação seca, início das chuvas (do final de setembro até início de outubro), em plantio direto (PD), nos resíduos da cultura precedente (milho, soja, arroz, algodão).

O que plantar?

Várias opções de misturas de plantas de serviço, dentre as quais recomendamos*:

1- Mistura de sorgo BF 80 (10-12 kg/ha) + *Urochloa ruziziensis* (10 kg/ha) + *Crotalaria juncea* (25 kg/ha) (Figura 3);
2-Mistura de sorgo BF 80 (10 kg/ha) + *Crotalaria spectabilis* (12-15 kg/ha) + *Crotalaria juncea* (20-25 kg/ha);
3-Mistura de *Urochloa ruziziensis* (10 kg/ha) + *Crotalaria spectabilis* (12 kg/ha) + *Crotalaria juncea* (20-25 kg/ha) (Figura 4).

*Observação: As alternativas 1, 2 e 3 podem ser simplificadas para diminuir os custos, se for necessário (caso em que os agricultores não dispõem de sementes próprias); neste caso, tirar uma das espécies. Por exemplo, tirar Brachiaria da opção 1, a *Crotalaria juncea* da opção 2 e a *Crotalaria spectabilis* da opção 3.

Figura 3. Plantas de serviço disponíveis: sorgo BF80 e crotalária (Fonte: Lucien Seguy)

Figura 4. Mistura restauradora da fertilidade do solo (*Brachiaria* + *Crotalaria spectabilis* e *C. juncea*) (Fonte: Lucien Seguy)

Como plantar?

Com qualquer plantadeira-adubadeira equipada para PD de grãos miúdos ou graúdos ou dos dois juntos (Semeato). Espaçamento entre linhas da soja (0,4 -0,5 m) ou mais estreito do trigo ou arroz (0,17-0,20 m). Colocar:

- As sementes de sorgo na caixa de sementes;
- Para as sementes miúdas (Brachiaria, Crotalaria), misturá-las na caixa do adubo, com um mínimo de adubo formulado ou supersimples (50 kg/ha) bem no momento do plantio. Esta quantidade será subtraída da adubação da cultura algodoeira em sequência. No caso de plantadeira semeato equipada com a terceira caixa para sementes miúdas, colocar estas sementes nesta terceira caixa;
- Profundidade de plantio: entre 2-4 cm;
- Tratamento das sementes: sem tratamento algum ou com bioprodutos.

Como manejar a lavoura?

Semeando essas plantas de serviço em áreas limpas, ou com mato adequadamente dessecado antes do plantio, não será necessário controle específico com herbicidas. Caso seja, pode-se pulverizar uma mistura de glifosato + 2,4-D imediatamente após o plantio. Porém, durante o desenvolvimento da lavoura, essas misturas de plantas de serviço conseguem controlar naturalmente as plantas daninhas, impedindo sua reprodução e tornando desnecessário o uso de qualquer outro tipo de herbicida seletivo.

Como dessecar antes do plantio do algodão safra ou segunda safra?

Quanto maior for a biomassa, maior será o tempo entre dessecação e plantio direto do algodão.

- Para 50-60 dias de crescimento das biomassas (algodão safra plantado no início de dezembro), dessecar as três alternativas 10-15 dias antes do plantio;
- Para 80-90 dias de crescimento das biomassas (algodão de segunda safra plantado entre os dias 10 e 31 de janeiro), dessecar 20-30 dias antes do plantio.

A dessecação será realizada da seguinte maneira:

- Alternativas 1 e 3= 3 l/ha de glifosato + 1,5 l/ha de 2,4-D amina ou 40-50 g/ha de Flumizin® ou 50 g/ha de Aurora®;
- Alternativa 2 sem *Urochloa ruziziensis*: se o agricultor dispõe de um rolo-faca, rolar a biomassa e dessecá-la imediatamente com 1,5 l/ha de glifosato + 1,0 l/ha de 2,4-D amina ou 40 g/ha de Flumyzin® ou 40 g/ha de Aurora® (redução das doses de dessecantes)*.

2. Milho ou sorgo consorciados com plantas de serviço em sucessão à soja (meados de janeiro - 20 de março)

Os sistemas de consórcios com milho ou sorgo apresentados a seguir foram testados durante vários anos no Brasil e em outros continentes. De modo geral, nenhuma perda significativa em produtividade de grão em relação à cultura pura foi evidenciada. Em ano de seca forte, foi observada redução na produtividade do milho, no caso do consórcio com Brachiaria (4-6 sacas/ha), porém, no consórcio com leguminosas, o milho apresentou acréscimo de 5-8 sacas/ha.

É importante salientar que a produtividade tem de ser avaliada sobre o sistema (soja+milho+algodão) e não unicamente sobre o consórcio, sabendo que as plantas de serviço propiciarão acréscimos de produtividade na soja ou no algodão e, que de outro lado, levarão a reduções de custos de produção.

(*) Se for necessário, aplicar, na hora do plantio direto de algodão, 1 l/ha de Gramocil® para eliminar os inços nascidos entre dessecação e plantio.

2.1. Alternativas de consórcios de plantas de serviço com milho

O que plantar?

Diversas plantas de serviços podem ser plantadas com o milho.

1- Milho + *Crotalaria spectabilis* (15 kg/ha) (Figura 5A);
2- Milho + *Crotalaria spectabilis* (12 kg/ha) + *Urochloa ruziziensis* (8 kg/ha);
3- Milho + Stylosanthes Campo Grande (4 kg/ha de SPV);
4- Milho + Stylosanthes Campo Grande (4 kg/ha de SPV) + *Urochloa ruziziensis* (8 kg/ha);

Quando plantar?

Entre o início de janeiro e 15 de fevereiro, em sequência à colheita da soja de ciclo curto ou intermediário.

Como plantar?

- Com plantadeira-adubadeira equipada para o Plantio Direto, com ou sem terceira caixa para grãos miúdos (Semeato®);
- Espaçamento entre linhas de milho com diversas possibilidades: 0,90 m; 0,75-0,80 m ou 0,50 m;
- Nos casos de plantio do milho com 0,90 m, ou 0,75-0,80 m entre linhas, regular a plantadeira para plantio de soja, cada linha aos 0,45 m ou 0,40 m. Assim, as sementes de milho cairão cada 0,90 m ou 0,75-0,80 m. As sementes das plantas de serviços, misturadas com um mínimo de adubo NPK ou supersimples, cairão nas entrelinhas do milho aos 0,90 ou 0,75 a 0,80 m, ou seja, uma linha de milho alternada com uma linha de plantas de serviços cada 0,45 ou 0,40 m;
- No caso do espaçamento 0,50 m entre linhas de milho, as sementes das plantas de serviços cairão a 5 cm ao lado de cada linha;
- A opção 4 (milho + Stylosanthes + *Urochloa ruziziensis*) poderá somente ser implantada com plantadeira equipada de uma terceira caixa para sementes miúdas;
- As sementes de Brachiaria vão na caixa do adubo e são misturadas na hora do plantio com um mínimo de adubo formulado ou supersimples. Profundidade de plantio entre 3-4 cm;
- As sementes Stylosanthes CP vão na terceira caixa e cairão com as sementes de milho, entre 1-2 cm de profundidade, ou coloca-se as mangueiras de fora e deixa-se cair as sementes em cima do solo; apoiar bem as rodinhas compactadoras atrás.

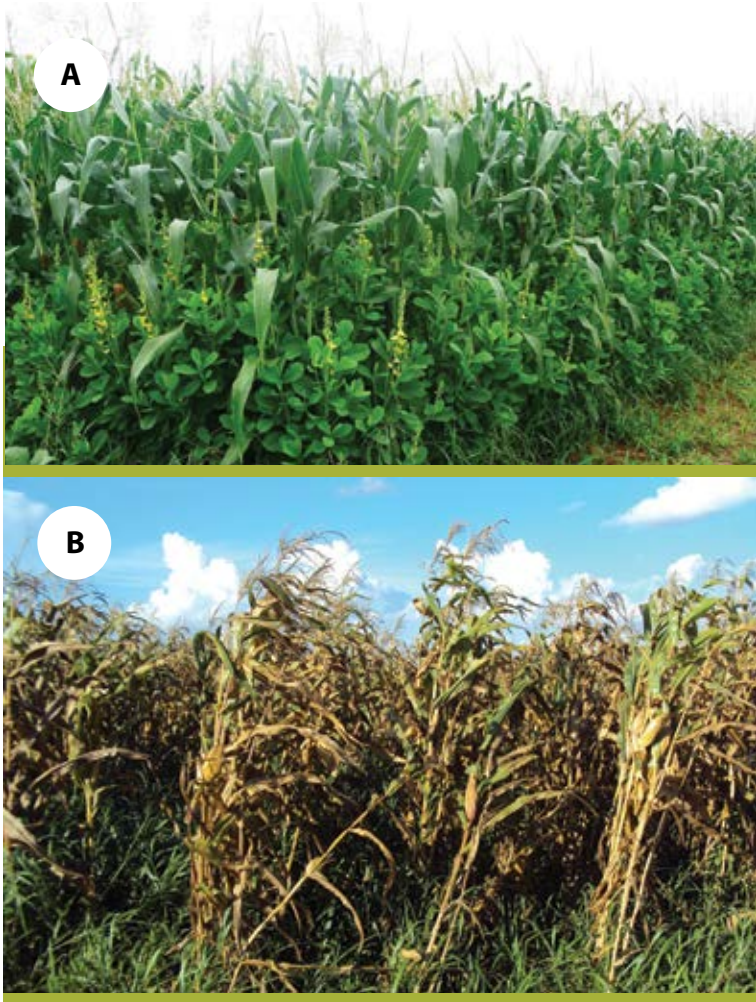


Figura 5. Milho associado com crotalária (A) e brachiaria (B) (Fonte: Lucien Seguy)

Cuidado: as sementes de Stylosanthes são muito miúdas e deverão ser plantadas bem rasinhas: 1-2 cm de profundidade; outra opção é deixar cair as sementes de Stylosanthes + adubos em cima do solo (mangueira para fora) e apoiar bem as rodinhas compactadoras atrás.
Uma segunda opção é aumentar o peso das sementes de Stylosanthes ao peletizá-las com fosfato natural (200 g/kg) ou termofosfato Yoorin BZ em pó (200 g/kg), colados às sementes com húmus líquido. Nesta opção, as sementes de Stylosanthes são semeadas a lanço no início da desfolha da soja (20% de desfolha).
Uma terceira opção é semear o Stylosanthes com uma semeadeira a ar, de precisão, montada na plataforma da colheitadeira que deixará cair as sementes em cima do solo atrás da plataforma. As sementes são cobertas, em seguida, com a palha picada da soja e nascem perfeitamente, muito melhor do que enterradas (Figura 6).

Como manejar a lavoura?

Semeando em áreas limpas após a colheita da soja, ou com mato adequadamente dessecado antes do plantio, não será necessário controle específico com herbicidas.

Figura 6. Sorgo consorciado com Stylosanthes (Fonte: Lucien Seguy)

Caso seja realmente preciso, Bentazone® (600-720g de ingrediente ativo por ha) em pós-emergência precoce poderá ser usado nesse sistema de associação milho-plantas de serviço.

2.2. Alternativas de consórcios de plantas de serviço com sorgo BF 80 ou sorgos híbridos de grande porte

O que plantar?

As opções de consórcio com sorgo são as seguintes:

1- Sorgo + *Crotalaria spectabilis* (12 kg/ha) + *Crotalaria juncea* (20 kg/ha) + *Urochloa ruziziensis* (10 kg/ha);
2- Sorgo + Pé de galinha (8-10 kg/ha) + *Crotalaria spectabilis* (12 kg/ha) + *Crotalaria juncea* (20 kg/ha).

Quando plantar?

Entre 20 de fevereiro e 20 de março.

Como plantar?

Idem no caso do milho + plantas de serviço. Espaçamentos possíveis entre linhas de sorgo de 0,90 m; 0,80 m e 0,50 m.

Figura 7. Consórcio sorgo BF80 com *Crotalaria espectabilis* (A) e *C. juncea* (B) (Fonte: Lucien Seguy)

Observação: Como no caso do Stylosanthes CP, as sementes de pé-de-galinha, que são miúdas, poderiam ser peletizadas ou com fosfato natural ou com Termofosfato Yoorin BZ (200 g/kg) e jogadas a lanço na desfolha da soja (início de desfolha).

Plantadeira-adubadeira sem terceira caixa:

- Sorgo na caixa de sementes;
- As duas crotalárias e a Brachiaria juntas, com um mínimo de adubo formulado ou super-simples na caixa de adubo. Profundidade de plantio 2-3 cm;
- No caso de plantadeira equipada com terceira caixa: as duas crotalárias e a Brachiaria vão na terceira caixa.

Como manejar a lavoura?

Semeando em áreas limpas após a colheita da soja, ou com mato adequadamente dessecado antes do plantio, não será necessário controle específico com herbicidas.

Se for o caso, Bentazone (600 a 720g de ingrediente ativo por ha) em pós-emergência precoce poderá ser usado nesse sistema de associação milho-plantas de serviço.

RECOMENDAÇÕES FINAIS

Como estes sistemas PDSCV são provedores de grandes quantidades de biomassas anuais (até mais de 30 t/ha/ano de matéria seca - vide Figuras 3 a 8), recomendamos:

- Quanto maior a biomassa, maior o espaço de tempo entre dessecação e plantio; o uso de um rolo uma semana após a dessecação ajuda a reduzir rapidamente a espessura da biomassa em cima do solo (contato imediato e íntimo com a fauna e a flora decompositoras). Em caso extremo, as rodas-estrela na frente da plantadeira, atrás do disco de corte, podem ser ferramentas úteis para separar o excesso de biomassa na linha de plantio e evitar o estiolamento inicial do algodão;
- O uso da "botinha" é proibido e deverá ser substituído por duplos discos desencontrados: o melhor preparo do solo é feito pelas potentes raízes das biomassas destes sistemas PDSCV;
- É preferível adubar o sistema a adubar a cultura: as fortes biomassas de plantas de serviço são mais competentes que as culturas para transformar o adubo mineral em adubo orgânico;
- É importante reservar alguns hectares nas propriedades para multiplicar suas próprias sementes de plantas de serviço e, assim, reduzir os custos. É óbvio que empresas especializadas na venda de sementes deveriam oferecer as misturas de plantas de serviço no comércio de defensivos e sementes para facilitar a difusão destas tecnologias PDSCV;
- É desaconselhado misturar produtos químicos aos bioprodutos no tratamento de sementes.

Observação: Novas "espécies de serviço" valiosas, que deverão trazer novos progressos técnicos, estão em fase de multiplicação para enriquecer os sistemas PDSCV, tais como *Stylosanthes guianensis* (CIAT 184), *Centrosema pascuorum*, sorgos Muskwaris. Semeadeira acoplada à plataforma de colheita (Figura 9) poderá ser útil para implantação das coberturas, e está sendo testada no IMAmt. As Figuras 10 a 13 apresentam exemplos de plantas de coberturas conduzidas puras (Figura 10) ou em mix de plantas (Figura 11 a 13) para atender as necessidades de diversas situações de solos e culturas.

Figura 8. *Stylosanthes guianensis,* espécie preciosa para integração agricultura/pecuária (Fonte: Lucien Seguy)

Figura 9. Semeadeira acoplada à plataforma de colheita para implantação das coberturas (Fonte: Lucien Seguy)

Figura 10. Plantas de cobertura conduzidas puras (A-Girassol; B-Capim pé-de-galinha; C-*Crotalária juncea*; D- Trigo mourisco) (Fonte: Jean-Louis René Bélot)

Figura 11. Mix de *C. spectabilis* + *C. ochroloca* + guandu + stylosanthes + trigo mourisco (Fonte: Jean-Louis René Bélot)

Figura 12.
Mix de *C. spectabilis* + *C. ochroloca* + milheto + *Urochloa ruziziensis* (Fonte: Jean-Louis René Bélot)

Figura 13.
C. spectabilis + *C. breviflora* + milheto + guadu fava + girassol + pé-de-galinha + nabo (Fonte: Jean-Louis René Bélot)

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: serge.bouzinac@gmail.com

Larissa Bortolo
Fundação MT

CAPÍTULO 2.3

Manejo do solo no cultivo do algodão

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13, por Zancanaro e Kappes, e posteriormente atualizado pelos mesmos autores na edição de 2014/15. Em 2025, o capítulo foi reescrito por Bortolo.

O algodão é uma cultura agrícola altamente exigente no manejo do solo químico, biológico e, principalmente, físico. Este último, muitas vezes negligenciado devido à falta de percepção técnica e incertezas quanto ao diagnóstico, pode limitar significativamente o potencial produtivo da cultura e comprometer a viabilidade econômica da lavoura. Como o sistema radicular do algodoeiro é pouco denso e sensível à compactação, o sucesso do cultivo depende da capacidade do solo de permitir o crescimento das raízes, favorecer a infiltração de água e reter umidade e nutrientes. Por isso, as práticas agrícolas devem ser direcionadas para reduzir essas limitações — e não o contrário. Quando mal executadas, podem restringir o crescimento radicular, diminuir o armazenamento de água e impactar diretamente a produtividade.

O sistema convencional de preparo do solo envolve a inversão da camada arável por meio de arações e gradagens. Esse tipo de manejo é recomendado em situações específicas, como a necessidade de romper camadas compactadas ou incorporar calcário em áreas que exigem correção em profundidade. Além disso, os agregados menores formados após o revolvimento aumentam o contato entre solo e semente e reduzem a densidade do solo na camada superficial. No entanto, os impactos negativos a médio e longo prazo são significativos: maior suscetibilidade à erosão, menor infiltração de água, maior escorrimento superficial e desagregação da superfície do solo pelo impacto direto da gota de chuva. Outro ponto crítico é o aumento nas emissões de gases de efeito estufa, já que a matéria orgânica antes protegida pelos agregados passa a ficar exposta à ação microbiana e à decomposição acelerada. Soma-se a isso o maior gasto com combustíveis devido à necessidade de refazer as operações anualmente, já que os benefícios desse tipo de preparo são de curta duração.

Já o manejo conservacionista do solo baseia-se no revolvimento mínimo e na manutenção da palhada das culturas anteriores na superfície (Figura 1). Ao conservar a cobertura vegetal, esse sistema reduz o impacto da chuva, protege contra a erosão, mantém a umidade do solo por mais tempo e diminui as variações térmicas. Ainda que, sob esse sistema, a densidade do solo na camada superficial possa ser ligeiramente maior em comparação ao sistema convencional, isso não necessariamente compromete o crescimento radicular. Isso porque a continuidade dos poros, favorecida pela ausência de revolvimento e pela atividade biológica (raízes, microrganismos, macrofauna), contribui para manter a agregação do solo estável e funcional. De forma geral, sistemas conservacionistas melhoram propriedades relacionadas ao transporte de água e ar, à retenção de nutrientes e à manutenção da matéria orgânica.

1. Compactação e restrição radicular

A compactação do solo é um dos principais desafios no cultivo do algodão, especialmente em solos de textura média a argilosa e sob uso intenso de máquinas. A formação de camadas compactadas reduz os macroporos, essenciais para a entrada de ar e infiltração de água, forçando as raízes a se concentrarem nas camadas superficiais — onde estão mais expostas à seca e à baixa absorção de nutrientes, mesmo que estes estejam disponíveis no solo.

Em solos arenosos, a densidade do solo acima de 1,8 g/cm^3 já é considerada crítica. Em solos argilosos, esse limite é de 1,3 g/cm^3 nas camadas superficiais (Rosolem *et al.*, 1998; Betioli Júnior *et al.*, 2012). A resistência do solo à penetração das raízes também é um bom indicativo: valores superiores a 2,5 MPa em solos arenosos, 2,0 MPa em argilosos sob preparo convencional e 3,5 MPa sob plantio direto já prejudicam significativamente o crescimento radicular.

A compactação costuma ocorrer abaixo dos 10 cm de profundidade, resultado de preparo inadequado e do tráfego repetido de máquinas pesadas. Para prevenir ou até mesmo corrigir, torna-se necessário o uso de plantas com raízes profundas e agressivas, como a braquiária. Em casos mais severos, pode-se recorrer à escarificação, desde que acompanhada do cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso. Isso porque a escarificação sozinha tem efeito pontual e temporário, exigindo novas operações e elevando os custos de produção.

A maioria dos estudos mostra que a rotação de culturas tem efeito positivo sobre a qualidade física do solo (Figura 2) e a produtividade do algodão. Há uma correlação negativa, ou seja, uma relação inversamente proporcional, entre a resistência do solo e a penetração da raiz principal do algodoeiro, que possui menor capacidade de romper camadas compactadas em comparação com outras culturas, como os cereais. Os efeitos adversos da compactação sobre o crescimento radicular e a produtividade são amplamente reconhecidos, tornando o manejo físico do solo uma etapa essencial no planejamento agrícola.

Figura 1. (A), (B) e (C) Comparativo entre parcelas com diferentes manejos. À esquerda de cada foto, área sem revolvimento do solo, com palhada mantida na superfície. À direita, área com revolvimento do solo, com incorporação da palhada e exposição do solo. As fotos evidenciam sinais claros de degradação do solo, como erosão e selamento superficial, além de falhas no estande de soja na área com revolvimento do solo e falta de palhada (Fonte: Fundação MT)

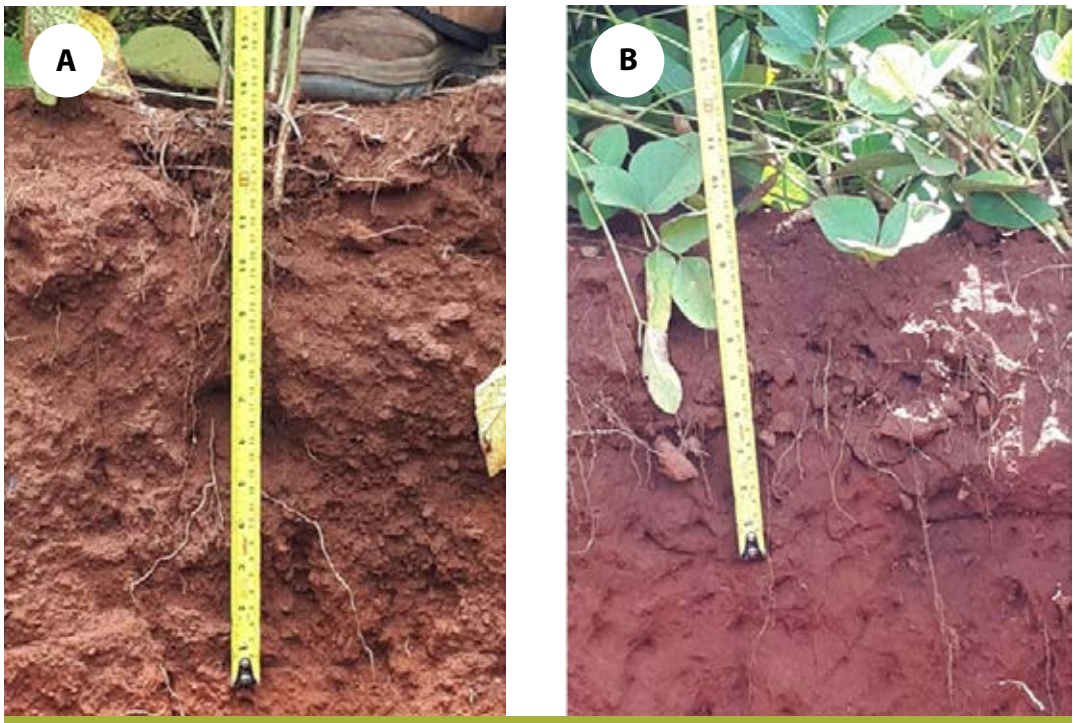


Figura 2. Comparativo entre sistemas de manejo do solo na safra 2018/19. (A) Parcela com rotação de culturas e plantio direto, evidenciando maior quantidade e distribuição de raízes em profundidade, indicando melhor agregação e saúde do solo, com raízes chegando a 14 cm de profundidade do solo. (B) Parcela com histórico de monocultivo (soja atualmente, algodão até a safra 2017/18) e revolvimento do solo, com concentração de raízes até 9 cm de profundidade (Fonte: Fundação MT)

2. Resultados da Fundação MT: rotação de culturas e qualidade do solo

Figura 3. Vista aérea do experimento conduzido no Centro de Aprendizagem e Difusão (CAD Sul), localizado em Itiquira – MT, evidenciando a disposição dos tratamentos avaliados quanto aos sistemas de manejo do solo e rotação de culturas (Fonte: Fundação MT)

Da safra de 2008/09 a 2017/18, a Fundação MT conduziu um experimento de longo prazo em Itiquira - MT (Figura 3), em um solo argiloso, avaliando diferentes sistemas de cultivo e preparo do solo na cultura do algodão. O objetivo foi entender como a rotação de culturas, associada ao preparo convencional (com revolvimento - PC) e ao conservacionista (sem revolvimento - PD), influencia a produtividade de fibra e grãos. Com isso, também foi possível avaliar os efeitos dessas práticas sobre a agregação do solo, essencial para o desenvolvimento das raízes e o desempenho das plantas ao longo do tempo.

A análise detalhada da qualidade física do solo neste experimento foi conduzida por Anghinoni *et al.* (2019), com base na área experimental de longa duração da Fundação MT. O estudo avaliou atributos como densidade, porosidade e continuidade dos poros, conteúdo de água, aeração e resistência à penetração em diferentes profundidades do solo, ao longo de vários anos de cultivo do algodão.

Os tratamentos envolveram rotações, sucessões e monocultura, com e sem revolvimento do solo:

- **Tratamento 1:** Monocultura com pousio, seguido de algodão;
- **Tratamento 2:** Milheto cultivado na entressafra, seguido de algodão na safra principal;
- **Tratamento 3:** Braquiária antecedendo o algodão;
- **Tratamento 4:** Rotação de culturas composta por:
  - No primeiro ano, crotalária na entressafra, seguida do cultivo de algodão;
  - No segundo ano, milheto na entressafra, seguido novamente de algodão;
  - No terceiro ano, soja na safra principal, seguida de milho consorciado com braquiária na segunda safra.
- **Tratamento 5:** Rotação de culturas composta por:
  - Milheto na entressafra, seguido de algodão;
  - No segundo ano, soja na safra principal, sucedida por milho na segunda safra.
- **Por fim, o tratamento 6:** Rotação de culturas composta por:
  - No primeiro ano, milheto antecedendo o algodão;
  - No segundo ano, soja seguida de crotalária;
  - No terceiro ano, milho consorciado com braquiária.

Na camada superficial do solo (0 a 10 cm), a ausência de revolvimento resultou em maior compactação, caracterizada pelo aumento da densidade do solo, redução da porosidade e maior retenção de água. Já o preparo convencional, que envolve o revolvimento do solo, deixou essa camada mais solta e com maior porosidade. No entanto, esse efeito ficou restrito apenas à camada superficial.

A partir dos 20 cm de profundidade, a ausência de revolvimento passou a apresentar vantagens importantes, como a preservação da estrutura do solo e a formação de poros mais contínuos e conectados, condição essencial para o crescimento das raízes e a infiltração da água. Esse efeito foi ainda mais evidente nos sistemas com maior diversidade de culturas e com o cultivo prolongado de braquiária.

Um dos resultados mais expressivos foi observado no sistema em que a braquiária foi cultivada antes do algodão. Nessa condição, na camada entre 20 e 40 cm, a disponibilidade de água para as plantas dobrou em comparação com os sistemas mais simples. Essa faixa de umidade favorável leva em conta, ao mesmo tempo, a quantidade de água no solo, a entrada de ar e a resistência do solo à penetração das raízes, sendo, portanto, um dos melhores indicadores para definir se o solo está realmente oferecendo condições adequadas para o crescimento das plantas. No preparo convencional, esse mesmo sistema com braquiária apresentou uma melhoria bem menor, mostrando que o revolvimento constante limita os efeitos positivos da rotação em profundidade.

Em contrapartida, o preparo convencional, apesar de melhorar momentaneamente a camada superficial, promoveu a formação de uma camada compactada logo abaixo da profundidade de atuação dos discos — o conhecido "pé-de-grade". Essa camada compactada atua como uma barreira para o aprofundamento das raízes, especialmente em anos de veranico, quando o acesso à água em profundidade é essencial para manter o desempenho da lavoura.

Do ponto de vista químico, os teores de nutrientes avaliados em 2016 indicaram pouca variação entre os arranjos de cultivo (monocultivo, sucessão, rotação). No entanto, o plantio direto favoreceu o acúmulo de fósforo, cálcio e magnésio na camada superficial (0–10 cm), como resultado da ausência de revolvimento e da consequente estratificação dos nutrientes. Esse comportamento é típico de sistemas sob plantio direto e deve ser considerado no momento da interpretação da análise de solo e na recomendação de fertilizantes.

A análise da atividade enzimática no solo (realizada em parceria com a Embrapa Cerrados) evidenciou os benefícios do sistema de plantio direto na qualidade biológica do solo (Figuras 4A e 4B). A enzima arilsulfatase, ligada ao ciclo do enxofre, apresentou atividade consistentemente maior nos tratamentos com plantio direto (PD) em comparação ao sistema convencional. O destaque foi a rotação de culturas que envolveu soja, milho e braquiária (tratamento 6), que alcançou 129 µg de p-nitrofenol/g de solo/h. Da mesma forma,

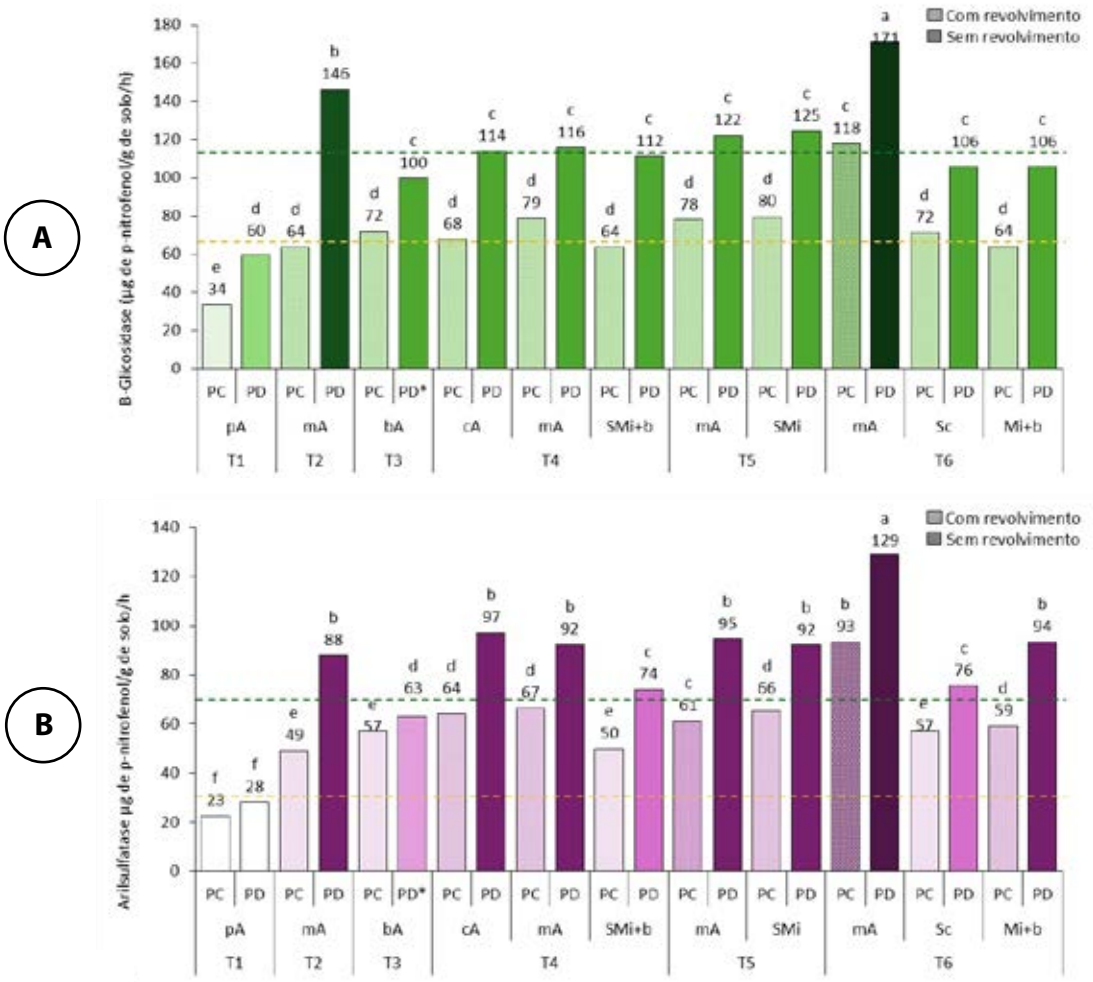


Figura 4. (A) Atividade da enzima β-glicosidase; (B) atividade da enzima arilsulfatase sob diferentes sistemas de manejo no cultivo do algodoeiro. A linha tracejada amarela representa o limite inferior da faixa de atividade enzimática considerada adequada, enquanto a linha tracejada verde indica o limite superior. Valores dentro dessa faixa são classificados como atividade adequada; valores acima da linha verde, como alta atividade; e abaixo da linha amarela, como baixa atividade. Siglas dos tratamentos: pA – pousio/algodão; mA – milheto/algodão; bA – braquiária/algodão; cA – crotalária/algodão; SM+b – soja/milho + braquiária; SMi – soja/milho; Sc – soja/crotalária; Mi+b – milho/braquiária em consórcio. PC – Com revolvimento; PD – Sem revolvimento

a β-glicosidase — associada ao ciclo do carbono — também apresentou atividade superior no PD. O maior valor registrado foi de 171 µg de p-nitrofenol/g de solo/h, também no tratamento 6. Esses resultados refletem a maior funcionalidade biológica do solo sob manejo conservacionista ou plantio direto, especialmente quando há diversidade de espécies e cobertura vegetal permanente.

Em todos os tratamentos avaliados, a atividade de ambas as enzimas foi inferior no sistema convencional. Isso evidencia o impacto negativo do revolvimento do solo na atividade microbiana e nas enzimas do solo, que são altamente sensíveis às práticas de manejo. Por serem indicadores integrativos da qualidade biológica do solo, essas enzimas permitem detectar alterações provocadas por diferentes práticas agrícolas. Além disso, estão diretamente relacionadas aos ciclos de nutrientes essenciais, auxiliando na avaliação da capacidade do solo na ciclagem, armazenamento e fornecimento de nutrientes (Mendes *et al.*, 2020). Outro ponto importante observado foi a relação entre a atividade biológica e a agregação do solo. Nos sistemas sem revolvimento e com presença de plantas de raízes profundas, como a braquiária, houve maior ocorrência de minhocas, raízes vivas e microrganismos. Essa intensa atividade biológica contribuiu para a formação de poros contínuos e conectados, melhorando a infiltração de água e o desenvolvimento das raízes, inclusive em camadas mais profundas do perfil do solo.

Além das melhorias físicas e biológicas observadas no solo, os sistemas agrícolas com maior diversidade de culturas também proporcionaram ganhos expressivos na produtividade do algodão. O melhor desempenho foi registrado no sistema com maior diversidade de espécies, enquanto os sistemas em monocultura ou com sucessão apresentaram produtividade inferior. Mesmo sob preparo convencional, a introdução da braquiária contribuiu positivamente para a produção.

Nas cinco primeiras safras avaliadas, os rendimentos médios de soja e milho foram semelhantes entre os diferentes sistemas de manejo. No entanto, para o algodão, o sistema de preparo convencional teve uma leve desvantagem na produtividade de caroço. O maior destaque foi o tratamento 6, com aumento de até 25 arrobas por hectare (@/ha) em comparação ao monocultivo.

Em condições climáticas adversas, como o veranico ocorrido na safra 2014/15, o plantio direto apresentou desempenho superior para a soja, com incremento de 10,2% na produtividade. Esse ganho está possivelmente relacionado à presença da cobertura vegetal no solo, que reduz a variação térmica e favorece a microbiota do solo.

Na décima safra do experimento (2017/18), os resultados reforçaram essas tendências (Figura 5). Foram observadas diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos, com destaque

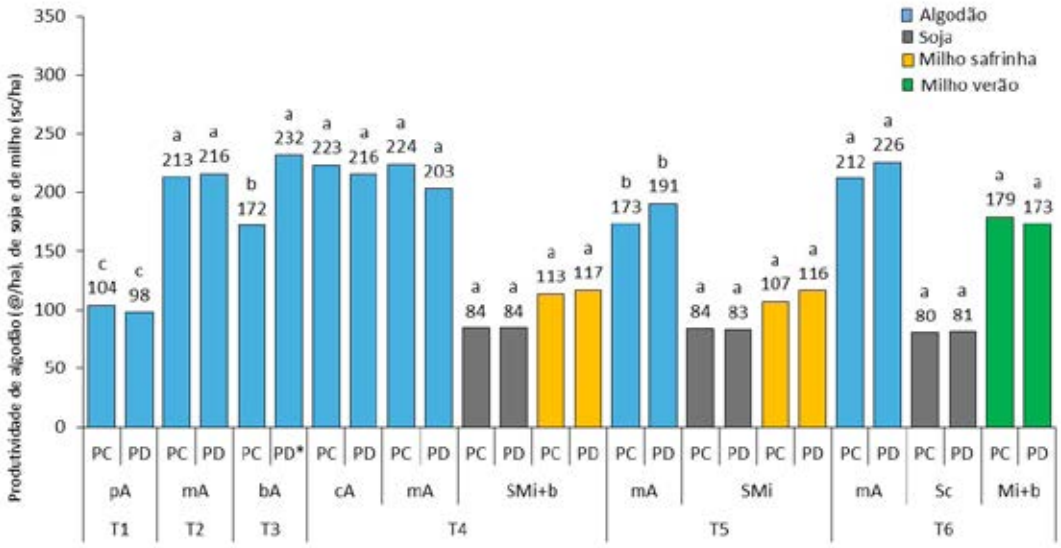


Figura 5. Produtividade do algodão, soja e milho na safra 2017/18 (10ª safra de condução do experimento) sob diferentes sistemas de manejo no cultivo do algodoeiro. Siglas dos tratamentos: pA – pousio/algodão; mA – milheto/algodão; bA – braquiária/algodão; cA – crotalária/algodão; SM+b – soja/milho + braquiária; SMi – soja/milho; Sc – soja/crotalária; Mi+b – milho/braquiária em consórcio. PC – com revolvimento; PD – sem revolvimento

para aqueles que incluíam rotação e sucessão de culturas. Os melhores desempenhos alcançaram até 232 arrobas por hectare (@/ha), evidenciando os benefícios agronômicos da diversificação de espécies e do uso de plantas de cobertura. Por outro lado, o algodão cultivado após pousio registrou os menores rendimentos: 104 @/ha no preparo convencional e apenas 98 @/ha no plantio direto. Esses números evidenciam as limitações do monocultivo na sustentação da produtividade ao longo do tempo. A principal conclusão do estudo é clara: sistemas de cultivo diversificados, com inclusão de plantas como a braquiária por períodos mais longos, são fundamentais para melhorar a agregação do solo e sua estabilidade e, assim, garantir uma produtividade que se sustente ao longo do tempo. Isso é ainda mais relevante em regiões sujeitas a variações climáticas, como o Cerrado, onde o acesso à água em profundidade pode fazer toda a diferença em anos de seca.

3. Manejo conservacionista e agregação do solo

O sistema de plantio direto, quando bem manejado, é uma das principais ferramentas para melhorar a qualidade física do solo. Ao manter os resíduos da cultura anterior (palhada) na superfície e evitar o revolvimento frequente, esse sistema estimula a formação de poros estáveis, melhora a infiltração da água e reduz a compactação ao longo do tempo.

Culturas de cobertura com raízes que crescem em profundidade e se espalham, principalmente a braquiária, ajudam a "descompactar" o solo de forma natural. Essas raízes abrem caminhos que serão depois aproveitados pelo algodão, além de contribuírem para a agregação do solo e para uma maior capacidade de infiltração da água da chuva. Sistemas com consórcios dessas espécies foram os que apresentaram melhor desenvolvimento radicular e maior conectividade dos poros no estudo realizado em Itiquira.

Melhorar a capacidade do solo de armazenar e infiltrar água é essencial para manter o algodoeiro produtivo, especialmente em anos de menor volume de chuva. A compactação reduz a taxa de infiltração, aumenta o escoamento superficial e favorece a erosão, além de deixar o sistema mais vulnerável a períodos de seca.

A rotação de culturas, associada à cobertura do solo e à ausência de revolvimento, contribuiu para a formação e manutenção de boas condições físicas no solo, ampliando os limites de resistência à penetração aceitáveis para o crescimento das raízes. No sistema de plantio direto, a bioporosidade gerada pelo cultivo mínimo cria caminhos alternativos para o desenvolvimento radicular, compensando a maior resistência da matriz do solo. Por isso, o limite crítico de resistência à penetração deve ser interpretado com cautela, especialmente em solos sob rotação de culturas. Em Latossolos muito argilosos, por exemplo, Moraes *et al.* (2014) propuseram que esse limite seja ajustado conforme o tipo de manejo: elevado para 3,5 MPa em plantio direto contínuo; 3 MPa em cultivo mínimo com escarificação; e mantido em 2 MPa no preparo convencional. O estudo também mostrou que o efeito da escarificação é temporário, durando no máximo 10 meses, enquanto o plantio direto contínuo se mostrou mais eficiente para preservar a estrutura física do solo ao longo do tempo.

4. Considerações finais

O manejo físico do solo deve ser tratado como prioridade em áreas de algodão. Diagnósticos regulares da qualidade física do solo, o uso controlado de máquinas agrícolas, rotação de culturas com plantas de cobertura de raízes profundas e o investimento

em sistemas conservacionistas, como o plantio direto, são ações que garantem maior exploração das raízes, melhor aproveitamento da água e dos nutrientes, além de maior estabilidade produtiva.

Os resultados da Fundação MT em Itiquira mostram, na prática, que o uso estratégico da braquiária e de sistemas bem planejados de rotação são decisivos para manter o solo saudável em profundidade. Mesmo que a camada superficial apresente alguma compactação sob plantio direto, os ganhos na agregação e na retenção de água nas camadas mais profundas são fundamentais para o sucesso da cultura do algodão, especialmente no Cerrado.

Com base nesses dados, recomenda-se aos produtores que adotem práticas que promovam a saúde física do solo de forma contínua. Isso não apenas aumenta a produtividade, mas também fortalece a resiliência da lavoura frente a eventos climáticos extremos.

Referências Bibliográficas

ANGHINONI, G.; TORMENA, C.A.; LAL, R.; ZANCANARO, L.; KAPPES, C. Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation & Development**, 30(7), 788–798. 2019. https://doi.org/10.1002/ldr.3267

Betioli Júnior, E., Moreira, W.H., Tormena, C.A., Ferreira, C.J.B., Silva, Á.P.D., Giarola, N.F.B. (2012). Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um latossolo vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3), 971–982. 2012.

MENDES, I.C.; MERCANTE, F.M.; SOUZA, L.C.F.; ZILLI, J.É.; HUNGRIA, M. Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. **Informações Agronômicas**, (8), 1–11. 2020.

MORAES, M.T.T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(1), 288–298. 2014. https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029

ROSOLEM, C.A.; SCHIOCHET, M.A.; SOUZA, L.S.; WHITACKER, J.P.T. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 29 (1–2), 169–177. 1998. https://doi.org/10.1080/00103629809369936

Ziany Neiva Brandão
Embrapa Algodão

João Henrique Zonta
Embrapa Algodão

Álvaro Vilela de Resende
Embrapa
Milho e Sorgo

Célia Regina Grego
Embrapa
Informática
Agropecuária

Eduardo Antonio Speranza
Embrapa
Informática
Agropecuária

CAPÍTULO 2.4

Agricultura de precisão e digital: tecnologias para o algodoeiro

Capítulo publicado originalmente na edição 2012/13 do Manual de Boas Práticas, com autoria de Brandão, Resende, Medeiros e Inamasu. Foi atualizado em 2014/15 por Brandão, Inamasu e Resende, e novamente em 2019/20 por Brandão, Resende, Grego e Speranza. Nessas revisões, partes dos textos anteriores podem ter sido reaproveitadas pelos novos autores. Assim, a versão atualizada desta edição de 2025 deve ser entendida como o resultado de um trabalho em equipe, reunindo as contribuições de todos os autores citados.

Introdução

O Brasil possui a quinta maior área arável do planeta e, devido à sua posição geográfica, tornou-se o quinto maior produtor de 34 commodities agrícolas, sendo um dos maiores provedores de alimentos, madeira e fibras em âmbito global. Em crescimento acelerado desde o final do século passado, transformou-se de exportador de produtos agrícolas tropicais, como café, açúcar, frutas e cacau, para um importante fornecedor de commodities como soja, milho, algodão, etanol e carne. Se, por um lado, há evidentes vantagens para a balança comercial brasileira com a expansão do mercado consumidor, por outro, nossos produtores hoje têm uma clientela cada vez mais exigente, disputada também pelos grandes *players* estrangeiros.

Impulsionados pelo constante avanço tecnológico para aumentar sua rentabilidade, os produtores buscam cada vez mais a automação de diversos processos para se manterem competitivos, sobretudo na cadeia do algodão. Nesse sentido, é preciso estar em dia com a adoção das tecnologias mais recentes, que promovam ganhos de eficiência associados à qualidade e à sustentabilidade do processo produtivo. Os dispositivos e as tecnologias de agricultura de precisão (AP) evoluem constantemente, assim como a gama de suas aplicações na rotina das fazendas. Ao menos em operações pontuais, a AP já é uma realidade no cotidiano dos produtores de algodão, mas o potencial de ampliação de seu uso é gigantesco, limitando-se apenas pelo processamento da enorme quantidade de dados gerados.

Máquinas e robôs agrícolas estão sendo aprimorados para realizar tarefas como plantio, controle de plantas daninhas, pragas, colheita e monitoramento de lavouras de forma autônoma. Essa tendência levou à necessidade do uso de ferramentas computacionais de autoaprendizado, com possibilidade de transmissão em tempo real, como análise de big data (aprendizado de máquina, mineração de dados, análises estatísticas, análises preditivas etc.) e inteligência artificial, que são ferramentas promissoras utilizadas para otimizar operações agrícolas e aplicação de insumos com o objetivo de aumentar a produção e reduzir perdas de recursos e rendimento (Rodrigues *et al.*, 2024; Elbasi *et al.*, 2023).

Vários sistemas de tecnologia de IoT (*Internet of Things*) que utilizam computação em nuvem, redes de sensores sem fio e análise de big data foram desenvolvidos para operações agrícolas inteligentes, incluindo sistemas de irrigação automatizados controlados à distância e sistemas inteligentes de monitoramento e previsão de doenças e pragas (Jha *et al.*, 2019; Elijah *et al.*, 2018). Técnicas de IA, incluindo aprendizado de máquina (por exemplo, redes

neurais artificiais), têm sido usadas para estimar a evapotranspiração (ET), a umidade do solo e previsões de safras, para aplicação automatizada e precisa de água, fertilizantes, herbicidas e inseticidas. Essas tecnologias de ponta para o desenvolvimento e a implantação de gestão específica do local são parte integrante da AP. Embora em muitos casos ainda sejam necessárias validações e ajustes adaptativos de acordo com as necessidades e as características dos sistemas de produção e das propriedades agrícolas, diversas técnicas relacionadas à AP já tiveram seu valor provado, a exemplo da otimização operacional e da racionalização no uso de insumos, com claros reflexos na rentabilidade. Dessa forma, para permanecerem competitivos, os produtores precisam aderir a estratégias gerenciais baseadas em múltiplas fontes de informações e integradas pelo aparato da AP.

1.1. Tecnologias sítio-específicas na cultura do algodão

A agricultura convencional trata todo o campo de maneira uniforme em relação ao manejo do solo, aplicação de fertilizantes, pesticidas e outros insumos. No entanto, a produtividade agrícola é afetada pela heterogeneidade espacial e temporal de diversos fatores, como topografia (relevo, declividade), solo (composição química e física), compactação (decorrente do manejo), ocorrência de agentes biológicos (doenças, pragas) e fatores meteorológicos (umidade, chuva, temperatura, velocidade do vento etc.). Assim, o tratamento homogêneo fornecido pela agricultura convencional pode ter impacto econômico negativo, ao restringir o potencial produtivo de determinadas partes da lavoura (Resende *et al.*, 2019).

Agricultura de precisão é um termo genérico usado para se referir a estratégias de gestão que empregam tecnologias e técnicas para análise de dados temporais e espaciais, associando-os a informações preexistentes, com o objetivo de fornecer suporte técnico a decisões de gestão, de acordo com a variabilidade estimada, para melhorar a eficiência do uso dos recursos e a produtividade das culturas. Para o tratamento da variabilidade apresentada no campo, são utilizados conhecimentos aprofundados das características desejadas dentro de cada lavoura ou ambiente de produção. Esses parâmetros podem incluir tipo de solo, textura, pH, matéria orgânica, teores de nutrientes, topografia, disponibilidade de água, plantas daninhas, pragas, doenças, condições climáticas etc. O objetivo da implantação de um plano de manejo na AP é abordar toda essa variabilidade e, assim, melhorar a eficiência e a rentabilidade da produção agrícola.

Atualmente, a cultura do algodoeiro em larga escala no Brasil é explorada em regiões produtoras de culturas anuais no bioma Cerrado, com lavouras conduzidas em talhões de grandes dimensões. Módulos de dezenas ou centenas de hectares certamente apresentam variações produtivas decorrentes dos fatores já citados e de suas interações, mas um manejo diferenciado, que leve em conta a variabilidade espacial dentro dos talhões, não era possível nessa escala de cultivo antes do advento da AP.

Localidades com características similares determinam sub-regiões para aplicação de técnicas de manejo localizado, ou sítio-específico. Entretanto, apesar de o manejo sítio-específico das lavouras apresentar oportunidades para melhoria da produtividade e da qualidade ambiental, a mensuração de seus benefícios é complexa, especialmente quando o produtor está iniciando o aprendizado das técnicas da AP e ainda precisa investir em *softwares*, equipamentos e sensores.

1.2. Importância da escolha das técnicas para a AP

A aplicação de tecnologias de AP baseadas em sensores requer maior capacidade técnica para o processamento e a análise dos dados de sensoriamento, sendo sua adoção recomendável quando a fazenda já acumula certa experiência em AP.

No reconhecimento da área a ser trabalhada, deve-se considerar uma amostragem inteligente, na qual são avaliadas as similaridades das características locais em uma lavoura (Brandão *et al.*, 2017). Para isso, podem ser usados não só o histórico da área, mas também imagens aéreas, topografia, mapas de produtividade e de condutividade elétrica, informações sobre disponibilidade de água no solo e temperatura, além de dados de fertilidade. Esses dados organizados possibilitarão a criação de zonas de manejo (ZM) refinadas e a definição dos sensores que deverão ser usados para monitorar a cultura durante seu ciclo, permitindo a tomada de decisões com mais segurança ao longo do tempo.

Os sensores podem ser escolhidos de acordo com a época em que se planeja fazer o monitoramento. A escolha, por parte do produtor, de sensores para o diagnóstico do solo ou para o acompanhamento da cultura vai depender das fontes de variabilidade encontradas no histórico da área.

Os sensores podem ser divididos em três tipos: os de solo, os de plantas e os de produtos. Há duas formas de sensoriamento: com e sem contato direto com o objeto que se quer monitorar (planta, solo, umidade etc.). A tendência é que se conjugue o uso de diferentes sensores para a obtenção de informações mais consistentes, visando subsidiar mais efetivamente as decisões gerenciais.

Dos sensores existentes para as mais diversas aplicações na agricultura, alguns vêm sendo experimentados por agricultores brasileiros, e seu uso tende a se tornar rotineiro a partir da redução do custo de aquisição e da validação para as condições locais.

Diversas tecnologias estão disponíveis atualmente para o monitoramento da água, do solo e das plantas durante o cultivo. Devido à velocidade exponencial de crescimento e/ou adequação dessas tecnologias e ferramentas, são apresentadas aqui algumas das tecnologias mais comumente usadas na cultura do algodoeiro até 2025, dividindo-as em quatro categorias: agricultura de precisão para avaliação da fertilidade do solo; monitoramento do controle da irrigação; acompanhamento do crescimento e desenvolvimento das plantas durante o ciclo produtivo; e, por fim, o tratamento dos dados, que exige mão de obra especializada e *softwares* e/ou plataformas específicas.

2. AP para avaliação do solo

O solo deve ser avaliado antes mesmo da semeadura, pois o conhecimento de suas características físicas e químicas é vital para a tomada de decisão na aplicação de corretivos, fertilizantes e fornecimento de água (Brandão *et al.*, 2023). A AP agrega informações de variabilidade e possibilita encontrar respostas para os fatores que estão influenciando a produtividade, utilizando sistemas georreferenciados que viabilizam a criação de zonas de manejo (ZM). A tarefa de identificação e separação dessas áreas de manejo na fazenda pode ser feita por meio do uso de sensores orbitais e/ou proximais. Esses sensores permitem a identificação da variabilidade espacial tanto do solo como da cultura, e seus usos vêm se tornando cada vez mais comuns entre os produtores devido à facilidade de geração de mapas de aplicação de insumos que estejam bem correlacionados às variáveis obtidas pelos sensores. Sensores de solo oferecem medições em tempo real, reduzindo as cansativas e caras amostragens de solo, minimizando os custos com manuseio, transporte e armazenagem de amostras (Brandão *et al.*, 2023; Brandão *et al.*, 2018). Dessa forma, é possível estabelecer procedimentos diferenciados para cada área na lavoura.

Atualmente, alguns sensores de solo são utilizados por cotonicultores, destacando-se aqueles que fornecem dados correlacionados à textura, umidade, pH, matéria orgânica e disponibilidade de alguns nutrientes. Dentre eles estão os sensores combinados, ou seja, que permitem obter o registro de mais de um atributo simultaneamente. Além disso, com a popularização do GPS (sistema de posicionamento global, conforme a sigla em inglês), esses dados são georreferenciados e apresentados em tempo real, propiciando, ao final, um mapa completo das características avaliadas.

Dentre os sensores mais utilizados encontram-se aqueles de contato direto e os de condutividade elétrica aparente do solo (CEa), de matéria orgânica e de pH. Os sensores de CEa mais

frequentes são apresentados nas Figuras 1(A) e 1(B). A Figura 1(A) mostra um sensor de condutividade elétrica fabricado pela empresa Veris Technology, cujos eletrodos estão diretamente em contato com o solo durante a medição. Já a Figura 1(B) mostra um sensor de CEa que não faz contato com o solo, pois usa como princípio a indução eletromagnética (EMI), que se baseia na medição da variação de impedância mútua entre um par de bobinas acima da superfície do solo.

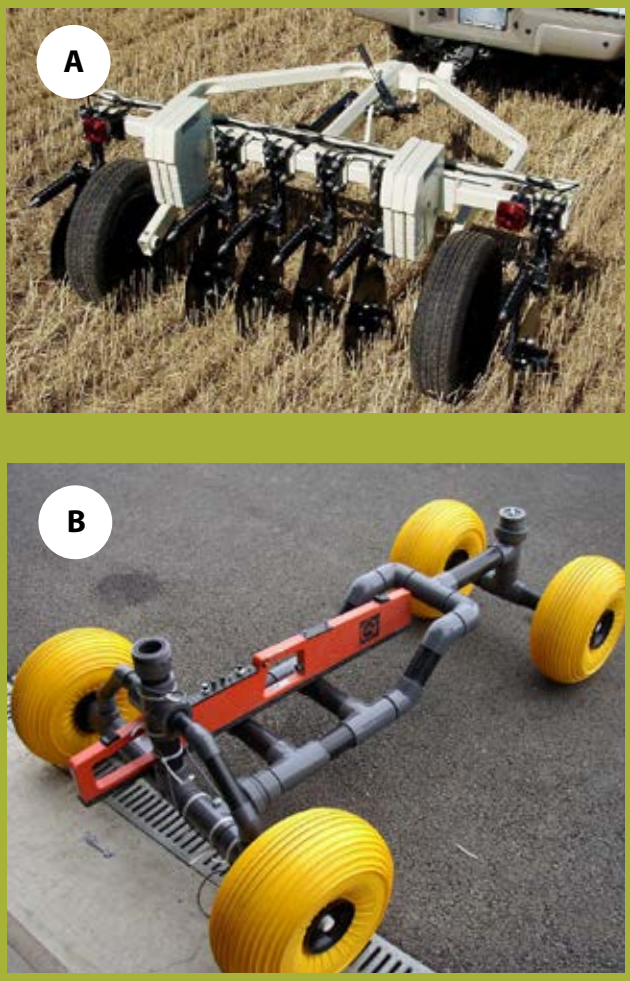


Figura 1. Sensores de solo e com contato direto: (A) sensor de condutividade elétrica por contato direto no solo: Veris 3150 - ®Veris Technology (Fonte: Veris, 2019); (B) sensor de indução eletromagnética EM38 da Geonics instalado em um veículo de PVC para medição da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) (Fonte: Georeva, 2017)

2.1. Amostragem do solo na AP para aplicações de corretivos e fertilizantes a taxa variável

Em geral, têm-se coletado amostras georreferenciadas dispostas em grade amostral (*grid*), com tamanho de quadrículas variando entre 2 e 10 hectares (Resende *et al.*, 2019), com crescente conscientização de que quadrículas maiores que 3 ha são pouco efetivas para fins de agricultura de precisão. Os resultados das análises em laboratório são processados por meio de programas de geoestatística e geoprocessamento que elaboram mapas interpolados representando a variação espacial nos valores de cada atributo analisado. De posse dos mapas de determinados atributos (fósforo, potássio e saturação por bases, por exemplo), são gerados mapas de prescrição de fornecimento de fertilizantes e de calcário, de acordo com a mudança na condição de fertilidade de um local para outro dentro do talhão. O conjunto dessas etapas é designado pelo termo em inglês variable *rate technology* (VRT), que pode ser traduzido como "tecnologia de adubação a taxa variável".

A etapa de amostragem de solo para AP é passível de críticas porque nem sempre oferece resolução satisfatória, podendo acarretar falhas no mapeamento de atributos do solo e levar a tomadas de decisão equivocadas ou pouco efetivas para o refinamento que se busca com o manejo sítio-específico. O usuário deve definir o esquema de amostragem com custos viáveis, mas sem prejuízo dos critérios técnicos, uma vez que os procedimentos utilizados afetam as etapas posteriores de processamento dos dados por geoestatística e SIG, podendo implicar em erros de interpretação, culminando em manejo inadequado da lavoura e insucesso no uso da AP.

Em trabalho realizado no MT em 2022, foi utilizado o sensor ®Veris 3100 em parte de um talhão da Fazenda Tucunaré (grupo Amaggi), localizada no município de Sapezal, para obtenção de mapas contínuos de condutividade elétrica do solo (Figura 2A). Esse mapa foi utilizado em conjunto com mapas de índices de vegetação obtidos a partir de imagens coletadas por câmeras multiespectrais instaladas em Vants (Veículo aéreo não tripulado) para a obtenção de mapa de zonas de manejo (Figura 2B), usado no planejamento de experimentação *on-farm* da área para testes de aplicação à taxa variada de adubação nitrogenada (Figura 2C) (Speranza *et al.*, 2022).

Apesar de auxiliar de maneira significativa na correta identificação das ZM, os dados coletados em campo, seja por sensoriamento proximal, seja por amostragem de solo, nem sempre estão

disponíveis, e a sua obtenção é normalmente custosa para o produtor. Para áreas com diferenças significativas na textura do solo, como é o caso da utilizada na Figura 2(A), essa variabilidade pode ser refletida na própria cultura, potencializando o uso de históricos de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução espacial como fonte de dados única para a obtenção de mapas de ZM úteis na prática. Esse tipo de abordagem foi estudado por Speranza *et al.* (2023), em que a substituição de atributos como teor de argila por índice de vegetação com alta correlação com esse atributo, ainda permitiu a obtenção de mapas de ZM capazes de proporcionar uma redução significativa da variância da produtividade histórica da área (Figura 3).

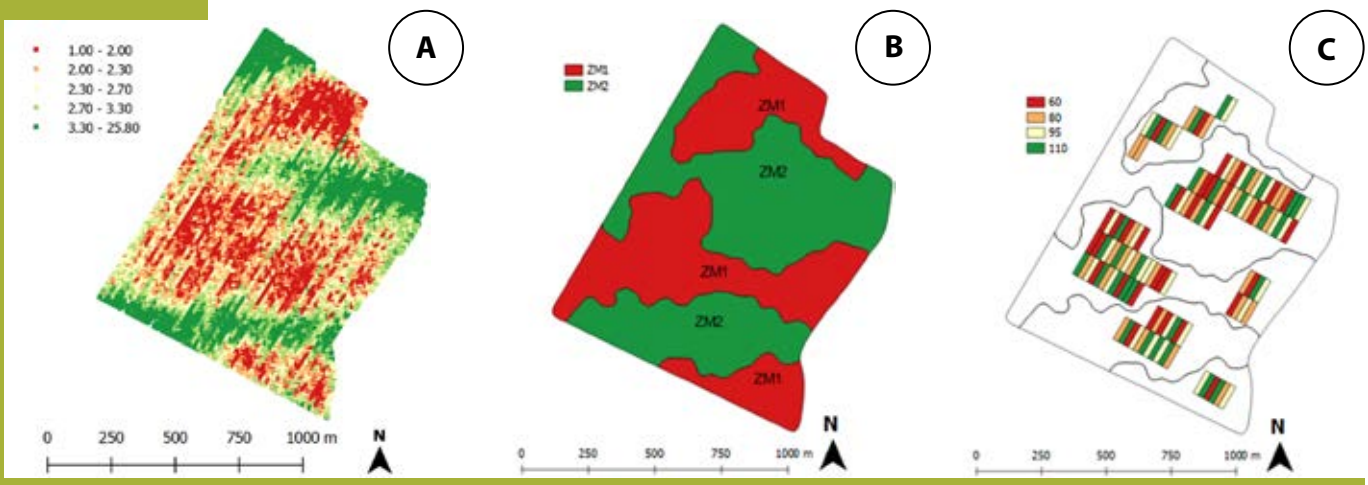


Figura 2. (A) Mapa de condutividade elétrica aparente do solo a 30 cm de profundidade; (B) mapa de zonas de manejo; e (C) mapa de planejamento de experimentação *on-farm* para adubação nitrogenada a partir das zonas de manejo (Fonte: Adaptado de Speranza *et al.*, 2022)

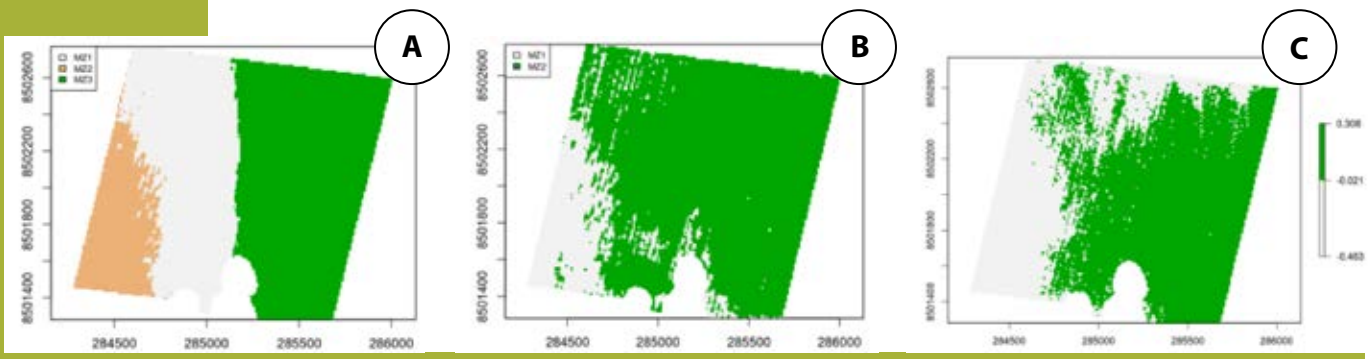


Figura 3. Mapa de ZM delineado a partir de sensoriamento remoto e teor de argila: (A); mapa de ZM delineado a partir de sensoriamento remoto (B); mapa de produtividade histórica média (4 safras, normalizada entre -1 e 1 (C) (Fonte: Adaptado de Speranza *et al.*, 2023)

O mapa da Figura 3(A) indica que sua utilização permitiria uma redução de variância (Ping & Dobermann, 2003) de aproximadamente 60% da produtividade histórica em relação ao talhão considerado como um todo, enquanto o mapa da Figura 3(B) permitiria uma redução de apenas 40% dessa mesma variável. De qualquer forma, mesmo sem a utilização de dados de teor de argila, que nem sempre estão disponíveis, ainda foi possível identificar as ZM com grande potencial para diferenciar espacialmente o talhão.

Trabalhos realizados em solos brasileiros (Cherubin *et al.*, 2014; Gimenez &

Zancanaro, 2012; Barbieri *et al.*, 2008; Montanari *et al.*, 2008; Cora & Beraldo, 2006; Resende *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2004) comprovam a dificuldade de garantir a confiabilidade em diagnósticos espacializados da fertilidade química. Há necessidade de grades amostrais relativamente densas, em muitos casos com mais de uma amostra por hectare, totalizando um grande número de amostras a serem analisadas para que se possa captar a variabilidade real do solo nas lavouras (Resende *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2004). Desse modo, a quantidade ideal de amostras sob o aspecto geoestatístico geralmente é inviável na prática da AP nas fazendas. Como medida para baixar custos, é comum o uso de amostragens de baixa densidade.

Na região dos Campos Gerais do Paraná, Machado *et al.* (2004) estudaram uma área de 13 hectares em latossolo vermelho distroférrico, concluindo que seria necessária a coleta de catorze amostras por hectare, a fim de representar a variabilidade dos atributos do solo naquele talhão. Resende *et al.* (2006) avaliaram amostragens em grades com tamanho de quadrícula variando de 0,25 a 9,0 hectares, em lavoura no cerrado do entorno do DF, obtendo dependência espacial para os principais atributos de fertilidade em quadrículas de até 2,25 ha, exceto para o fósforo, que só apresentou dependência espacial na amostragem mais densa, com tamanho de quadrícula de 0,25 ha. Em geral, atributos como textura, matéria orgânica, pH, K, Ca e Mg tendem a apresentar gradiente de variação com maior continuidade espacial, ao passo que P e micronutrientes expressam alta variabilidade espacial a curta distância (Resende *et al.*, 2019; Amado *et al.*, 2009; Montezano *et al.*, 2006).

Quando se comparam diferentes *grids* de amostragem de um talhão, mesmo havendo dependência espacial na análise dos dados, os mapas diagnósticos obtidos podem expressar conformações de áreas muito diferentes de disponibilidade de determinado nutriente (Figura 4), o que implicaria em divergências entre os respectivos mapas de prescrição para a adubação em taxa variável.

O tratamento dos dados e a avaliação da sua distribuição espacial por meio da geoestatística constituem uma abordagem eficiente para atributos cuja variabilidade deriva de processos naturais associados às características de formação do solo e que tendem a permanecer estáveis ao longo do tempo, como, por exemplo, a textura

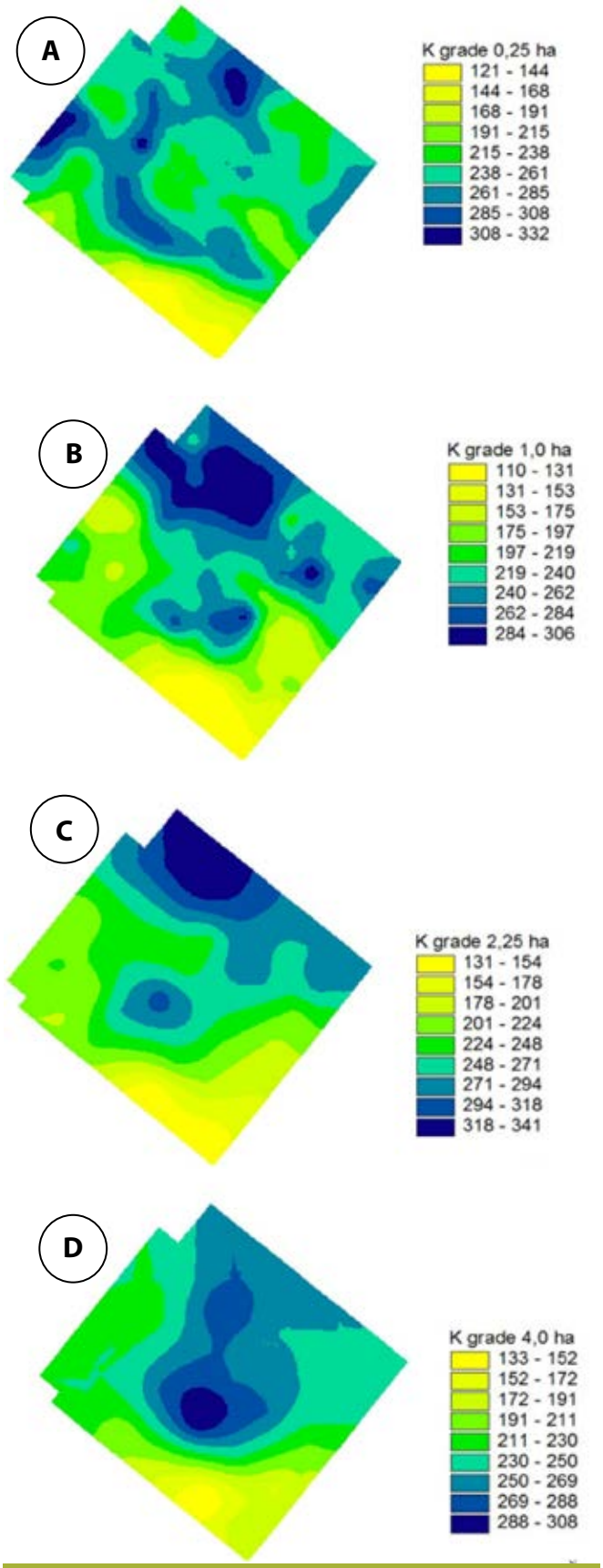


Figura 4. Teores de potássio (K, em mg dm^{-3}) no solo, obtidos a partir de amostragens em grades com células de 0,25 ha (A), 1,0 ha (B), 2,25 ha (C), e 4,0 ha (D), que resultam em diferentes conformações das zonas de alta e baixa disponibilidade do nutriente
(Fonte: Resende *et al.*, 2006)

e a mineralogia (Brandão *et al.*, 2023; Resende *et al.*, 2019). No caso de atributos químicos, ocorrem oscilações espaciais e temporais causadas pelo próprio uso agrícola do solo, pelas adubações e pelo manejo geral das culturas, gerando variabilidades aleatórias e de baixa continuidade espacial, bem como a alterações periódicas nas zonas de manejo. Portanto, o manejo na AP deve ter uma perspectiva de ajustes contínuos ao longo do tempo, utilizando-se toda ferramenta que agregue informações sobre a variabilidade espacial e temporal do talhão, como mapas de produtividade, imagens aéreas, amostragens periódicas de solo etc. (Resende *et al.*, 2019).

Falhas operacionais nas aplicações a taxa variável frequentemente passam despercebidas por técnicos e produtores, sendo necessárias aferições constantes de regulagens em condições de campo para diferentes doses e produtos que se deseja aplicar. Também devem ser observadas as limitações de alguns equipamentos quanto às defasagens no tempo de resposta na mudança das doses, para mais ou para menos, durante as aplicações a taxa variável (Resende *et al.*, 2019). Processos de segregação por tamanho e densidade de partículas dificultam a obtenção de uniformidade nas aplicações a lanço de corretivos e fertilizantes, em especial de adubos NPK do tipo mistura de grânulos (Fulton *et al.*, 2013). Em conclusão, por mais que se busque homogeneidade e estabilidade das condições de fertilidade do solo por meio da AP, ainda existirão variações involuntárias induzidas pela atividade humana ou pelo próprio maquinário nos ambientes de produção agrícola.

Um maior detalhamento dos diversos aspectos envolvidos na amostragem de solo para fins de manejo da fertilidade por agricultura de precisão, bem como sugestões de procedimentos e cuidados operacionais, foi apresentado na publicação de Resende & Coelho (2017).

3. AP para irrigação

A irrigação de precisão é definida como a prática de aplicar água às culturas de maneira precisa e direcionada, com o objetivo primordial de otimizar o uso da água, aumentar a produtividade da colheita e, simultaneamente, minimizar o desperdício de recursos hídricos. As tecnologias avançadas, como sensores de umidade do solo, sensoriamento remoto, sistemas de irrigação de taxa variável (VRI) e plataformas de análise de dados, permitem uma aplicação altamente direcionada de água e nutrientes, resultando em economia de água e aumento da produtividade. Embora os benefícios econômicos e ambientais sejam substanciais, a adoção dessas tecnologias enfrenta desafios, como altos custos iniciais, necessidade de conhecimento técnico especializado e complexidade na gestão de dados (GeoPard, 2025).

Assim, vem crescendo nos últimos anos o uso da chamada Irrigação de Taxa Variável (VRI - *Variable Rate Irrigation*), que permite aos agricultores personalizar e aplicar quantidades variáveis de água na área de cultivo, com base em condições específicas do solo e da planta (Irrigation, 2025). Esta técnica é particularmente ideal para áreas que exibem variabilidade significativa em topografia, tipo de solo, profundidade, ou mesmo quando diferentes culturas ou datas de plantio estão incluídas sob o mesmo sistema de irrigação (Bayabil, 2025). Segundo Hedley & Yule (2009) a VRI pode gerar economia de água de até 25%, mantendo a produtividade, por meio da irrigação de acordo com a capacidade de retenção de água espacialmente variável, o uso de água pelas culturas ou os tipos de culturas, deixando capacidade no solo para captação de água da chuva em solos com alta capacidade de retenção de água em regiões com alta precipitação na estação de cultivo; e reduzindo ou interrompendo a irrigação em áreas não cultivadas e/ou suscetíveis a excesso de água e alagamentos (por exemplo, vãos internos da

máquina, áreas no campo propensas a escoamento etc.) (Peters & Flury, 2017).

Existem várias formas de se realizar a irrigação em taxa variada. Dentre elas, destacam-se as VRI por controle de velocidade, por zona de manejo ou através do controle individual de cada aspersor, como explicado abaixo:

- Controle de Velocidade (*Speed Control VRI*): Este método ajusta a taxa de aplicação da irrigação alterando a velocidade com que o sistema de irrigação (por exemplo, um pivô central ou sistema de movimento linear) se desloca pelo campo, enquanto a vazão através do sistema permanece constante. É relativamente simples, mas oferece menor precisão em comparação com sistemas VRI mais avançados.
- Controle por Zona (*Zone Control VRI*): Nesta abordagem, o sistema de irrigação é segmentado em múltiplas zonas de manejo, normalmente compostas por grupos de aspersores que são controlados coletivamente. Cada zona pode ser programada para aplicar diferentes taxas de irrigação com base em variáveis específicas do campo, como textura do solo, topografia e tipo de cultura. Isso proporciona uma irrigação mais direcionada do que o controle de velocidade, mas algumas ineficiências podem persistir se as necessidades de água variarem significativamente dentro de uma única zona.
- Controle Individual de Aspersores (*Individual Sprinkler Control VRI - VRI-iS*): Representando a vanguarda da tecnologia VRI, esta é a forma mais avançada e precisa, na qual cada aspersor é controlado independentemente. Isso permite aplicações de irrigação altamente personalizadas com base em dados detalhados em tempo real, como mapas de umidade do solo, estágios de crescimento da cultura ou condições climáticas. O nível incomparável de precisão neste sistema reduz significativamente o desperdício e otimiza o crescimento da cultura, tornando-o ideal para campos com variabilidade espacial substancial nas necessidades de água.

3.1. Componentes do Sistema VRI

Alguns componentes de um sistema VRI são apresentados na Figura 5. Para um sistema VRI abrangente, há a integração de componentes-chave, como o hardware físico de irrigação (aspersores, vãos, tubos, mangueiras e válvulas), sistemas de controle sofisticados (*software* e hardware), além de um conjunto de sistemas de sensoriamento e medição (incluindo sensores de umidade do solo e infravermelho, câmeras, pluviômetros e tecnologias de sensoriamento remoto) para monitoramento contínuo das condições do campo e do clima. Essa integração frequentemente permite o monitoramento e o controle remotos via dispositivos móveis.

Cada um desses sistemas exige uma gama de sensores específicos, que são atrelados a uma função dentro de um sistema VRI, conforme apresentado na Tabela1.

Figura 5. Componentes de um sistema VRI de controle de zona de irrigação, incluindo caixas de controle ao longo do vão e um painel de controle, que normalmente está localizado no lado do abastecimento de água do sistema de irrigação (Fonte: adaptado de Bayabil, 2025)

3.2. Zonas de Manejo (ZM) VRI

Essas zonas são desenvolvidas com base em vários fatores, incluindo propriedades do solo (por exemplo, textura, profundidade, condutividade elétrica), tipo de uso da terra, tipo de cultura e estágios específicos de crescimento da cultura (USDA ARS, 2025).

Tabela 1. Sensores e sistemas de rede de sensores apropriados para integração com sistemas de gerenciamento de irrigação de taxa variável (Fonte: O'Shaughnessy *et al.*, 2016)

Sensor	Medidas	Função no sistema de irrigação taxa variável	Referência
Termômetros de infravermelho	Temperatura da superfície do dossel	Manejo da irrigação com base na detecção de estresse hídrico da cultura	Peters & Evett (2008)
Sensores de água no solo	Conteúdo de água no solo	Medição do nível de esgotamento de água no solo para determinação do momento de realizar a irrigação	Kim *et al.* (2009)
Sensores ópticos	Reflectância do dossel a cultura	Detecção do nível de nitrogênio	Sui & Thomasson (2006)
		Simulação do nível de potássio, através do NDVI	Hunsaker *et al.* (2003)
		Estimativa do percentual de cobertura do solo	Trout *et al.* (2008)
		Detecção de pragas e doenças	Mirik *et al.* (2007); West *et al.* (2003)
Estação meteorológica	Radiação solar, Umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade do vento	Dados normalizados de temperatura do dossel, dados para cálculo da evapotranspiração de referência	Peters & Evett (2007)
Sensores ultrasônicos	Altura de plantas	Detecção de estresses abióticos	Sui & Thomasson (2006)
Visão computacional (Inteligência artificial)	Aquisições de imagens RGB	Detecção de doenças	Casanova *et al.* (2014)

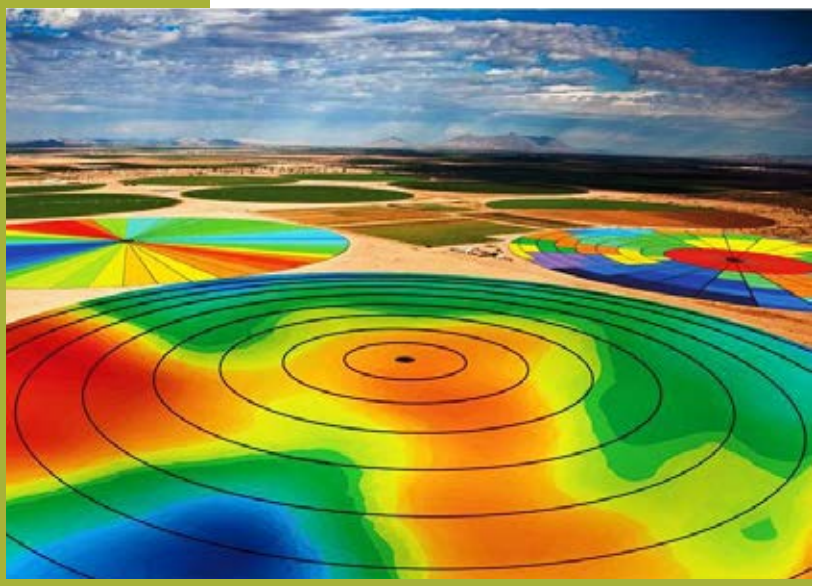


Figura 6. Exemplos de zonas de manejo em sistema de irrigação por pivô central para aplicação de irrigação em taxa variada (Fonte: Island Irrigation, 2025)

A implantação eficaz da VRI exige uma configuração inicial robusta, envolvendo levantamentos detalhados do solo de forma convencional, ou condutividade elétrica ou magnética (ECa ou EMI, conforme visto anteriormente no tópico para solos), além de modelos de elevação digital do terreno que sejam precisos e mapas abrangentes de infraestrutura. A Figura 6 mostra um mapa de prescrição de lâmina de água a taxa variada para um pivô, baseado em zona de manejo (ZM), obtido por ECa.

A clara progressão tecnológica do VRI de controle de velocidade para o VRI de controle por zona e, finalmente,

para o VRI de Controle Individual de Aspersores ilustra uma trajetória distinta em busca da excelência na aplicação precisa de água. Isso implica que a viabilidade econômica e a justificativa para a adoção de sistemas VRI dependerão, cada vez mais, do grau de variabilidade espacial inerente a um determinado campo. Os sistemas mais avançados e caros são economicamente justificáveis apenas quando tal variabilidade é significativa o suficiente para demandar um controle individualizado dos aspersores. A escolha da tecnologia VRI é uma decisão estratégica que deve ser meticulosamente baseada nas características biofísicas específicas do terreno e nos retornos econômicos quantificáveis alcançáveis ao abordar essa variabilidade. As tecnologias mais avançadas e caras (USDA ARS, 2025) podem ser percebidas como uma "solução em busca de um problema" caso o problema subjacente (variabilidade do campo) não seja suficientemente pronunciado para justificar o investimento significativo.

3.3. Irrigação em taxa variada no algodoeiro

Diversos estudos vêm sendo realizados com uso de irrigação em taxa variada no cultivo do algodoeiro, com resultados que apresentam tanto a redução no uso de água quanto o aumento de produtividade da cultura. McCarthy *et al.* (2023), ao avaliarem o uso de água de irrigação e a produtividade do algodoeiro cultivado em sistema de pivô central, com irrigação a taxa fixa e variada, utilizando diferentes metodologias de cálculo, constataram que, na irrigação em taxa variada (VRI), independente da metodologia utilizada para a determinação da lâmina e do momento de irrigar, a produtividade do algodoeiro foi maior se comparada com a irrigação padrão. Além disso, o uso de água foi menor com a irrigação padrão, sendo que a diferença na economia de uso de água superou a diferença na produtividade. Segundo os autores, isso se deve ao fato de a cultura estar próxima do seu potencial produtivo. Com relação a métodos para determinação de ZM, alguns autores como Stone *et al.* (2022) afirmam que o NDVI se apresenta como uma importante ferramenta para as determinações de taxas de aplicação de água de irrigação em sistemas com taxa variada na cultura do algodoeiro, o que remete ao monitoramento das plantas durante o cultivo, tópico a ser abordado na próxima seção.

4. AP para monitoramento das plantas

Uma das principais diferenças entre o algodão e outras *commodities* é que, na cotonicultura, não basta apenas produzir em grande quantidade; é preciso também otimizar a qualidade da fibra, observando o equilíbrio entre micronaire, resistência, comprimento e maturidade, pois o mercado têxtil é muito exigente.

Para isso, as condições nutricionais, o controle de pragas e doenças e o fornecimento adequado de água devem ser monitorados durante todo o ciclo produtivo. Se as condições são muito favoráveis, o algodoeiro prioriza o crescimento vegetativo em detrimento do reprodutivo e, nesse caso, é necessário também estabelecer os limites de correções e/ou suplementações aplicadas para o controle do crescimento excessivo da planta, observando-se a manutenção das estruturas reprodutivas.

Shiratsuchi *et al.* (2023) apresentam diversas possibilidades de uso de diferentes sensores embarcados em máquinas agrícolas, veículos aéreos (tripulados ou não) ou mesmo plataformas de satélites. Esses sensores são comumente usados no monitoramento das plantas do algodoeiro, incluindo sensores ativos de dossel (para detecção de refletância do dossel e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI), câmeras multiespectrais (para detecção de estresse nutricional, índices fisiológicos e estrutura da copa), câmeras termais (para identificação de estresse hídrico e avaliação da uniformidade de irrigação) ou câmeras RGB. Esses sensores podem ser comercializados separadamente ou integrados a veículos aéreos não-tripulados (VANTs), ou mesmo em plataformas compostas instaladas em máquinas agrícolas (Figura 7D).

Sensores de dossel funcionam com base na espectroscopia de refletância, ou seja, em medidas da reflexão da radiação eletromagnética após interação com diferentes superfícies, considerando comprimentos de onda preestabelecidos, oriundos do chamado espectro refletido, na região do visível (VIS – 0,4-0,7 µm), infravermelho próximo (NIR – 0,7-1,3 µm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR – *short wave infrared* – 1,3-2,5 µm) (Shiratsuchi *et al.*, 2014). Segundo esses autores, sensores que operam em diferentes comprimentos de onda podem ser acoplados aos VANTs, criando um enorme leque de possibilidades de aplicação na agricultura, como, por exemplo, a

captação de imagens no espectro visível para quantificação da biomassa, no infravermelho para detecção de estresses nutricionais, na faixa termal para evidenciar estresses hídricos, além de imagens hiperespectrais para identificação de coberturas vegetais, presença de doenças e muitas outras características das plantas.

De acordo com Brandão *et al.* (2014), vários avanços estão sendo obtidos para detecção e correção de deficiências nutricionais durante o ciclo de desenvolvimento do algodoeiro, mas sua implementação no campo ainda carece de dados de calibração para as condições do Brasil. Nas culturas de trigo, milho, algodão e cana-de-açúcar, sensores estão sendo validados com o objetivo de promover ganhos de eficiência no manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Existe uma gama de sensores para avaliação em plantas, sendo comuns os de operação manual (Figuras 7A e 7B) e os embarcados em vant (Figura 7C) e em tratores (Figura 7D). Um dos desafios tecnológicos a serem superados refere-se ao desenvolvimento de algoritmos de calibração desses equipamentos, visando sua aplicação em diferentes culturas e sistemas de produção.

Figura 7. Equipamentos com sensores para o manejo de nitrogênio: (A) clorofilômetro SPAD®e Walker; (B) sensor ativo de dossel Greenseeker® no milho; (C) vant com câmera RGB no algodoeiro, em Cristalina - GO, e (D) sensor Greenseeker® montado em pulverizador para VRT baseada em NDVI (Fonte: Resende *et al.*, 2010)

Para o monitoramento da vegetação podem ser usados sensores de contato direto, como os clorofilômetros, que servem para estimar os teores relativos de clorofila (Figura 7A), cujos valores estão diretamente associados aos teores foliares de nitrogênio (N). Brandão *et al.* (2012) avaliaram que medições realizadas com o clorofilômetro SPAD (Figura 7A) apresentam correlação acima de 80% com os teores foliares de N obtidos no algodoeiro irrigado.

Figura 8. Sistema composto da Trimble usando os sensores GreenSeeker® e OptRx® (Fonte: Trimble, 2018)

Apesar do bom desempenho na estimativa dos teores de N, os clorofilômetros portáteis manuais podem ser úteis em avaliações localizadas, mas são operacionalmente pouco viáveis em áreas extensas, comuns na região do Cerrado. Para avaliações em grandes áreas, usando o mesmo princípio de funcionamento, já se encontram disponíveis sensores acoplados a equipamentos que permitem estimar os teores foliares de N e dosar a quantidade de fertilizante nitrogenado para a aplicação a taxa variada em tempo real. Esses equipamentos não operam por contato direto com as plantas; eles registram dados ao medirem quanto da luz emitida pelos sensores as plantas refletem. São chamados sensores remotos de campo ou sensores proximais (Figura 8).

Sensores remotos orbitais (a bordo de satélites) ou sensores usados em imagens aéreas, como a câmera multiespectral, termal e RGB de alta resolução da Micasense® (Figura 9A), possuem em comum o princípio de imageamento por faixas. A largura das faixas e a precisão dos dados dependem do tipo de sensor, da altitude ou da órbita. Enquanto imagens aéreas podem oferecer uma melhor resolução, apresentando diferentes tons, o que possibilita uma classificação subjetiva do dossel de plantas da lavoura (Figura 9B), elas dependem de processamento posterior à coleta dos dados para formação de uma única imagem e remoção dos erros ocasionados pelo posicionamento da aeronave.

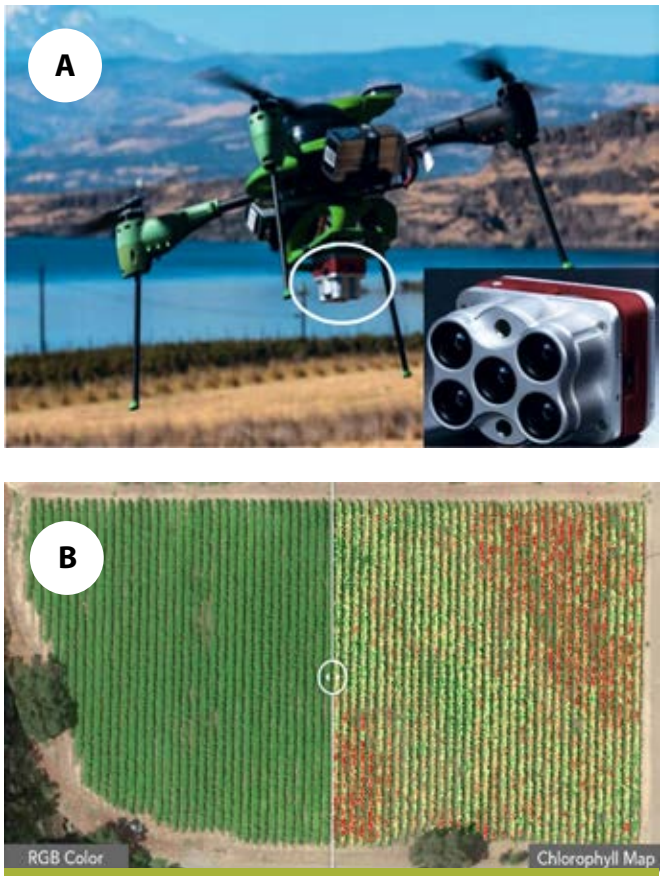


Figura 9. Sensores remotos para vegetação: (A) câmera termal, multiespectral e RGB de alta resolução da Micasense®, instalada em VANT comercial para monitoramento de culturas; (B) imagem aérea obtida com câmera Altum da Micasense®, instalada em VANT, mostrando a imagem RGB de alta resolução e sua classificação em quatro classes distintas em mapa de estimativa da clorofila na mesma área (Fonte: Micasense®)

Já as imagens orbitais podem oferecer desde a temperatura do terreno até valores da luz refletida pelas plantas, exatamente como os sensores usados em solo. Sua vantagem está na capacidade de imagear largas faixas de área, embora, algumas vezes, o excesso de nuvens possa impossibilitar a extração de dados em datas essenciais para a suplementação nutricional ou hídrica adequada em culturas agrícolas. Por sua vez, os radares, apesar de mais caros, fazem o imageamento da área sem problemas de interferência de nuvens, dependendo de mão de obra especializada para a correta interpretação dos dados.

A decisão sobre qual sensor usar dependerá do estágio de adoção da AP em que o agricultor se encontra. No Brasil, muitos produtores de algodão já iniciaram seus processos de gerenciamento da lavoura utilizando técnicas de agricultura de precisão. Em média, são registrados de 20% a 25% de economia em insumos após o início do processo de AP, quando em comparação às lavouras que usam o manejo convencional. Com as safras seguintes, a tendência é a redução dessa diferença inicial à medida que as correções vão sendo feitas, e as áreas de cultivo tendem a tornar-se mais homogêneas.

4.1. Mapas de produtividade

Os mapas de produtividade possibilitam a identificação da variabilidade de um talhão, que não seria detectada pelo mapeamento de outras variáveis isoladas. Assim, subáreas com rendimentos contrastantes, que permanecem visíveis mesmo com rotação de culturas na área, devem receber maior atenção para diagnósticos direcionados e manejo sítio-específico das causas da variabilidade. Sem dúvida, o mapeamento das colheitas é uma etapa crucial para se avançar no gerenciamento das propriedades baseado na AP (Shiratsuchi *et al.*, 2023; Louhaichi *et al.*, 2013; Santi *et al.*, 2009). Não obstante, mesmo quando dispõe de colhedoras equipadas com sensores, a maioria dos produtores ainda não reconhece o real valor dos mapas de produtividade.

A avaliação da produtividade das culturas ao final de seu ciclo fornece um dado real que permite a criação de zonas de manejo (ZM) daquela lavoura,

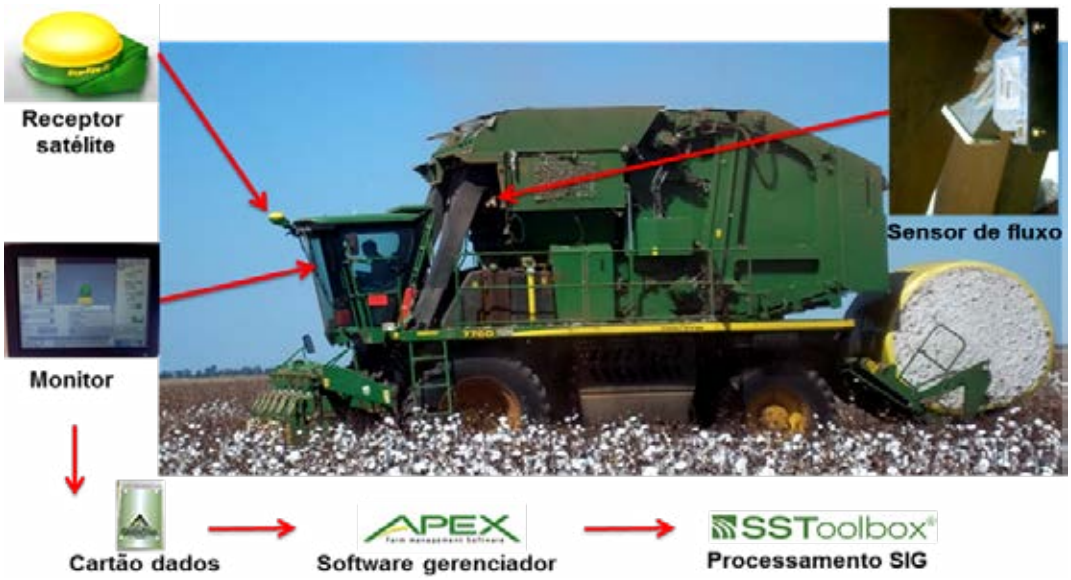


Figura 10. Processo para geração de mapas de produtividade na cultura do algodão (Fonte: Sana, 2013)

a partir de históricos de produtividade combinados com dados de atributos do solo, explicando a maior parte da variabilidade e suas causas (Brandão *et al.*, 2018). Esses mapas podem ser utilizados para mostrar o resultado final da gestão da área, considerando as novas abordagens, e auxiliar no cálculo do aumento do lucro do produtor, dando um indicativo, por exemplo, de exportação de adubação nitrogenada por parte das plantas e, consequentemente, da necessidade de suplementação nutricional.

A geração dos mapas de produtividade só é possível se a colhedora estiver equipada com sensor de rendimento, sistema de posicionamento global (GPS) e um dispositivo para o armazenamento dos dados de produtividade, que vêm associados às suas coordenadas geográficas, como o kit apresentado na Figura 10.

Para o algodão, a produtividade é medida por sensores de fluxo de massa, que são instalados e conectados aos dutos de entrada de pluma e caroço de algodão na máquina, medindo a quantidade que por ali passa (John Deere, 2006), como apresentado na Figura 10. Como os dados possuem erros inerentes ao processo de coleta, é necessário submetê-los à limpeza para a remoção dessas inconsistências, seguida de processo de filtragem dos dados brutos, permitindo assim a obtenção de resultados mais coerentes e o aumento da qualidade final das informações (Molin *et al.*, 2015). Alguns autores propõem métodos diferenciados de filtragem, usando uma pré-filtragem com os ângulos mais frequentes da colheitadeira (Speranza *et al.*, 2024), o que melhora o resultado final, como apresentado na Figura 11.

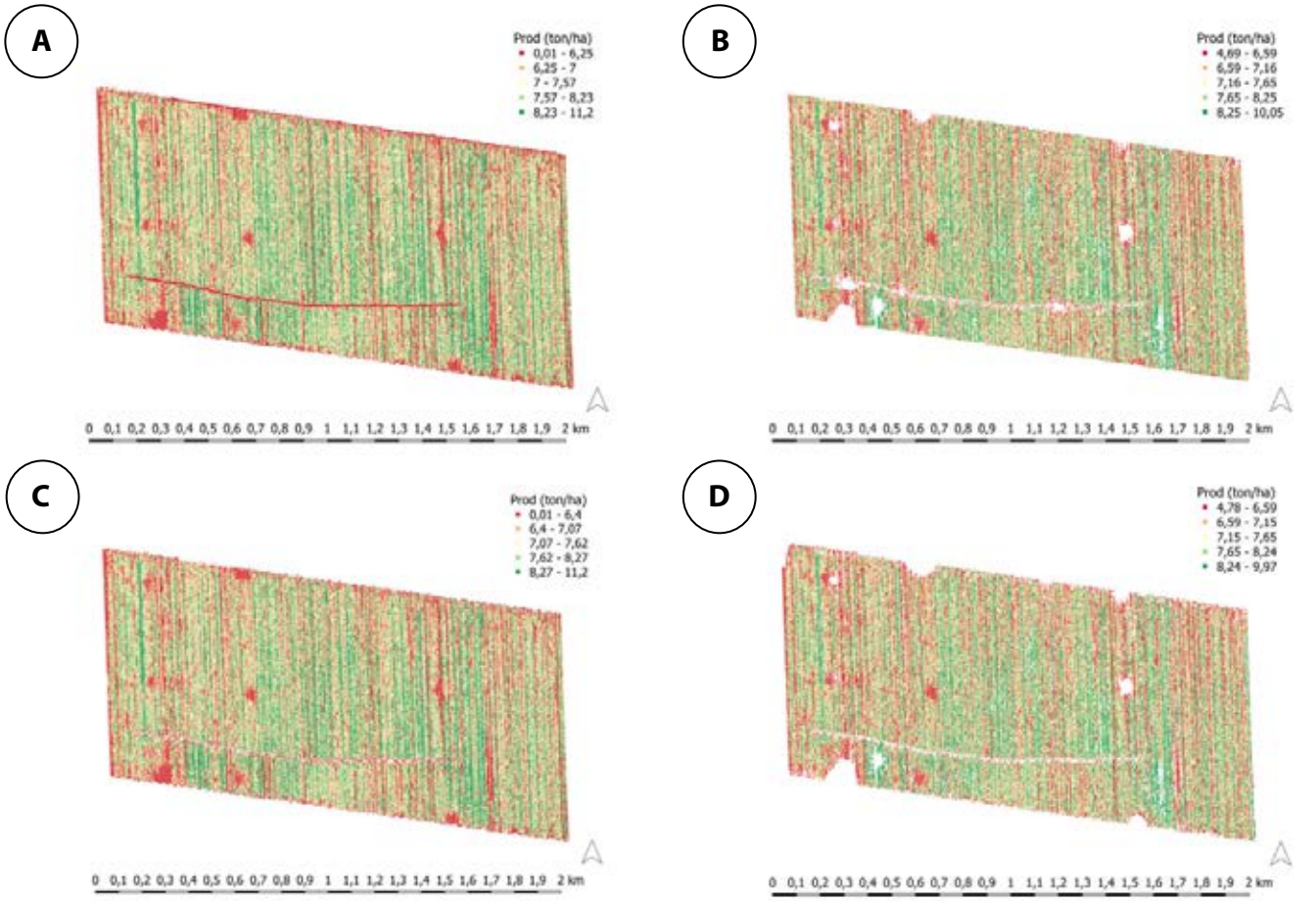


Figura 11. Processo de filtragem de mapa de produtividade: (A) dados brutos, com coeficiente de variação (CV) de 0,26; (B) mapa filtrado considerando apenas os dados de produtividade, com CV de 0,16 e redução de 19,7% das amostras; (C) mapa considerando apenas a pré-filtragem pelos ângulos mais frequentes da colheitadeira, com CV=0,21 e redução de 3,42% das amostras; e (D) mapa filtrado considerando as abordagens executadas nos itens (C) e (B), na sequência, com CV de 0,13 e redução de 14,48% das amostras (Fonte: Speranza *et al.*, 2024)

Tem-se encontrado variação na produtividade das culturas de soja, milho e trigo (Amado, 2007) e sua correlação com atributos de solo, como pH, Ca e Mg trocáveis, CTC e argila (Reichert *et al.*, 2008).

Vellidis & Brannen (2012) reportaram experimentos realizados pela Universidade da Geórgia, nos Estados Unidos, em cinco estados norte-americanos, nos quais os mapas de colheita auxiliaram na localização de áreas de baixa produtividade de algodão. Eles obtiveram altas correlações com os mapas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa), criados com o Veris 3100. Com esses mapas, os pesquisadores identificaram em experimento de 26 ha no estado de Oklahoma, uma área com aproximadamente 2 ha com produtividade muito baixa, sendo muito inferior à média da área estudada (Figura 12A). Após a identificação causa, foram aplicadas ações corretivas e, a mesma área apresentou, no ano seguinte, as mais altas produtividades da lavoura (Figura 12B).

4.2. Monitoramento por imagens

Em busca de soluções para o aumento de produtividade das culturas, os agricultores brasileiros vêm usando cada vez mais novas tecnologias no campo. Esses novos produtores não só estão automatizando semeaduras e aplicações de insumos, como também estão em busca de formas de monitoramento durante o ciclo da cultura que os auxiliem na tomada de decisão em tempo hábil, de forma a manter ou melhorar a produtividade da safra em andamento. Além de tratores guiados por GPS, pulverizadores com sensores instalados usados na aplicação de nitrogênio e diversas outras automações, destaca-se também o uso de imagens aéreas de boa qualidade a bordo de drones agrícolas, ou simplesmente VANTs, capazes de coletar imagens que, dependendo do sensor usado, podem ser multiespectrais ou em RGB convencional (Figura 13). Tais equipamentos são muitas vezes vendidos com *softwares* para o tratamento prévio das imagens, ou para a

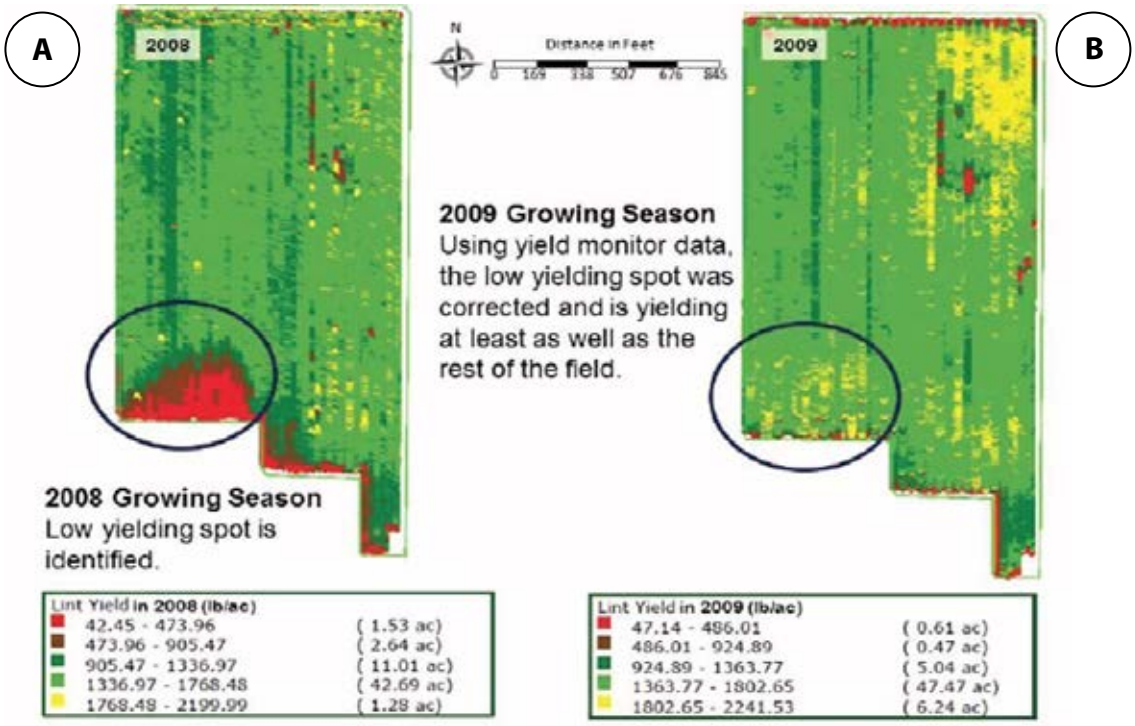


Figura 12. Mapas de produtividade do algodão obtidos em campo com 26ha, em Altus, Oklahoma, (A) em 2008 antes e (B) em 2009, após as melhorias implantadas (Fonte: Vellidis & Brannen, 2012)

montagem de cenas mais completas, facilitando o mapeamento aéreo das lavouras, tendo a vantagem de realizarem voos planejados de acordo com o desenvolvimento da cultura, permitindo assim a aplicação de defensivos ou suplementação de nutrientes em tempo hábil.

Esse planejamento proporciona a identificação de pragas, doenças e falhas de plantio com rapidez, facilitando eventuais intervenções durante o ciclo da cultura. Além disso, as imagens são georreferenciadas, possibilitando a aplicação localizada, otimizando o trabalho, minimizando os custos e reduzindo o risco de problemas ambientais.

Além de câmeras e sensores para imageamento, novos sistemas estão sendo adicionados aos VANTs, de forma a torná-los verdadeiras plataformas multifuncionais. Essas plataformas, além de receber e tratar imagens também atuam diretamente na correção dos problemas detectados, como é o caso das plataformas de pulverização agrícola instaladas em VANTs. A Figura 14 apresenta um drone pulverizador da empresa Agridrones aplicando defensivo agrícola; o equipamento tem capacidade para transportar até 25 kg e é certificado pelo serviço de aviação civil de Israel.

No Brasil, para o monitoramento de culturas e acompanhamento de safras, têm sido utilizadas câmeras digitais com boa resolução, mas que não são métricas. Embora a maioria das fotografias aéreas utilizadas em mapeamento seja obtida com câmeras aerofotogramétricas (em geral, 153 mm), muitas aplicações s agrícolas têm sido bem-sucedidas adotando câmeras de 35 mm e 70 mm embarcadas em VANTs para o registro e análise das lavouras (Resende *et al.*, 2019). As câmeras digitais não métricas proporcionam flexibilidade na coleta de dados quando o produtor necessita, pois a obtenção das imagens depende apenas do operador da aeronave, apresentando as vantagens de baixo custo, simplicidade de operação e boa capacidade de memória, suficiente para armazenar centenas de imagens em um único voo.

O processamento de imagens obtidas por essas câmeras deve ser feito por método analítico, utilizando-se *softwares* com funcionalidades específicas. De acordo com Brandão *et al.* (2014), após as correções adequadas, as imagens obtidas por câmeras não métricas podem alcançar precisão similar àquelas obtidas por métodos convencionais da fotogrametria. Embora apresentem a

Figura 13. Imagem de um drone sobrevoando área agrícola (Fonte: Flygus.com)

Figura 14. Equipamento da Agridrones aplicando defensivo agrícola (Fonte: Imagem e permissão: OTRS *members*)

vantagem da rapidez na obtenção e armazenamento de dados, o uso de câmeras digitais de pequeno formato apresenta como desvantagens, como a necessidade de um número maior de imagens para recobrir a área desejada, distorções geométricas maiores, dificuldade em obter a superposição planejada devido às variações de velocidade durante o voo e dificuldade de estabilização durante o voo (Jorge, 2003; Silva *et al.*, 2005). Jorge (2003) reportou que, após o descarte de várias imagens e o tratamento adequado das selecionadas, foi possível identificar áreas atacadas por doenças e pragas em culturas como soja, milho, eucalipto, cana-de-açúcar e citros (Figura 15).

Depois de georreferenciadas, as imagens devem ser aprimoradas para a interpretação visual e confecção de mapas, ressaltando os aspectos de interesse. Todo o processamento e o mapeamento dos dados formarão a base do Sistema de Informações Geográficas (SIG), que, por sua vez, armazenará as informações necessárias à tomada de decisão em AP.

Figura 15. Emprego de imagens aéreas obtidas a partir de câmeras digitais em aeromodelos, para identificação de áreas anormais em lavouras: (A) imagem da cultura de citros tomada a 50m de altura, evidenciando a presença de plantas afetadas pela doença "declínio dos citros". (B) lavoura de soja com área afetada por nematoides (Fonte: Jorge, 2003)

Os planos de voos fotogramétricos são projetados de modo que se tenha uma cobertura completa da área desejada. Para isso, devem ser obtidas sucessivas fotografias, idealmente verticais e nadirais, que apresentem zona de sobreposição, ou seja, uma mesma área da superfície terrestre deve ser captada e registrada em várias imagens distintas, com sobreposição longitudinal entre 60% e 80%, e sobreposição transversal entre 20% e 30% do tamanho da cena.

Nesse sentido, câmeras digitais automáticas podem ser programadas para capturar imagens em diferentes quadros por segundo, dependendo da resolução que se deseja. Após a obtenção das imagens, deve-se observar todas as técnicas de correção necessárias, incluindo as correções de posicionamento e ortorretificação, bem como aquelas relacionadas ao relevo e às variações na estação de exposição ocorridas durante o voo. Além disso, devem ser realizados os procedimentos de mosaicagem necessários para a obtenção de uma imagem única (Brandão *et al.*, 2023).

A adoção de drones como plataforma de sensores no gerenciamento das fazendas deve sempre ser uma decisão tomada após uma análise cuidadosa das questões legais e de responsabilidades envolvidas na sua utilização. O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017) da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) é complementar às normas de operação de drones estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), devendo ser analisado com atenção. Para operar um aeromodelo, as normas da Anac são relativamente simples, mas deve-se respeitar a distância mínima de 30 metros de terceiros e observar as regras pelo Decea e pela Anatel. Aeromodelos com peso máximo de decolagem (incluindo o peso do equipamento, de sua bateria e de eventual carga) de até 250 gramas não precisam ser cadastrados junto à Anac. Já os aeromodelos operados em linha de visada visual, até 120 metros acima do nível do solo, devem ser cadastrados e, nesses casos, o piloto remoto deverá possuir licença e habilitação específicas para esse tipo de operação.

O produtor deve estar atento às normas vigentes e contratar ou dispor de um profissional habilitado na fazenda para a realização desse tipo de serviço. Mais informações sobre as regras e os registros de aeronaves não-tripuladas devem ser obtidas diretamente nos órgãos reguladores mencionados anteriormente.

No Brasil, ainda há certa confusão

entre os sensores utilizados para mapeamento de informações de solo e planta com aqueles embarcados pela indústria agrícola para facilitar a operacionalidade do maquinário. Como exemplo, os controladores de seção em pulverizadores são equipamentos acoplados àqueles implementos, mas que não têm sua ação necessariamente voltada para aplicação seguindo alguma variabilidade existente no terreno. Nas semeadoras ocorre a mesma confusão, pois são oferecidos aos produtores alguns modelos com dispositivos de controle de fluxo de fertilizantes e de distribuição de sementes como sendo mecanismos para a AP, mas que, na verdade, também independem da variabilidade existente no terreno (Adamchuk *et al.*, 2004; Resende *et al.*, 2019).

5. Tratamento dos dados

Os sensores são úteis para o registro de dados espacializados, mas, sem o devido tratamento, a grande quantidade de dados gerados não será aproveitada adequadamente. Dentre as ferramentas, destacam-se o uso da geoestatística e o tratamento de dados de imagens de satélite ou captadas por câmeras instaladas em drones.

Na análise de dados, quanto maior o número de técnicas trabalhadas em conjunto ou em complementaridade, como métodos de estatística multivariada, mineração de dados e geoestatística, maior será a capacidade de obter informações mais representativas da realidade.

Souza *et al.* (2010), estudando a variabilidade de atributos químicos do solo na cultura da cana-de-açúcar, utilizaram geoestatística e mineração de dados, concluindo que a indução de árvores de decisão permitiu verificar que a altitude foi a variável com maior potencial para interpretar os mapas de produtividade de cana-de-açúcar. Nesse caso, as técnicas utilizadas mostraram-se adequadas para o estudo de definição de zonas de manejo na área cultivada.

De acordo Grego *et al.* (2014), após a obtenção dos dados, deve ser realizada uma verificação exploratória com o intuito de verificar a existência de valores discrepantes, conhecidos como *outliers*, que incluem valores obtidos fora da faixa permitida pelo sensor utilizado, erros de análise laboratorial ou até mesmo erros de digitação. Posteriormente, parte-se para a etapa de análises de variabilidade espacial, a fim de gerar mapas padronizados e precisos de todos os atributos coletados, com o uso da geoestatística (Rodrigues *et al.*, 2024; Brandão *et al.*, 2023)

5.1. Geoestatística e a confiabilidade na tomada de decisão

Ao considerar a variabilidade espacial, parte-se do princípio de que todas as amostras estão relacionadas com suas vizinhas e que amostras separadas por pequenas distâncias são mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias (Vieira, 2000). Isso possibilita a identificação de áreas com maior ou menor variabilidade dentro de um talhão ou região amostrada.

Como exemplo, a Figura 16(A) apresenta um mapa de classes da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa), obtida em um talhão de cana-de-açúcar de 14 hectares. A CEa foi obtida com o uso de um sensor de solo por indução eletromagnética, como apresentado na Figura 16(B) (equipamento EM38).

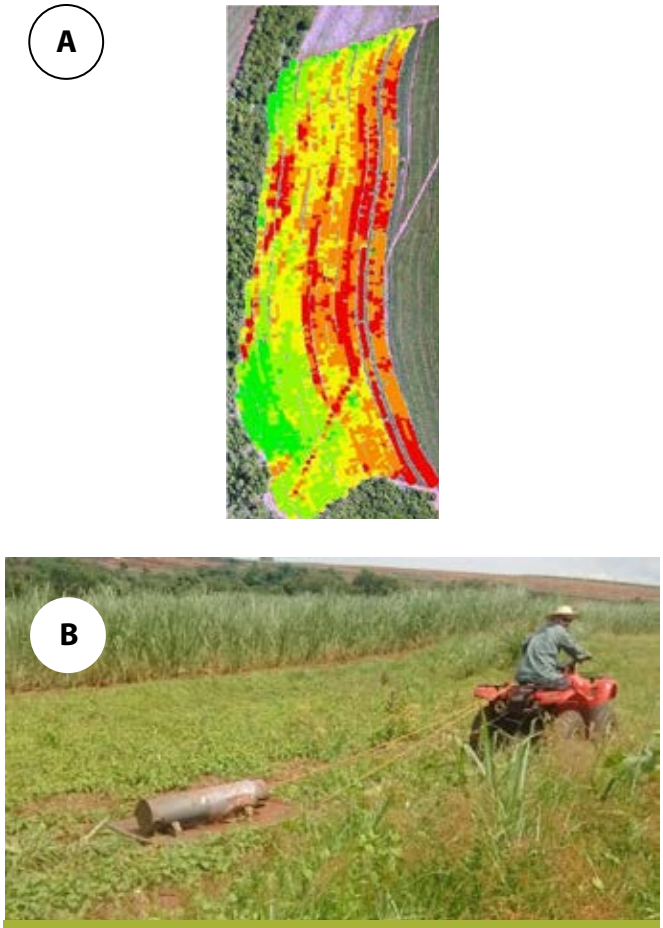


Figura 16. (A) Mapa de classes de medidas de condutividade elétrica aparente do solo em talhão de cana-de-açúcar localizado em Ibaté/SP; (B) medição da condutividade elétrica aparente (CEa) em Ibaté/SP, usando o equipamento EM38 em tubo de PVC (Fonte: Grego, 2018)

A variabilidade espacial pode ser, comprovadamente, modelada de maneira adequada pela ferramenta geoestatística, fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas. Isso é feito por meio do ajuste do semivariograma e da interpolação de dados, traduzidos na forma de mapas digitais, permitindo tomadas de decisões precisas e com maior eficiência (Vieira, 2000; Isaaks & Srivastava, 1989).

Segundo Grego *et al.* (2014) e Oliveira *et al.* (2015), a geoestatística considera que, quanto menor a distância entre as amostras, maior o grau de semelhança entre elas. A análise geoestatística parte da hipótese de que existe relação de dependência espacial entre os dados separados por certa distância; tal relação é investigada pela análise do semivariograma, na qual é verificada a existência ou não dessa dependência espacial. Nele, são realizados ajustes a uma função em que são determinados os parâmetros efeito pepita (C_0), variância estrutural ou contribuição (C_1) e alcance (*a*). Na Figura 17(A), tem-se um exemplo de gráfico ajustado à função esférica do semivariograma.

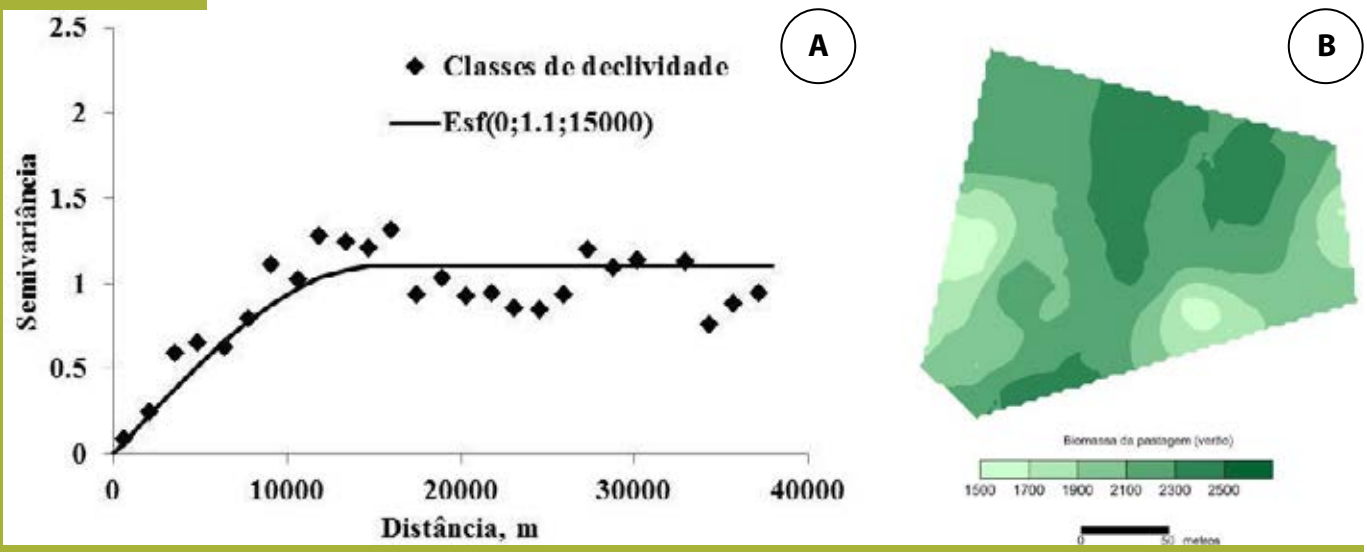


Figura 17. (A) Exemplo de semivariograma ajustado pelo modelo esférico para dados de classes de declividade; (B) mapa de isolinhas para biomassa seca da pastagem no período do verão em Nova Odessa/SP

Assim, considerando a existência de dependência espacial do atributo em análise, realiza-se a interpolação de valores nos locais/pontos que não dispõem de registro do respectivo sensor ou que não foram amostrados em campo. O método mais utilizado em agricultura de precisão é a krigagem ordinária (Inamasu & Benardi, 2014), que consiste em ponderar os vizinhos mais próximos do ponto a ser estimado, obedecendo aos critérios de não tendenciosidade e mínima variância.

Ao final, um mapa poderá ser construído em ambiente SIG de maneira a representar adequadamente a variabilidade espacial, como o mostrado na Figura 17(B), produzido a partir de dados de biomassa de pastagem após a identificação da variabilidade espacial por meio da geoestatística. Portanto, um talhão que muitas vezes é considerado uniforme pelo produtor e manejado uniformemente quanto à aplicação de insumos ou ao controle de pragas e plantas daninhas poderá receber aplicações em taxa variada de acordo com as diferenças espaciais identificadas.

Dessa forma, a utilização de tecnologias como a geoestatística fornece subsídios para auxiliar em decisões estratégicas e gerenciais, procurando sempre indicar um manejo localizado que traga sustentabilidade econômica e ambiental ao sistema produtivo.

5.2. Softwares para tratamento, geoprocessamento e mineração de dados

Para trabalhar com os novos sensores e as diferentes formas de captação de dados, são necessários mais que operadores e técnicos agrícolas de formação convencional. Além disso, com a reserva de mercado, *softwares* e sensores de empresas concorrentes não possuem compatibilidade (Landau *et al.*, 2014). Assim, a precisão das análises e dos mapas obtidos por meio de dados de sensores dependerá da habilidade dos especialistas em tratar e converter adequadamente dados de formatos diferenciados em linguagem simples, para que sejam acessíveis desde o produtor até o operador de campo (Rezende *et al.*, 2019). Trata-se aqui apenas de alguns tipos de dados e das formas de tratá-los.

As imagens obtidas tanto por meio de satélites quanto por meio de imageamento aéreo proximal necessitam processamento para que possam ser úteis ao produtor, auxiliando na tomada de decisão em AP. As imagens oriundas de câmeras a bordo de VANTs, cuja resolução espacial pode chegar a poucos centímetros, são originalmente capturadas em forma de imagens individuais que precisam ser unidas, formando uma imagem única da área de cultivo. Esse procedimento, chamado mosaico de imagens, bem como a retirada de erros originados durante a aquisição dos dados e a correção do posicionamento das imagens, são procedimentos normalmente realizados em solo, por meio de computadores ou servidores com alta capacidade, *softwares* específicos e mão de obra especializada.

Para a execução dessa atividade, existem diversos *softwares* disponíveis, gratuitos ou pagos; o principal software gratuito é o Open DroneMap (ODM) (Santos & Koenigkan, 2018) (http://www.opendronemap.org). O ODM possui diversos projetos em sua plataforma, sendo possível sua instalação em computador local ou em servidores para prover acesso às ferramentas de mosaicagem.

Em se tratando de *softwares* pagos, destacam-se as plataformas Pix4D (https://pix4d.com) e DroneDeploy (https://www.dronedeploy.com), que possuem diversos módulos, incluindo funcionalidades de planejamento de missão e voos e pós-processamento, em que é possível obter mapas de índices como, por exemplo, o NDVI, a partir das imagens mosaicadas, que são amplamente usados em AP. Assim como na plataforma WebODM, as ferramentas de pós-processamento do Pix4D e do DroneDeploy não precisam ser instaladas em computador local, pois são acessadas diretamente pela internet.

Imagens de satélite podem ser tratadas por *softwares* gratuitos como o GvSig ou o QGis. Um dos principais *softwares* gratuitos para aquisição e tratamento de imagens de satélite, usados pela Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa em projeto mantido por meio de uma parceria com o IMAmt, tem sido a plataforma Google *Earth Engine* (GEE) (https://earthengine.google.com). Por meio dela, o usuário pode acessar e processar imagens gratuitas com resolução espacial aceitável para a AP, como as oriundas dos satélites Landsat-8 ou 9 (30 m) e Sentinel-2 ou 3 (10 m), sem a necessidade de armazenar as imagens localmente. Entretanto, a utilização dessa plataforma exige certo conhecimento de programação por parte do usuário, pois as aplicações que realizam o geoprocessamento das imagens, como a geração de séries temporais e mapas de NDVI, são desenvolvidas a partir de *scripts* de linguagem própria da plataforma. Por outro lado, uma vez que o *script* é desenvolvido, ele pode ser compartilhado para outros usuários, sendo que os próprios scripts permitem a criação de interfaces amigáveis para uso. Por permitir o acesso via aplicativos, a plataforma GEE tem servido como base para diversas novas aplicações web voltadas ao geoprocessamento.

Para obtenção de bons mapas de produtividade, são necessários procedimentos de calibração das colhedoras, a fim de evitar erros na obtenção dos dados. Mesmo assim, devido ao grande volume de dados produzidos, é fundamental o uso de ferramentas de *software* capazes de eliminar erros que ainda possam existir nos mapas, ou até mesmo dados desnecessários para análise, como os coletados nas bordaduras dos talhões. Essas ferramentas devem ser empregadas para melhorar ainda mais a qualidade da informação. Nesse contexto, destacam-se dois *softwares* gratuitos para uso: Yield

Editor (Sudduth & Drummond, 2007), atualmente na versão 2.0.7, e MapFilter (Spekken *et al.* 2013), atualmente na versão 2.0. O MapFilter, inclusive, pode ser utilizado para a remoção de erros em mapas com alta densidade de pontos, mesmo quando não se tratam especificamente de mapas de produtividade, como é o caso dos mapas de condutividade elétrica do solo.

Outros dois *softwares* gratuitos merecem destaque por possibilitarem o tratamento eficiente tanto de imagens georreferenciadas quanto de dados vetoriais. O *software* R (https://www.r--project.org) disponibiliza uma série de bibliotecas gratuitas que permitem realizar diversos procedimentos com dados georreferenciados, tais como: leitura e gravação em diferentes formatos, limpeza dos dados e remoção de *outliers*, interpolação espacial, extração de padrões e modelos de classificação, índices de correlação, entre outros. No entanto, esse *software* exige conhecimento prévio de programação por parte dos usuários. Porém, aplicativos como o RStudio e RStudio Web (https://www.rstudio.com) podem facilitar bastante essas atividades. Outro *software* gratuito amplamente utilizado para esse fim é o Sistema de Informações Geográficas – o QGIS (https://www.qgis.org). Esta ferramenta é um SIG gratuito com diversas funcionalidades nativas de processamento de imagens e dados vetoriais, que podem ser potencializadas com a inclusão de uma gama de *plugins* gratuitos disponíveis para download, alguns deles específicos para a área de AP. Diferentemente do *software* R, apenas com conhecimentos básicos de geoprocessamento, o usuário já pode realizar diversas operações úteis no tratamento de dados pelo QGIS.

Além desses, nos últimos anos, tem-se observado o surgimento de diversas plataformas que possibilitam a integração de diversos tipos de dados para tratamento e suporte à tomada de decisão em AP. Uma delas é a plataforma AgDataBox (https://adb.md.utfpr.edu.br/), de uso gratuito, que permite aos produtores realizarem a gestão espacialmente diferenciada da sua propriedade. A ferramenta possibilita não só o cadastro de informações como limite de talhões, maquinários, safras, entre outros, mas também o uso de ferramentas como geoestatística e aprendizado de máquina para a geração de mapas de zona de manejo e recomendação de adubação. Outra ferramenta bastante útil são as plataformas gratuitas para planejamento e gerenciamento de voos, como o LitchiPilot, que permite a criação de planos de voo para diversos modelos de drones e possibilita uma maior interação do piloto com a área a ser imageada. O aplicativo pode ser utilizado em smartphones ou tablets diretamente no campo.

6. Considerações finais

Em determinado momento, a disseminação da AP valeu-se da promessa, ou da expectativa, de homogeneização das lavouras e da produtividade. Condições estas que, na realidade, não podem ser garantidas de forma permanente como resultado de apenas uma ou algumas intervenções de manejo sítio-específico. A variabilidade espacial é uma característica intrínseca aos ambientes de produção, e as diferenças de produtividade, normalmente, são condicionadas por interações entre múltiplos fatores, os quais não são estáticos. Pode-se afirmar que, a cada cultivo, mudam as condições, e ocorrem interferências diversas que podem alterar os padrões de variabilidade em um mesmo talhão ao longo do tempo.

Assim, dificilmente os padrões espaciais encontrados, por exemplo, para os atributos como a fertilidade química do solo em uma área, mantêm-se inalterados com o passar do tempo, independentemente do uso ou não de manejo sítio-específico (Figuras 18 e 19).

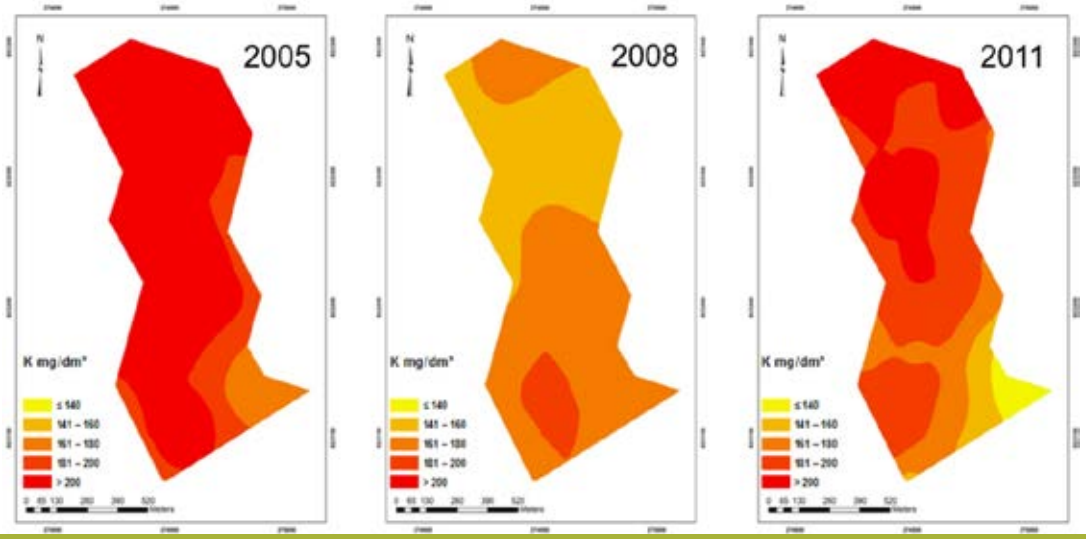


Figura 18. Diferentes padrões de variação da disponibilidade de potássio (K) no solo a partir de amostragens em malha de 2 ha, realizadas em 2005, 2008 e 2011, em lavoura de 119 ha, manejada com adubação a taxa uniforme (Fonte: Wilda, 2013)

Raramente se verifica uma alta correlação entre um fator de produção isolado, seja ele edáfico ou não, e a produtividade em áreas consolidadas de produção tecnificada. Essa constatação reforça a necessidade de se adotar uma abordagem transdisciplinar na aplicação da AP, visando aproveitar melhor seu potencial na busca de maior eficiência no gerenciamento da propriedade agrícola (Resende & Coelho, 2017).

Apesar dos obstáculos técnicos e operacionais a serem ainda superados, os benefícios potenciais da AP são muito relevantes e, com a evolução contínua das tecnologias disponibilizadas, diferentes abordagens constituirão alternativas para o agricultor aprimorar as rotinas na fazenda. Grande parte das ferramentas e das estratégias de obtenção e processamento de dados para tomada de decisão no gerenciamento da variabilidade ainda requer validação em condições de lavouras comerciais no Brasil. Por fim, é preciso considerar que a aplicação das tecnologias de AP pressupõe certo nível de capacitação técnica nas diversas etapas compreendidas – desde o planejamento de amostragens, o processamento de dados e a decisão de intervenções no manejo das lavouras, até a operação de equipamentos agrícolas com eletrônica embarcada e a a análise do desempenho técnico e econômico resultante.

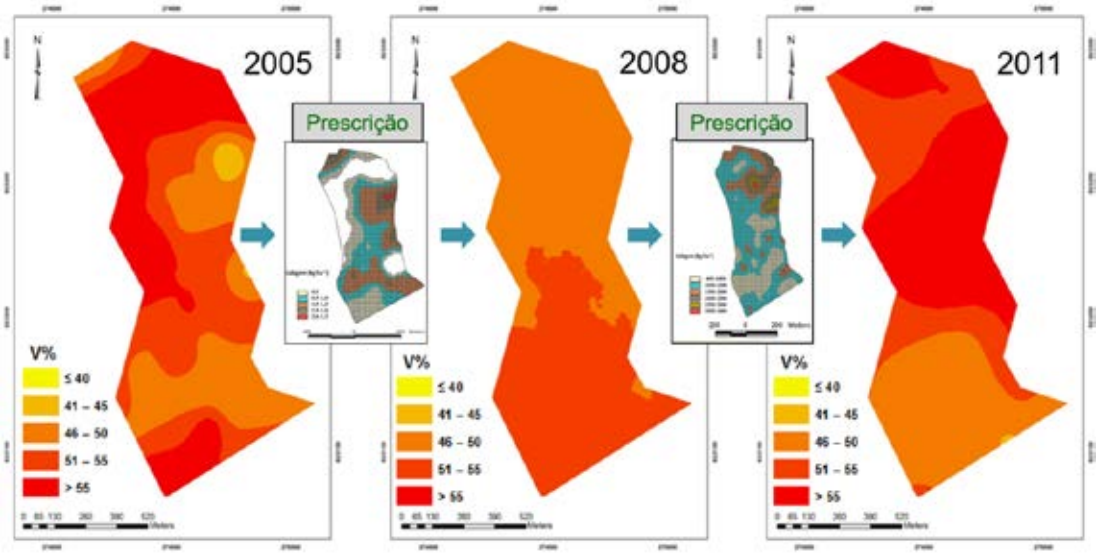


Figura 19. Variação da saturação por bases (V%) no solo a partir de amostragens em malha de 2 ha realizadas em 2005, 2008 e 2011, em lavoura de 119 ha, manejada com calagem a taxa variável; nota-se que, depois de seis anos, após dois ciclos de amostragem do solo e aplicação diferencial de calcário, ainda não se evidencia plena uniformização da área, havendo alternância da localização de zonas com maior acidez no talhão (Fonte: Wilda, 2013)

Muito mais do que a operacionalização de soluções pontuais, a tendência que vem se consolidando nas principais regiões produtoras do Brasil envolve a integração de aplicações da AP em várias frentes/especialidades, que, em seu conjunto, contribuem para decisões gerenciais mais bem embasadas e com maior confiabilidade de que se estão fazendo as coisas certas, nos momentos certos e nos locais e nas quantidades requeridas. Esse "fazer o melhor possível" passa a constituir o protocolo natural no dia a dia das fazendas e depende, necessariamente, de um processo dinâmico e sem fim de captura de dados para diagnóstico, processamento de informações, tomada de decisão, intervenção, monitoramento de desempenho, retroalimentação/*feedback* e, se preciso, reorientação do manejo das lavouras. A capacidade de registro, armazenamento e análise/interpretação de informações recentes e históricas das unidades produtivas certamente será um diferencial de competitividade entre agricultores em um futuro próximo.

Referências Bibliográficas

ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Vol. 44, (1): 71-91. 2004.

AMADO, T.J.C.; PES, L.Z.; LEMAINSKI, C.L.; SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v 33, n. 04, p. 831-843, 2009.

BARBIERI, D.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos a taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 28, n. 4, p. 645-653, 2008.

BAYABIL, H.S. **Variable Rate Irrigation Technology: A Step-by-Step Guide to Field Implementation**. Disponível em: https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AE609. Acesso em junho 14, 2025.

BRANDÃO, Ziany N.; RODRIGUES, H.M.; MEDEIROS, E.P.; SANA, R.S.; SHIRATSUCHI, L.S. Técnicas de agricultura de precisão e machine learning na estimativa de atributos físicos e químicos do solo. In: SILVA-MATOS, R.R.S.; DOIHARA,I.P.; LINHARES, S.C. (Org.) Izumy Pinheiro DOIHARA; Shafira Costa LINHARES. (Org.). **Medio ambiente: Agricultura, desarrollo y sustentabilidad 2**. 1ªed. Ponta Grossa, PR: Atena, v. 1, p. 55-64.2023.

BRANDÃO, Z.N.; ZONTA, J.H.; SHIRATSUCHI, L.S. Sensoriamento remoto na cultura do algodão. In.: **Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto**. Org. Tullio, L. Ed. Atena, Ponta Grossa, PR. p.209-224, 2018. 248p. Disponível em: http://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2018/10/E-book-Aplicações-e-Princípios-do-Sensoriamento-Remoto-1.pdf

BRANDÃO, Z.N.; INAMASU, R.Y.; RESENDE, A.V. Agricultura de precisão e cultivo algodoeiro. In: **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. BÉLOT, J. L. & VILELA, P. (Ed.). 3ª ed. Cuiabá, MT: IMAmt Ed. p-66-79.2017. 335p. Disponível em: http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/304/original/MANUAL_DE_BOAS_PRÁTICAS_46-83.pdf?1441844063. Acesso em: 12/07/19.

BRANDÃO, Z.N.; ZONTA, J.H.; FERREIRA, G.B. Agricultura de precisão na cultura do algodão. In: INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C. (Edts. Tec.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 295-305.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L. ; EITELWEIN, M.T.; MENEGOL, D.R.; DA ROS, C.O.; PIAZ, O.H.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 425-432, 2014.

CORA, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

ELBASI, E.; MOSTAFA, N.; ALARNAOUT, Z.; ZREIKAT, A I.; CINA, E.; VARGHESE, G.; SHDEFAT, A.; TOPCU, A.E.; ABDELBAKI, W.; MATHEW, S.; ZAKI C. Artificial Intelligence Technology in the Agricultural Sector: A Systematic Literature Review. **IEEE Access**, v.11, p. 171-202, 2023.

ELIJAH, O.; RAHMAN, T.A.; ORIKUMHI, I.; LEOW, C.Y.; HINDIA, M.N. An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. **IEEE Internet Things**, v.5, p.3758–3773, 2018.

FULTON, J.; McDONALD, T.; WOOD, C.W.; FASINA, O.; VIRK, S. Optimizing nutrient stewardship using broadcast fertilizer application methods. **Better Crops**; vol. 97, n°3, 15-17; 2013.

GeoPard_ Role of Precision Irrigation Methods in Modern Farming. Disponível em: https://geopard.tech/blog/role-of-precision-irrigation-methods-in-modern-farming/. Acesso em 13 de junho 2025.

GIMENEZ, L.M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica de amostragem em grade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.138, p.19-25, 2012.

GREGO, C.R., OLIVEIRA, R.P., VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à Agricultura de Precisão. In: INAMASU, R., BERNARDI, A.C.C. (Edts Tec.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. – Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 74-83.

HEDLEY, C.B.; YULE, I.K. Soil water status mapping and two variable-rate irrigations cenarios. **Precision Agriculture**. v.10, 342–355. 2009. https://doi.org/10.1007/s11119-009-9119-z.

INAMASU, R.Y., BERNARDI, A.C.C. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Alberto Carlos de Campos. BERNARDI *et al.* (Edts Tec.). – Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

ISLAND IRRIGATION. 2025. Disponível em: https://islandirrigation.com.au/the-technology/variable-rate-irrigation/

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, R.M. **An Introduction to applied geostatistics**, New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

IRRIGATION - Cotton Research and Development Corporation. Disponível em: https://www.crdc.com.au/sites/default/files/CRD18011%20Smarter%20Irrigation%20for%20Profit_FINAL%20Snapshot%20280618.pdf. Acesso em junho 13, 2025.

JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P.; SHAH, M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v.2, p. 1-12. 2019.

JORGE, L.A.C. Metodologia para utilização de aeromodelos em monitoramento aéreo: análise de imagens. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. (**Circular Técnica**).

JORGE, L.A. de C.; INAMASU, R.Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J. de; RESENDE, A.V. de; BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y. (Eds.). **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, p. 109-134, 2014. Disponível em: http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/publicacoes-da-rede-ap/agricultura-de-precisao-resultados-de-um-novo-olhar-1. Acesso em: 10/06/2022.

LOUHAICHI, M.; YOUNG, W.C.; JOHNSON, D.E. Reliability of Yield Mapping System for Estimating Perennial Ryegrass Seed Yield. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.7, p. 133-138. 2013.

MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 115-129.

McCARTHY, A.; FOLEY J.; RAEDTS, P.; HILLS, J. Field evaluation of automated site-specific irrigation for cotton and perennial rye grass using soil-water sensors and Model Predictive Control, **Agricultural Water Management**, v. 277. 2023. 108098.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de precisão**. (Eds). 1.ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015. 225p.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J.; CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p. 1266-1272, 2008.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MUROAKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 30: 839-847, 2006.

OLIVEIRA, R.P., GREGO, C.R.; BRANDÃO, Z.N. **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**, (Eds). Brasília, DF: Embrapa, 2015. 159 p.

O'SHAUGHNESSY, S.A.; EVETT, S.R.; ANDRADE, M.A.; WORKNEH, F.; PRICE, J.A.; RUSH, C.M. American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Transactions of the ASABE**, v.59, nº1, p. 239-249. 2016.

PETERS, R.T., FLURY, M. **Variable rate irrigation on center pivots. What is it? Should I invest?** Wester Alfalfa & Forage Symposium, University of California. 2017.Disponível em: alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2017/PDFfiles/Peters%20Troy.pdf.

PING, J.L.; DOBERMANN, A. Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 5, p. 1121-1131, 2003.

RESENDE, A.V.; SHIRATSUCHI, L.S.; SENA, M.C.; KRAHL, L.L.; OLIVEIRA, J.V.F.; CORREA, R.F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2006, São Pedro. **Anais**... Piracicaba: Esalq, 2006. 1 CD-ROM.

RESENDE, A.V.; COELHO, A.M. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. **International Plant Nutrition Institute Brazil, Informações Agronômicas**, Piracicaba: IPNI, n.159, p.1-8, 2017. Disponível em: www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/FF27D05E93476482852581BB000A91F0/$FILE/Page1-8-159.pdf.

RESENDE, A.V.; BRANDÃO, Z.N.; GREGO, C.R.; BORGHI, E.; WILDA, L.R.M. Manejo do solo sob o enfoque da agricultura de precisão. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I.C.; SOUZA, L.S. (Eds.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: SBCS, 2019. Cap.: XXXVIII, pp. 1219-1270.

RODRIGUES, H.; CEDDIA, M.B.; TASSINARI, W.; VASQUES, G.M.; BRANDÃO, Z.N.; MORAIS, J.P.S.; OLIVEIRA, R.P.; NEVES, M.L.; TAVARES, S.R.L. Remote and Proximal Sensors Data Fusion: Digital Twins in Irrigation Management Zoning. **Sensors** v.24, p. 1-22. 2024, 5742.

SANA, R.S. **Variabilidade espacial de atributos de solo e de planta e produtividade do algodoeiro utilizando ferramentas de agricultura de precisão**. 173f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, RS, 2013.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; DELLA FLORA, L.P.; SMANIOTTO, R.F.F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**. 109 ed. Passo Fundo, RS. jan./fev 2009.

SANTOS, T.T.; KOENIGKAN, L.V. **Produção de ortomapas com VANTs e OpenDroneMap**. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2018. 21 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Circular técnica, 05).

SHIRATSUCHI, L.S.; CARNEIRO, F.M.; FERREIRA, F.M.; LANZA, P.; RONTANI, F.A.; BRITO FILHO, A.L.; SEBEN Jr., G.F.; BRANDÃO, Z.N.; SILVA JUNIOR, C.A.; TEODORO, P.; DODLA, S. Using remote and proximal sensor data in precision agriculture applications. In: Craig Lobsey;Asim Biswas. (Org.). **Advances in sensor technology for sustainable crop production**. 1ed.Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2023, v. 1, p. 1-26

SHIRATSUCHI, L.S.; BRANDÃO, Z.N.; VICENTE, L.E.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J.R.; OLIVEIRA, R.P. de. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A.V. de; BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 4, p. 58-73. ISBN: 978-85-7035-352-8

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006. 214 p.

SOUZA, Z.M.; CERRI, D.G.P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L.H.A.; MAGALHÃES, P. S.G.; MANDONI, R.J.A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v.40, n.4, p.840-847. 2010. Disponível em: https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000048.

SPEKKEN, M.A.R.K.; ANSELMI, A.A.; MOLIN, J.P. A simple method for filtering spatial data. In: **Precision agriculture'13**. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2013. p. 259-266.

SPERANZA, E.A.; OLIM, G.E.S.; INAMASU, R.Y.; VAZ, C.M.P.; JORGE, L.A.C. Delineamento de zonas de manejo para o planejamento de experimentação on-farm na cultura do algodão. **Resumos**., Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2022; Campinas, SP, 09 a 11 de agosto de 2022.

SPERANZA, E.A.; NAIME, J. de M.; VAZ, C.M.P.; FRANCHINI, J.C.; INAMASU, R.Y.; LOPES, I. de O.N.; QUEIROS, L.R.; RABELLO, L.M.; JORGE, L.A. de C.; CHAGAS, S. das; SCHELP, M.X.; VECCHI, L. Delineating management zones with different yield potentials in soybean-corn and soybean-cotton production systems. **AgriEngineering**, v. 5, n. 3, p. 1481-1497. 2023.

SPERANZA, E.A.; VAZ, C.M.P.; FRANCHINI, J.C.; INAMASU, R.Y.; LOPES, I. de O.N.; RABELLO, L.M. Análise e sugestão de abordagem para filtragem de mapas de produtividade para a cultura do algodão. In: BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C. de C.; VAZ, C.M.P.; PIRES, J.L.F.; GEBLER, L.; JORGE, L.A. de C.; INAMASU, R.Y. (ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar na era digital**. São Carlos, SP: Cubo, cap. 37, p. 346-354. 2024.

STONE, K.; BILLMAN, E.D.; BAUER, P.J., SIGUA, G. Using NDVI for variable rate cotton irrigation prescriptions. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. V. 38. nº 5. p. 787-795. 2022.

SUDDUTH, K.A.; S.T. DRUMMOND. Yield editor: Software for removing errors from crop yield maps. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1471-1482. 2007.

TAYLOR, R.K.; FULTON, J.P. **Sensor-based variable rate application for cotton**. Oklahoma Cooperative Extension Service. Missouri, USA. 2010. Disponível em: http://www.agmachinery.okstate.edu/PrecisionAgTech/CottonApplicationOctober2010Share.pdf. Acesso em: 10/06/19.

USDA ARS - Agronomic outcomes of precision irrigation management technologies with varying complexity - USDA ARS. Acesso: 14 de junho de 2025. Disponível em:www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/40820/Thorp2022%20-%20agronomic%20outcomes%20precision%20irrigation.pdf

VELLIDIS, G.; BRANNEN H.S. Cotton Yield Maps: tools for increasing efficiency & profitability. In: **Map Yield Report**. University of Georgia and Cotton Incorporated. 2012. Disponível em: http://www.cottoninc.com/fiber/AgriculturalDisciplines/Engineering/Precision-Crop-Management-for-Cotton/Cotton-Yield-Maps/Cotton-Yield-Maps-PDF.pdf.Acesso em: 05-07-2019.

VERIS TECHNOLOGIES, USA. Disponível em: <http://www.veristech.com>. Acesso em: 02 de agosto de 2019.

VIEIRA, S.R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

WILDA, L.R.M. **Amostragem georreferenciada e aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes**: **dinâmica da fertilidade do solo em lavouras de grãos no cerrado**. Lavras: UFLA, 2013. 85p. (Dissertação, Mestrado em Ciência do Solo).

Leandro Zancanaro
Origens Parcerias Agrícolas Ltda

Lucas Souza Hunhoff
Origens Parcerias Agrícolas Ltda

Claudinei Kappes
NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica

CAPÍTULO 2.5

Levantamento da área, amostragem de solo e de folhas para diagnóstico e planejamento

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13, por Zancanaro e Kappes, e posteriormente atualizado na edição de 2014/15. Em 2025, o capítulo foi atualizado por Zancanaro, Hunhoff e Kappes.

1. Levantamento de dados

O levantamento detalhado de uma área com o objetivo de definir as aptidões e estratégias de uso para fins agrícolas consiste em conhecer o máximo de detalhes de cada campo. Para isso, é necessário:

- Percorrer todo o campo para avaliar e caracterizar o solo (classificação, textura, profundidade, coloração, umidade, presença de cascalho, etc.), topografia, posição na paisagem, vegetação, vigor dessa vegetação ou culturas implantadas.
- Resgatar o histórico de manejo desde a abertura da área, detalhando: ano de abertura, correções e adubações realizadas, equipamentos utilizados, profundidades das operações, uniformidade de aplicação e incorporação, fontes e doses de corretivos – toda informação que for importante registar.
- Em áreas cultivadas por vários anos, detalhar a sequência de culturas adotadas ao longo do tempo, com as respectivas produtividades nas safras anteriores. Havendo possibilidade, detalhar as variedades utilizadas, pois esta será uma excelente oportunidade a ser aproveitada.
- Verificar se houve aplicações recentes de corretivos e adubações. Essa ocorrência exige cuidado, pois pode haver alterações significativas nos resultados.
- Quando for realizar a amostragem, é importante considerar também a cultura antecessora.
  - Exemplo 1: a coleta de solo na pré ou pós-colheita do algodão pode subestimar os resultados quanto ao potássio no solo.
  - Exemplo 2: o mesmo pode ocorrer após a colheita de gramíneas com alta produção de matéria seca, como é o caso da cultura do milho, devido à sua alta taxa de absorção desse nutriente.
  - Para os demais nutrientes, é menos provável que existam essas interferências.
- Informações sobre a uniformidade de desenvolvimento das culturas dentro de cada campo, a existência de áreas regulares ou irregulares com desenvolvimento diferenciado das culturas devem ser mapeadas, buscando, junto à equipe da propriedade, informações complementares sobre as causas destas "manchas".
- No levantamento a campo, junto à equipe da fazenda, quanto ao histórico de cultivo de cada campo, deve-se registrar a ocorrência de nematoides, doenças radiculares, insetos de solo, condições físicas do solo, plantas invasoras, etc. O desempenho de uma lavoura não depende apenas das condições químicas do solo. Pode haver solos morfologicamente e quimicamente muito bons, porém com outras limitações.
- Atualmente, o meio agrícola dispõe de várias ferramentas

relacionadas ao estudo da variabilidade espacial (Figuras 1 e 2). Estas devem ser utilizadas obrigatoriamente em conjunto com o levantamento a campo. Entre as ferramentas mais comuns no estudo da variabilidade espacial, estão: mapeamento do solo a campo, imagens de satélite ou de drone quando o solo foi revolvido, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da lavoura a campo durante o ciclo das culturas, condutividade elétrica do solo, mapas de produtividade, mapas de rentabilidade etc. A análise conjunta de todas essas informações ao longo dos anos é muito valiosa. No entanto, é fundamental ir ao campo e fazer a avaliação de tudo o que pode contribuir ou prejudicar a produção agrícola, uma vez que nem tudo é explicado pela condição química do solo.

– É comum os levantamentos acusarem faixas regulares, principalmente no sentido das operações mecanizadas realizadas no passado, recente ou distante. Nesse caso, as faixas distintas precisam ser estudadas separadamente. É importante lembrar que, neste momento, o fundamental é o diagnóstico, não o operacional. Na amostragem ou no estudo diagnóstico, "misturar" situações diferentes descaracteriza todas elas.

No entanto, nas Figuras 1 e 2 fica evidenciada, no campo demonstrativo, a ocorrência, em determinados anos, de "figuras geométricas" oriundas de práticas de manejo cultural em períodos específicos – um exemplo claro de ação humana. Essa intervenção foi realizada devido ao desenvolvimento e à produtividade diferenciados nessa parte da área. Manejar diferente o que é diferente para obter resultados diferentes. As práticas culturais, na maioria das vezes, devem ser cíclicas, ou seja, não apresentam efeito permanente.

– Todas essas etapas são importantes para definir as zonas de manejo dentro de cada campo. De forma simples, as zonas de manejo são um método de identificação e gestão de ambientes dentro de um campo, onde se agrupam áreas com características semelhantes. A quantidade de zonas de manejo deve ser estabelecida conforme a variabilidade observada em campo, independentemente do tamanho. Mesmo áreas pequenas devem ser consideradas, desde que apresentem diferenças agronômicas relevantes, não devendo ser unificadas apenas por questões de dimensão.

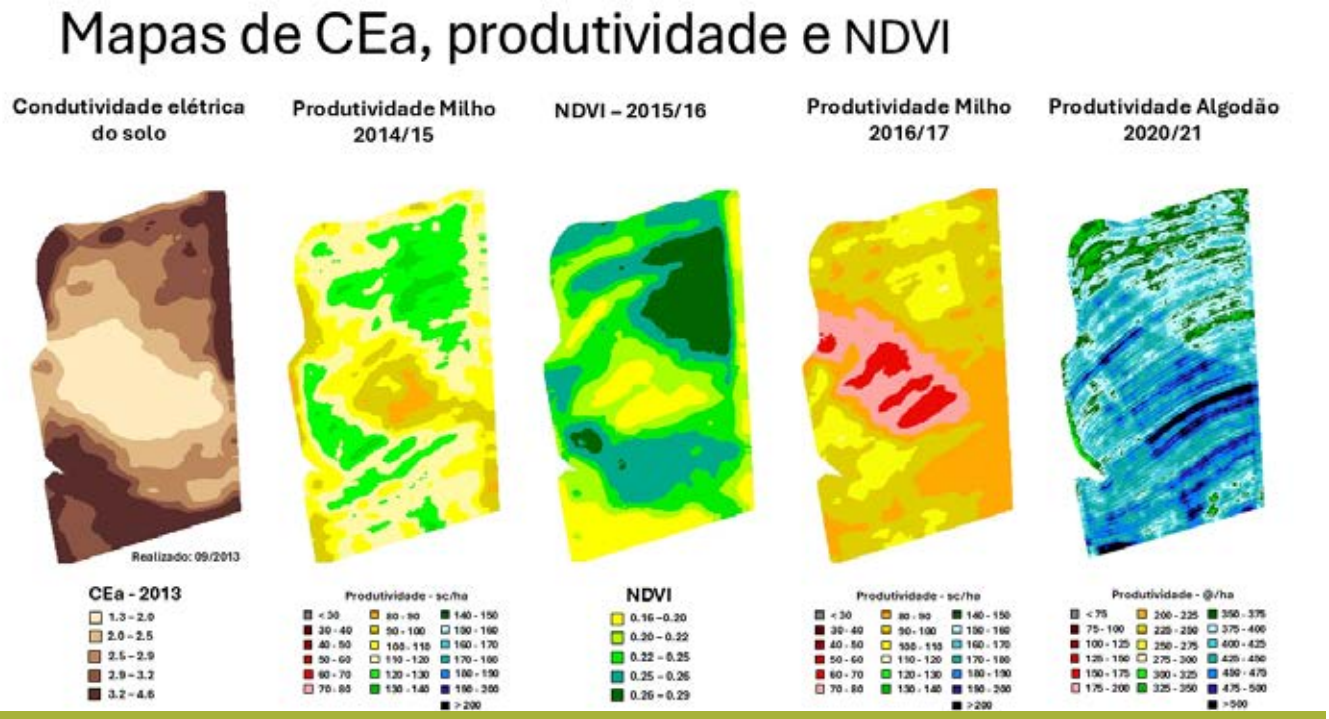


Figura 1. Estudo da variabilidade espacial de um campo comercial. Primavera do Leste. CEa: Condutividade Elétrica aparente. NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Fonte: Fundação MT)

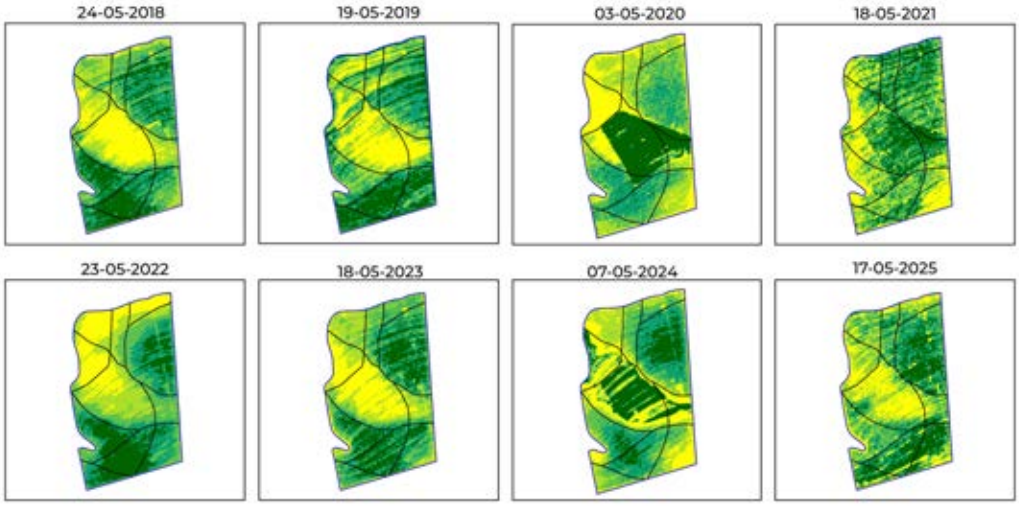


Figura 2. Variação dos índices de NDVI das culturas do milho (segunda safra após soja) e do algodão safra, durante os anos de cultivo no mesmo campo da Figura 1 (Fonte: Fundação MT)

– Para muitos profissionais, o mapa de produtividade associado ao mapa de rentabilidade é o que mais sensibiliza o produtor, ou melhor, o bolso do produtor. Daí a importância desses mapas, ainda mais considerando que as máquinas colhedoras mais recentes já apresentam essa possibilidade. Atualmente, o gargalo está na disponibilidade de pessoas preparadas para o uso correto dessa ferramenta. Investigar as variações de produtividade a campo é exercitar os conhecimentos da agronomia.
– O estudo conjunto de todas essas informações permite realizar um cruzamento de dados muito valioso, possibilitando um bom diagnóstico de cada zona de manejo.

2. Amostragem de solo para fins de recomendação de calagem e adubação

Após definir as zonas de manejo, é necessário elaborar o plano de amostragem como mostrado no exemplo da Figura 3. Ao longo do tempo, essas subdivisões podem ser mantidas ou ajustadas conforme a necessidade técnica.

A amostragem de solo deve ser realizada dentro de cada uma das zonas de manejo e também em cada uma das "manchas" ou "faixas" com o desenvolvimento diferenciado. Se, dentro de uma zona de manejo estabelecida, houver faixa ou mancha com o desenvolvimento distinto, é necessário coletar duas amostras: uma para a mancha ou faixa específica e outra para a zona de manejo. As amostras não devem ser misturadas, pois são condições diferentes.

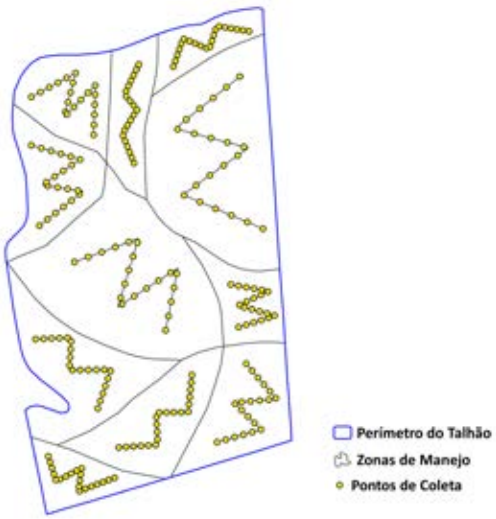


Figura 3. Amostragem de solo em cada zona de manejo estabelecida para o campo das Figuras 1 e 2

Definir a metodologia de amostragem

- A seguir, apresentam-se algumas considerações sobre as principais metodologias amostrais. No entanto, é necessário respeitar o princípio de que, independentemente do tamanho de cada zona de manejo ou de cada "faixa", "mancha" ou "célula" a ser amostrada, deve-se coletar um número mínimo de 20 amostras simples para compor uma amostra composta (Figura 3). Há estudos estatísticos que fundamentam esse número mínimo de amostras simples para compor uma amostra composta. Esse número de amostras simples é muito discutido, pois varia conforme o parâmetro a ser avaliado. Porém, como todos os parâmetros de uma análise de rotina são determinados a partir da mesma amostra, deve-se considerar como referência o parâmetro que exige o maior número de amostras simples.
- É fundamental utilizar equipamentos que realmente permitam coletar solo na profundidade desejada, de forma uniforme. Para obter uma amostra padrão em cada amostra simples, é essencial contar com pessoas preparadas e comprometidas na avaliação da qualidade da amostra. A condição de coleta varia conforme o solo e o nível de umidade. Além disso, cada equipamento de amostragem apresenta restrições quanto à qualidade da amostra em diferentes condições.
- Se alguma das amostras simples, antes de ser inserida no recipiente destinado à homogeneização para compor a amostra composta, apresentar sinais de contaminação por resíduos de calcário, fertilizantes, resíduos vegetais ou com algum erro no procedimento de coleta, essa amostra simples deve ser descartada, ou seja, não deve ser inserida no recipiente. Novamente, destaca-se a importância da(s) pessoa(s) designada(s) para realizar a coleta de solo.
- Existem diversas metodologias para a coleta de solo quanto à posição do ponto de coleta de cada amostra simples. Em áreas que não estão sob sistema de plantio direto consolidado, recomenda-se fazer a amostragem de solo na entrelinha da cultura anterior (Figura 4). Em solos com sistema de plantio direto consolidado, há metodologias específicas para essa condição. Nessa situação, quando a adubação de semeadura é realizada no sulco de plantio, a coleta de todas as amostras simples na entrelinha da última cultura não considera o residual da última adubação de semeadura, podendo subestimar os resultados. Quando a adubação não é realizada no sulco de semeadura, este efeito não acontece.
- Evitar todo e qualquer risco de contaminação das amostras coletadas devido à presença de resíduos de corretivos, fertilizantes, resíduos vegetais sobre a superfície e no interior do volume de solo.

Figura 4. Amostragem de solo na entrelinha da cultura antecessora (Fonte: Claudinei Kappes)

Amostragem nas zonas de manejo definidas

- Adotar um caminhamento em "zigue-zague" que percorra de forma representativa a área a ser amostrada (Figura 3), respeitando uma distância mínima da bordadura. Não coletar solo das manchas específicas presentes dentro de cada zona de manejo estabelecida. Se necessário, fazer amostragem específica para essas manchas.

Amostragem em Grid

- Esta metodologia de amostragem é amplamente utilizada, embora existam variações na forma de aplicação entre os profissionais que a adotam. Após o recebimento dos resultados analíticos das amostras de solo, na maioria das vezes, utiliza-se softwares específicos disponíveis no mercado para realizar as interpolações de todos os parâmetros avaliados e, em seguida, gerar os mapas de prescrição das recomendações.
- Nem todos os parâmetros avaliados em uma análise de solo apresentam dependência espacial. A adoção desta metodologia de trabalho exige conhecimento em geoestatística, tanto para avaliar quais os atributos podem ser trabalhados com interpolações, quanto para definir o tamanho adequado dos grids de coleta. A adoção arbitrária do tamanho dos grids possui limitações técnicas. Na maioria das vezes, em lavouras comerciais, a definição do tamanho dos grids para a coleta é feita considerando a capacidade operacional de execução e os custos envolvidos.
- Outra discussão a ser considerada refere-se ao número de amostras simples por amostra composta, que acaba sendo reduzido e insuficiente na maioria das vezes. Outra discussão e variação existentes entre os praticantes desta metodologia são a definição da distribuição dos pontos de coleta das amostras simples. Em lavouras comerciais, para muitos dos atributos químicos avaliados em uma análise de solo, a variabilidade a curta distância é maior que a variabilidade entre grids, seja de 1, 2, 3 ou 5 hectares. Este fato deve-se, principalmente, à variação na uniformidade das operações agrícolas quanto à correção do solo e à adubação realizada durante o histórico de cultivo dos campos. Assim, ressalta-se novamente a importância do número de amostras simples para compor uma amostra composta.
- De modo geral, a textura do solo apresenta dependência espacial com frequência elevada. Na maioria das vezes, grids de 5 hectares para textura permitem um ótimo detalhamento quanto à textura do solo. Havendo dependência espacial, o que é comum para a textura do solo, as interpolações com metodologias adequadas permitem estabelecer as subdivisões (zonas de manejo) dentro do campo em estudo. Dentro destas subdivisões, executa-se a amostragem de solo para a determinação dos atributos químicos do solo. Esta metodologia permite estabelecer estratégias de manejo da correção do solo e adubação para cada subdivisão estabelecida.
- Em solos tropicais, a textura do solo apresenta correlação elevada com a matéria orgânica do solo, por consequência com a CTC, e também com a dinâmica da água, do nitrogênio, do

fósforo, do potássio, da acidez do solo, do cálcio, do magnésio, do enxofre, do boro, do zinco e do cobre. O mapeamento da textura do solo é uma excelente ferramenta para ajudar na definição de sistema de produção e intensificação de cultivos em cada uma das zonas de manejo.

Importante: na natureza nada ocorre de forma regular ou geométrica. Se nos mapas apresentados ao produtor ocorrer isto, é obrigatório verificar e detalhar se há razões para isto. Este fato é um indicativo de que há limitações quanto às metodologias utilizadas quanto ao uso indiscriminado de amostragem por grids seguido de interpolações com softwares diversos de forma automatizada. As interpolações de poucos grids, muitas vezes de dimensões "grandes", estabelecidas sem critérios técnicos/científicos, são muito comuns no meio agrícola, apresentando limitações graves.

Profundidade de amostragem

- No Brasil, praticamente todos os estudos de calibração dos resultados das análises de solo de "rotina", para avaliação da condição química do solo para o cultivo agrícola, conduzidos pelas redes de pesquisa estaduais ou regionais, consideraram a profundidade de 0 a 20 cm. Deste modo, a interpretação dos resultados das análises deve-se levar em consideração os teores dos nutrientes determinados na profundidade dos estudos de calibração.
- A cultura do algodão é muito sensível à acidez do solo. Por este motivo, recomenda-se que a amostragem de solo seja realizada, no mínimo, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm.
- Em campos onde foi realizada calagem superficial e/ou adubação fosfatada superficial, é interessante fazer amostragem estratificada do solo nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, por exemplo, a fim de obter maior precisão no diagnóstico da fertilidade (Tabela 1). A coleta estratificada justifica-se pelo fato de que o calcário aplicado em superfície apresenta efeito lento em profundidade ao longo do tempo, e o fósforo aplicado em superfície permanece onde ele foi aplicado, devido à sua baixa mobilidade no solo.

Importante: antes das recomendações é necessário realizar o diagnóstico da área.

- É importante considerar que a estratificação em profundidade de determinados parâmetros químicos que constam na análise de solo de rotina para fins agrícolas é intrínseca a bons sistemas de plantio direto. Caso bem típico é a distribuição do fósforo em profundidade.
- No entanto, mesmo quando a amostragem for estratificada, na interpretação dos resultados e recomendação de corretivos e adubação, deve-se considerar a média dos resultados em conjunto de amostras até as profundidades de 0 a 20 cm (Tabela 1), por exemplo.

Tabela 1. Influência da definição da profundidade de amostragem em função do histórico de aplicação de calcário e fertilizante fosfatado em superfície nos resultados de análises de solo* (Fonte: Haroldo Hoogerheid, 2010)

Campo	Prof	$pHCaCl_2$	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V%
			mg dm^{-3}	$cmol_c$ dm^{-3}					
209	0-5	5,4	22	0,19	3,4	2,2	0	9,5	61
209	5-10	4,7	9	0,17	1,7	1,1	0,2	8,1	37
209	10-15	4,5	4	0,14	1,2	0,6	0,4	7,4	26
209	15-20	4,4	2	0,11	0,8	0,5	0,4	6,1	23
209	Média	4,8	9	0,15	1,8	1,1	0,3	7,8	37

Continua →

Tabela 1. Continuação

Campo	Prof	$pHCaCl_2$	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V%
			mg dm^{-3}	$cmol_c$ dm^{-3}					
209	0-10	5,2	23	0,17	2,7	1,5	0	8,2	64
209	10-20	4,4	4	0,13	0,9	0,5	0,4	6,4	24
209	Média	4,8	13	0,15	1,8	1	0,2	7,3	39
209	0-20	4,8	13	0,14	1,6	0,8	0	6,5	39

* Metodologias de análises: pH $CaCl_2$ (1:2,5 solo:0,01 mol L^{-1} $CaCl_2$); Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos por KCl 1 mol L^{-1}); P e K^+ extraídos por Mehlich^{-1}. Metodologias padrão estabelecidas pela Embrapa Solos, que coordena o controle de qualidade de laboratórios. Embrapa Solos, 2011.

Condicionamento da amostra e envio ao laboratório

- As amostras simples, que são aquelas coletadas em cada ponto de amostragem e que formarão a amostra composta, devem ser destorroadas e devidamente homogeneizadas.
- Em seguida, separar 400 gramas da amostra composta e colocar em saco plástico novo e devidamente identificado.
- As amostras devem ser enviadas o mais rápido possível ao laboratório selecionado. No entanto, se o envio das amostras ao laboratório exigir maior período de tempo, deve-se secar as amostras à sombra, livre de possíveis contaminações, para posterior envio ao laboratório.
- Enviar as amostras para um laboratório de sua confiança. É fundamental saber quais metodologias, de fato, os laboratórios utilizam. Isto é básico para as interpretações posteriores.

3. Amostragem de folhas

A diagnose foliar é uma ferramenta essencial para a avaliação do estado nutricional do algodoeiro e a disponibilidade de nutrientes no solo, sobretudo, para os micronutrientes. Além disso, ela revela a eficiência de uso dos fertilizantes aplicados.

Os teores de nutrientes presentes nas folhas são reflexos das condições de fertilidade do solo, diretamente afetados pelas condições químicas, físicas e biológicas do solo. Estas são influenciadas pelo sistema de produção adotado ao longo dos anos.

As condições meteorológicas ocorridas durante o ciclo da cultura podem ajudar a compreender os resultados.

A diagnose foliar deve ser usada em conjunto com a análise do solo e o histórico de uso da área, visando ajustes das estratégias de adubação e nutrição para as safras posteriores.

A recomendação é coletar pelo menos 30 folhas por zona de manejo, distribuídas em toda a zona de manejo a amostrar. Coletar a 4ª ou 5ª folha sem pecíolo da haste principal, contada a partir do ápice (a primeira folha é aquela com limbo com largura de 2,0 cm), no período de máximo florescimento, que no caso do algodoeiro corresponde ao período em que se observa a abertura da primeira flor entre o quarto e o sexto ramo frutífero, característica descrita por Marur e Ruano (2001) para os estádios F4 e F6. Esta folha é a mais adequada para avaliar o estado nutricional da cultura, porque

está recém-madura, completamente expandida e fisiologicamente ativa.

Ao realizar a coleta, deve-se ter cuidado para não coletar folhas com idade inferior ou superior ao que é recomendado, pois poderá alterar as concentrações dos nutrientes. Seguir as metologias oficiais é obrigatória, pois toda coleta de material para fins de interpretação, precisa seguir a metodologia selecionada e calibrada pelos trabalhos de pesquisa. Se não há uma devida calibração para uma metodologia de análise, o valor número não tem como ser interpretado.

Há situações a campo em que há diferenças quanto ao crescimento das plantas ou plantas com sintomas específicos. A amostragem de folha para comparar as plantas com crescimento diferente, ou plantas com sintomas versus plantas sem sintomas, é indicada. Nestes casos, para poder fazer comparações corretas, faz-se necessário padronizar qual folha coletar.

Outros cuidados importantes quanto a amostragem de folhas:

- Não coletar amostras na bordadura dos talhões, onde há grandes possibilidades de contaminação com poeira.
- Não coletar amostras de folhas em campos que receberam aplicação foliar recente, sobretudo, de fertilizantes fluidos.

As amostras coletadas devem ser enviadas imediatamente ao laboratório. Se isto não for possível, é necessário desidratar as amostras à sombra. As amostras devem ser acondicionadas em sacos de papel novos e que não tenham impressão gráfica.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: leandrozancanaro@origens.agr.br

Iêda de Carvalho Mendes
Embrapa Cerrados

Guilherme Montandon Chaer
Embrapa Agrobiologia

Fábio Bueno dos Reis Junior
Embrapa Cerrados

Ozanival Dario Dantas
Embrapa Cerrados

Maria Inês Lopes de Oliveira
Embrapa Cerrados

Juaci Vitoria Malaquias
Embrapa Cerrados

CAPÍTULO 2.6

Tecnologia de bioanálise de solo (BioAS): uma forma simples e eficiente para avaliar a saúde dos solos sob cultivo de algodão

Capítulo publicado na edição de 2025.

Após 21 anos de estudo, em uma iniciativa pioneira no mundo, foi lançada no dia 23 de julho de 2020 a tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), visando agregar o componente biológico às análises de rotina de solos. A BioAS tem como base a análise da atividade das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente. Por estarem relacionadas ao potencial produtivo e à sustentabilidade do uso do solo, elas funcionam como bioindicadores, possibilitando a avaliação da saúde dos solos. As pesquisas desenvolvidas pela Embrapa permitiram estabelecer valores de referência para essas enzimas em diferentes tipos de solo, de modo a se avaliar o estado do funcionamento biológico do solo. Valores elevados de atividade enzimática indicam sistemas de produção e/ou práticas de manejo do solo adequadas e sustentáveis. Ao contrário, valores baixos servem de alerta ao agricultor para uma reavaliação do sistema de produção visando a adoção de boas práticas de manejo.

A grande vantagem da BioAS é que as enzimas são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos, antecipando alterações na saúde do solo em função do uso e manejo. Assim, a BioAS pode auxiliar nas tomadas de decisão relacionadas aos sistemas de manejo adotados nas propriedades agrícolas. No seu estágio atual, a tecnologia está formatada para áreas sob cultivos anuais no bioma Cerrado e na Região Sul do Brasil.

Por inaugurar uma forma mais abrangente de interpretação da saúde dos solos, indo além das questões de deficiência ou excesso de nutrientes, o lançamento da BioAS foi um sucesso e tem tido uma grande repercussão no agronegócio brasileiro. Considerada a mais nova aliada para a sustentabilidade da agricultura brasileira, a BioAS é uma iniciativa inovadora que credencia o Brasil como embaixador mundial da saúde do solo.

Neste capítulo são explicadas as bases do desenvolvimento da BioAS e como ela pode ser utilizada para acessar a "memória" dos solos e avaliar sua saúde. São abordados aspectos como a importância da manutenção de solos saudáveis para a sustentabilidade agrícola, os principais tipos de laudos da BioAS e sua utilização como suporte para a tomada de decisão de manejo nas áreas agrícolas.

1. Entendendo a saúde do solo: por que olhar só para a análise química não basta

Até julho de 2020, quando um agricultor enviava uma amostra de solo para análise em laboratório, ele podia acessar informação apenas sobre seus aspectos químicos (componentes de acidez, macro e micronutrientes) e alguns aspectos físicos (em grande parte, determinações dos teores de argila, silte e areia). Havia, porém, uma grande lacuna nessas análises: a ausência do componente biológico. E a biologia é a base da saúde do solo. Quanto mais biologia, mais saudável o solo. Quanto menos biologia, mais doente ou adoecido ele é.

Um solo saudável é um solo biologicamente ativo, produtivo, capaz de armazenar água, sequestrar carbono (C) e promover a degradação de pesticidas, entre outros importantes serviços ambientais. O conceito de qualidade do solo inovou ao destacar a importância do seu funcionamento não apenas para a produção biológica (grãos, carne, madeira, agroenergia, fibras etc.), mas também para o funcionamento global dos ecossistemas. Aspectos relacionados à saúde humana, vegetal e animal (solos saudáveis, ambientes saudáveis), bem como à qualidade do ar e da água (emissão de gases de efeito estufa, sequestro de carbono, armazenamento e filtragem de água etc.) deixam claro que a qualidade do solo vai muito além da produção de grãos, carne, madeira, agroenergia e fibras. Por isso, é possível ter um solo doente ou em processo de adoecimento, mas cujas elevadas produtividades estejam relacionadas a entradas massivas de adubos e pesticidas – uma condição que não é sustentável em longo prazo.

Embora sejam importantes para a produtividade das lavouras, os componentes de acidez e os teores de macro e micronutrientes não são suficientes para avaliar a saúde dos solos. No Brasil, práticas como o **Plantio Direto (SPD)** e a **Integração Lavoura-Pecuária (ILP)** representam um marco fundamental para a construção de um solo biologicamente mais ativo e saudável. A presença das braquiárias e de outras plantas de cobertura nos sistemas agrícolas tropicais contribuiu significativamente para aumentar a atividade biológica e melhorar a saúde do solo. A expansão e a adoção por longos períodos de sistemas de manejo conservacionistas, como o SPD e a ILP, também permitiram verificar que os aumentos de produtividade das culturas ou a manutenção da produção frente a situações ambientais adversas, muitas vezes, não eram explicados pelos resultados das análises químicas de solos (Drinkwater & Snapp, 2007; Nicolodi *et al.*, 2008; Mendes *et al.*, 2017, 2020). Essa constatação de que solos quimicamente semelhantes podiam apresentar desempenhos diferenciados demonstrou a necessidade da inclusão de parâmetros relacionados ao funcionamento biológico do solo (bioindicadores) nas análises de rotina.

Lançada em julho de 2020, a BioAS é uma tecnologia lançada pela Embrapa que agrega o componente biológico às análises químicas tradicionais de rotina de solos (pH, H+Al, P, Ca, K, Mg etc.) (Figura 1). Ela consiste na análise das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente, preenchendo a lacuna deixada pela ausência do componente biológico nas análises do solo. Com a BioAS, o agricultor brasileiro pode monitorar a saúde de seu solo, sabendo exatamente o que avaliar, por que avaliar, como avaliar, quando avaliar e, principalmente, como interpretar o que foi avaliado (Mendes *et al.*, 2019a).

Figura 1. A Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), que consiste na agregação de dois indicadores relacionados ao funcionamento da maquinaria biológica do solo (enzimas arilsulfatase e β-glicosidase) às análises de rotina, preencheu a lacuna deixada pela ausência do componente biológico nas análises de solo. (Cap. ret H2O – capacidade de retenção de água no solo) (Fonte: Fabiano Bastos)

O solo é o grande trabalhador das nossas lavouras. O uso de sistemas de manejo que degradam o solo leva à sua perda de qualidade ou "adoecimento". A tecnologia BioAS permite ao agricultor saber se o sistema de manejo adotado na propriedade agrícola está promovendo ou não o incremento na qualidade do solo ou, em outras palavras, promovendo a saúde ou favorecendo o adoecimento do solo onde ele cultiva suas lavouras.

Neste capítulo, vamos discutir como a BioAS pode ser utilizada para acessar a "memória" e avaliar a saúde dos solos. Aspectos relacionados à importância da manutenção de solos saudáveis para a sustentabilidade agrícola, aos principais tipos de laudos da BioAS e à sua utilização como suporte para tomadas de decisão de manejo nas áreas agrícolas também serão abordados.

2. Como acessar a memória do solo e avaliar sua saúde

Nos agroecossistemas, diferentemente dos cultivos e das populações de animais, que se sucedem ano após ano, o solo é o único componente que permanece. Sendo assim, é ele que guarda a memória dos sistemas de manejo utilizados em um determinado local (Figura 2). Os diferentes sistemas de manejo deixam "impressões digitais" distintas no solo, como operações de revolvimento mecânico ou a qualidade, quantidade e frequência com que os resíduos vegetais são aportados ao solo. Saber acessar essa "memória" do solo era um problema complexo que demandava uma solução simples.

A capacidade que o solo tem de guardar em sua "memória" o tipo de manejo ao qual ele foi submetido está intimamente relacionada à sua parte viva, ao seu componente biológico. Assim, ao longo de duas décadas de estudos, além dos aspectos relacionados à saúde do solo, verificou-se que essa capacidade do solo de armazenar informações sobre o tipo de manejo ao qual ele foi submetido podia ser acessada por meio da determinação das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase (Mendes *et al.*, 2018; 2019 a e b; 2021; 2024).

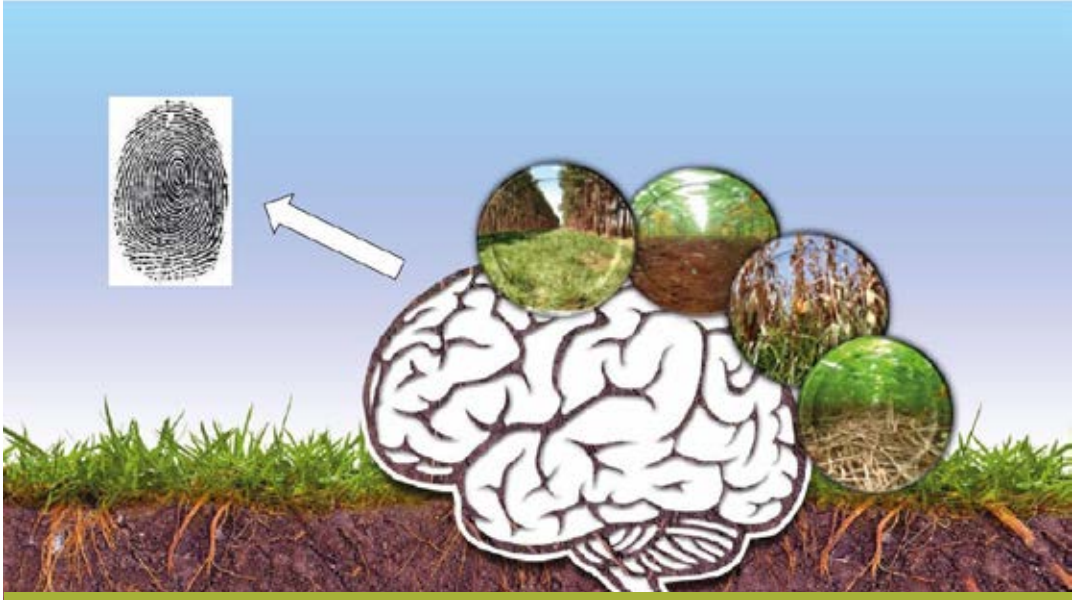


Figura 2. Os sistemas de manejo deixam suas marcas na "memória" do solo (Fonte: Fabiano Bastos)

A atividade enzimática representa o total de enzimas que estão ativas no solo, vindas de: i) organismos vivos que estão atuando naquele momento (fungos, bactérias, raízes, minhocas); ii) resquícios de organismos que já passaram pelo solo, cujas enzimas ficaram ali armazenadas (Figura 3). Parte dessas enzimas pode continuar presente no solo mesmo após a morte desses organismos, porque se ligam a partículas de argila e matéria orgânica, ficando protegidas por muito tempo. Por isso, o solo consegue guardar informações do seu histórico de uso — como se fosse um arquivo biológico.

Esse aspecto é importante porque, ao contrário de outras propriedades do solo, como o teor de matéria orgânica ou mudanças na estrutura física, que podem levar anos para responder ao manejo, a atividade enzimática, por estar associada ao componente biológico, reage mais rapidamente às práticas adotadas. Assim, ela pode antecipar sinais de melhora ou degradação na saúde do solo, atuando como verdadeiros ecosensores e radares biológicos.

Por exemplo, um aumento consistente na atividade enzimática é um bom sinal de que o solo está se recuperando biologicamente. Com o tempo, isso pode indicar que há tendência de aumento da matéria orgânica e de melhoria da estrutura física e da capacidade do solo de armazenar água e nutrientes.

Em outras palavras, a atividade enzimática/biológica é o primeiro degrau da escada que leva à melhoria da saúde do solo (Figura 4).

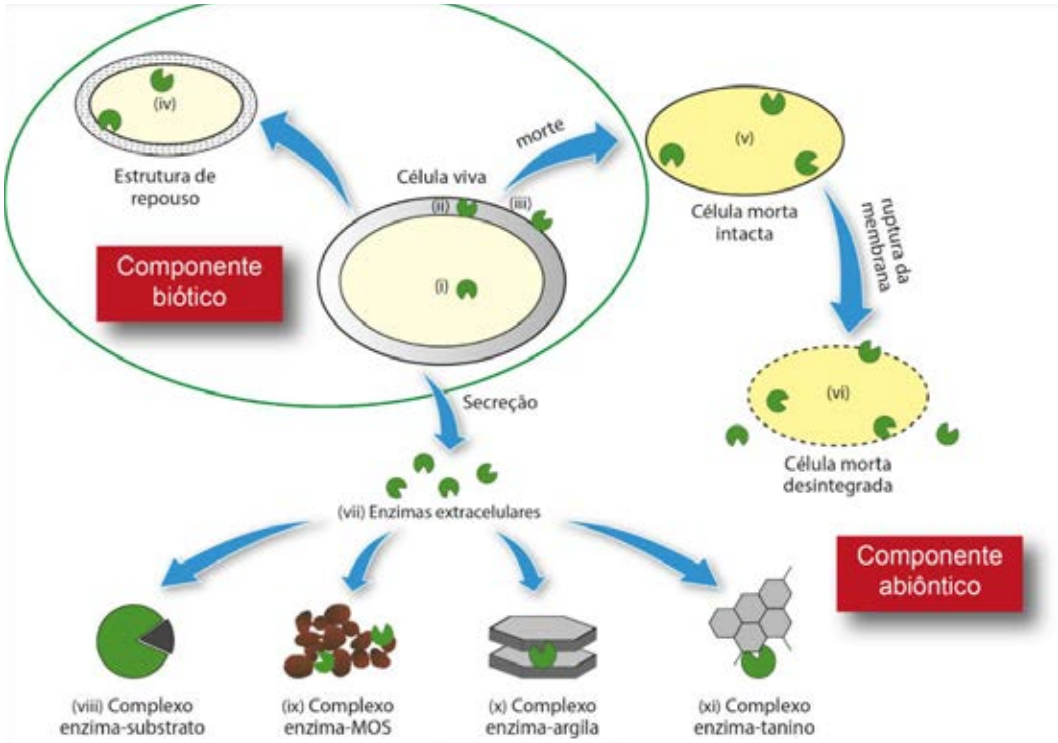


Figura 3. Esquema ilustrativo da localização das enzimas nos compartimentos do solo (Fonte: Adaptado de Wallenstein & Burns, 2011)

Figura 4. Fluxograma demonstrando que, em função de melhorias no sistema de manejo, o aumento na atividade biológica é o primeiro degrau na escalada da melhoria de um solo (Fonte: Adaptado de Hatfield, 2017)

Um exemplo emblemático de como o histórico de uso do solo expressa a sua saúde atual é o do experimento de rotação de culturas na soja (RCS), conduzido desde 2008 pela Fundação MT, na estação experimental Cachoeira (Itiquira, MT). Nesse experimento, são avaliados oito sistemas de cultivo/produção incluindo o monocultivo, a sucessão e a rotação de culturas (Mendes *et al.*, 2017, 2020). Na Figura 5, é possível visualizar as diferenças entre os tratamentos, com base na cobertura do solo pelos resíduos vegetais, no oitavo cultivo de soja.

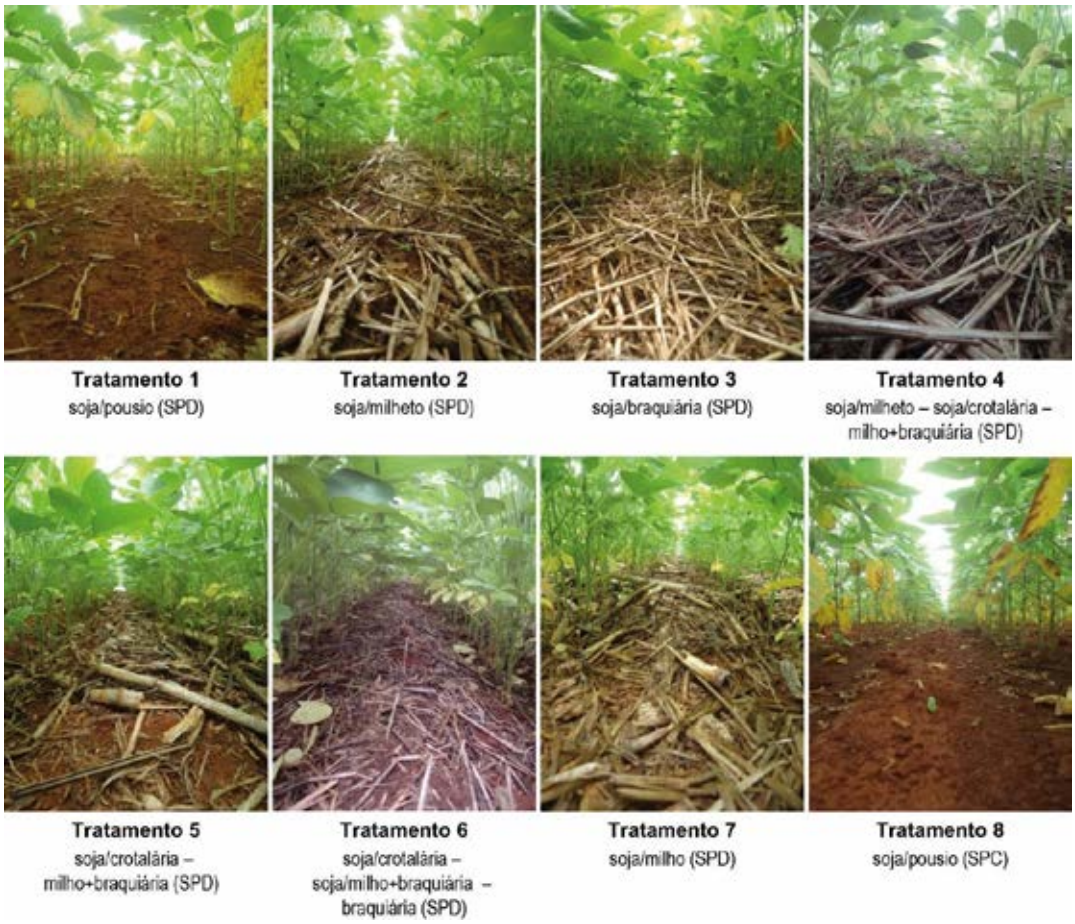


Figura 5. Aspecto visual da cobertura do solo nos tratamentos do experimento de rotação de culturas na soja, em Itiquira, MT (SPD – Sistema de Plantio Direto; SPC – Sistema de Preparo Convencional) (Fonte: Fabio Ono/Fundação MT; Safra 2015/2016)

Até a safra 2013/2014, as diferenças na produtividade da soja dentre os vários tratamentos aplicados não foram muito acentuadas. A produtividade média do monocultivo de soja sob sistema de preparo convencional foi de 61 sc/ha e não diferiu significativamente dos demais tratamentos (Mendes *et al.*, 2017). No entanto, no sétimo ciclo de cultivo (2014/2015), com o uso de uma cultivar superprecoce (TMG 7262 RR, cujo ciclo foi de 98 dias), a ocorrência de um veranico em janeiro de 2015 possibilitou evidenciar, pela primeira vez, o início do declínio dos tratamentos com monocultivo de soja. Na Figura 6, ilustra-se o aspecto geral da soja no tratamento 1 (soja/pousio) e no tratamento 3, em que a cultura é inserida em um esquema de sucessão com a braquiária (*Urochloa ruziziensis*), durante o veranico de janeiro de 2015. No tratamento com soja/pousio, a produtividade de grãos foi de 29 sc/ha, enquanto no tratamento soja/braquiária a produtividade de grãos foi de 59 sc/ha,

ou seja, uma diferença de 30 sc/ha entre os dois tratamentos. Apesar da diferença significativa na produtividade de grãos, as características químicas dos solos (0 cm a 10 cm) desses tratamentos foram semelhantes (Tabela 1). A única exceção foi a MOS, cujo teor no tratamento com braquiária foi 50% maior do que no tratamento soja/pousio. A semelhança entre as características químicas do solo nos dois tratamentos mostra a insuficiência do conceito mineralista para explicar resultados como esses (baseados apenas nos teores absolutos dos nutrientes no solo) (Nicolodi *et al.*, 2008). Áreas com teores semelhantes de nutrientes, mas com produtividades de grãos distintas, evidenciam que existem outras variáveis relevantes que estão influenciando os níveis de produção.

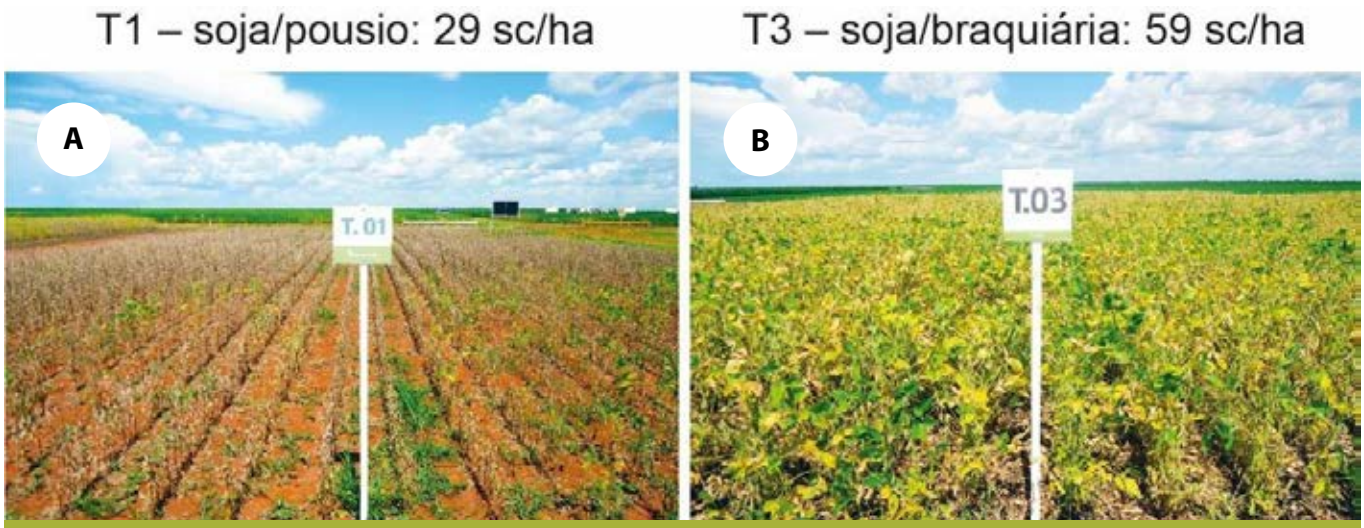


Figura 6. Aspecto visual do desenvolvimento da soja (cv. TMG 7262 RR) no veranico da safra 2014/2015, após sete safras consecutivas de monocultivo (A) e em sucessão com braquiária (B) sob SPD, em Itiquira, MT (Fonte: Fabio Ono/ Fundação MT)

Tabela 1. Propriedades químicas do solo, na camada de 0 cm a 10 cm, nos tratamentos com soja/pousio e soja/ braquiária do experimento de rotação de culturas na soja (RCS), conduzido pela Fundação MT, em Itiquira, MT (safra 2015/2016)

Tratamento	MOS	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K
	g/kg	H_2O	$cmol_c/dm^3$				mg/dm^3	
Soja/pousio	28,2	6,3	0,0	3,0	3,8	2,2	15	131
Soja/braquiária	42,3	6,4	0,0	2,5	4,4	3,1	16	151

MOS – matéria orgânica do solo (Walkley & Black); H+Al (acetato de cálcio a pH 7,0); Ca, Mg e Al (KCl 1 mol/L); P e K (Mehlich-1).

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de atividade enzimática determinados na safra 2015/2016, para os dois tratamentos mencionados anteriormente (soja/pousio e soja/braquiária, ambos em SPD). As amostras de solo foram coletadas na fase de florescimento da soja (dezembro de 2015) e analisadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF. Em relação ao tratamento com monocultivo de soja em PD, o tratamento soja/braquiária incrementou em 4 e 8 vezes as atividades da β-glicosidase e da arilsulfatase, respectivamente. Portanto, embora as duas áreas apresentassem características químicas semelhantes, os resultados de atividade enzimática mostraram que o componente biológico era completamente distinto. O solo biologicamente mais ativo, decorrente da inserção da braquiária no sistema de produção, foi também o mais produtivo. No caso em questão, a estabilidade produtiva do sistema

de sucessão de culturas foi mantida pela presença da braquiária, a qual gera diversos benefícios ao solo, tanto pelo aporte de palhada (que protege o solo e ajuda a manter a umidade) quanto pelos seus efeitos na melhoria da estrutura do solo. Já no tratamento sob monocultivo, houve visível perda de vigor da soja. Dessa forma, o solo do sistema em sucessão com braquiária foi mais estável e resiliente, ou seja, suportou melhor uma situação de estresse quando comparado ao solo com o monocultivo.

Tabela 2. Níveis de atividade da β-glicosidase e da arilsulfatase na camada de 0 cm a 10 cm, nos tratamentos com soja/pousio e soja/braquiária sob SPD, do experimento de rotação de culturas na soja (RCS), conduzido pela Fundação MT, em Itiquira, MT (safra 2015/2016)

Atributo microbiológico[1]	Soja/pousioa	Soja/braquiária	Diferença
β-glicosidase	64	233	4 vezes
Arilsulfatase	28	223	8 vezes

[1] Valores de atividade de β-glicosidase e arilsulfatase expressos em mg p-nitrofenol kg-1 solo h^{-1}.

Conforme ilustrado na Figura 4, esses resultados demonstram que, na escalada da melhoria de um solo, os atributos microbiológicos são os primeiros a serem impactados. Mais atividade biológica significa, com o passar do tempo, mais MOS e, consequentemente, maior estruturação e agregação do solo, o que resulta em melhor infiltração e retenção de água. Portanto, é possível que, após oito safras consecutivas, o cultivo de braquiária tenha proporcionado tais melhorias no solo, diminuindo os severos efeitos causados pelo veranico na safra de 2014/2015. A maior retenção de água aumentou a resiliência do solo sob braquiária que, em uma situação de adversidade, teve um desempenho superior ao do tratamento apenas com soja.

O comportamento diferenciado das plantas de soja nos tratamentos sob monocultivo e em sucessão à braquiária também reforça a importância da agrobiodiversidade para a saúde do solo. A melhor forma de transformar o solo em uma biofábrica biologicamente ativa e produtiva é ofertar "alimentos" diversificados e em quantidade adequada às comunidades microbianas que nele residem. Os benefícios da boa alimentação, em quantidade adequada e com diversidade de alimentos, para a saúde e a qualidade de vida das pessoas, são bastante conhecidos. Como as plantas são as principais fontes de alimentos (resíduos e exsudatos radiculares) para as comunidades microbianas, esse mesmo raciocínio pode ser aplicado à saúde e à qualidade do solo.

Considerando que esse experimento foi iniciado na safra 2008/2009, a bioanálise do solo realizada em 2015 evidenciou a sensibilidade dos bioindicadores arilsulfatase e β-glicosidase para detectar mudanças nos sistemas de manejo, com diferenças bem mais acentuadas que as observadas nos teores de MOS. Entretanto, mais do que isso, esses resultados demonstram claramente a capacidade da atividade enzimática de acessar a memória do solo, evidenciando aspectos de saúde do solo que passavam despercebidos nas análises químicas de rotina.

3. Por que é importante avaliar a saúde dos solos?

Todo solo saudável é produtivo, mas nem todo solo produtivo é saudável. Conforme já mencionado no início deste capítulo, isso ocorre porque o conceito de saúde do solo vai além da produção de grãos, carne, energia e fibras. Além de produtivo, um solo saudável

é um solo biologicamente ativo, capaz de infiltrar e armazenar água, sequestrar carbono, ciclar nutrientes e promover a degradação de pesticidas, entre vários outros serviços.

No exemplo da Fundação MT, pode-se verificar que, antes do veranico da safra 2013/2014, os níveis de produtividade dos tratamentos soja/pousio e soja/braquiária eram semelhantes. As diferenças entre os dois tratamentos só se manifestaram após o veranico. Ou seja, boas produtividades não constituem garantia de solos saudáveis. O solo no tratamento soja/pousio apresentava problemas "assintomáticos" de saúde que só se tornaram evidentes com a ocorrência do veranico.

Outro aspecto importante é que níveis adequados de acidez e fertilidade do solo não constituem garantia de solos saudáveis. Novamente, o exemplo do experimento da Fundação MT mostra isso de forma clara. Embora os tratamentos soja/pousio e soja/braquiária fossem quimicamente semelhantes e excelentes, o comportamento de ambos diante do veranico da safra 2013/2014 foi completamente distinto e demonstrou que a produtividade da soja, naquele ano, correlacionou-se com a biologia e não com a química do solo.

Em resumo, avaliar a saúde do solo é importante porque nos ajuda a entender como ele realmente está funcionando. Não basta saber que há nutrientes suficientes ou que o pH está corrigido. Um solo saudável precisa estar biologicamente ativo, bem estruturado e em equilíbrio. É isso que permite que ele suportar melhor períodos de estresse, como a falta de chuva, e continuar produzindo bem, ano após ano. Cuidar da saúde do solo é investir na base de uma agricultura mais segura, eficiente e duradoura.

4. Tecnologia Embrapa BioAS: uma solução simples para um problema complexo

A tecnologia BioAS, lançada em julho de 2020, foi desenvolvida para auxiliar o agricultor a realizar o diagnóstico da saúde do solo. A BioAS consiste na análise e na interpretação das atividades das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase, permitindo acessar o funcionamento da maquinaria biológica do solo, de forma complementar às análises tradicionais de fertilidade. A BioAS também contempla o cálculo do desempenho de três funções essenciais do solo relacionadas aos nutrientes, que consistem na (1) função ciclar; (2) função armazenar e (3) função suprir. A função ciclar nutrientes é a base para o cálculo do $IQS_{BIOLÓGICO}$ (Índice de Qualidade Biológica do Solo), enquanto as outras duas são utilizadas no cálculo do $IQS_{QUÍMICO}$ (Índice de Qualidade Química do Solo). Por sua vez, esses dois índices são aplicados no cálculo do $IQS_{FERTBIO}$ (Índice de Qualidade do Solo "FertBio"), que expressa a qualidade química e biológica do solo em um único índice.

A BioAS permite que o agricultor monitore a saúde de seu solo, sabendo exatamente o que avaliar (enzimas arilsulfatase e β-glicosidase), como avaliar (solo coletado na profundidade de 0–10 cm), quando avaliar (após a colheita das lavouras) e como interpretar o que foi avaliado (com base em valores de referência que indicam, para cada tipo de solo, se o nível de atividade enzimática está baixo, médio ou adequado). Em seu estágio atual, a tecnologia BioAS está formatada para atender áreas sob cultivos anuais de grãos no Cerrado e no Sul do Brasil.

BOX Etapas para realização da BioAS, da amostragem de solo à interpretação dos resultados.

Como avaliar?	Coletar o solo na profundidade de 0 a 10 cm, seguindo os mesmos princípios da amostragem de solo tradicional para química.
Quando avaliar?	Após a colheita das lavouras (preferencialmente após o milho safrinha).
Para onde encaminhar as amostras?	Laboratório da Rede Embrapa BioAS que estará habilitado a realizar as análises de beta-glicosidase e de arilsulfatase.
Como interpretar as análises?	O laboratório encaminha os resultados das análises para uma plataforma web na Embrapa, que gera o laudo final contendo os valores de atividade enzimática interpretados e índices de qualidade do solo referentes a cada amostra. Em seu estágio atual, a tecnologia BioAS está formatada para atender áreas sob cultivos anuais de grãos no Cerrado e Sul do Brasil.

O uso da BioAS em escala comercial, a partir de julho de 2020 (https://youtu.be/IBJYc30aFas), é uma inovação pioneira no mundo, alinhada ao objetivo de viabilizar tecnologias que promovam a sustentabilidade das atividades agrícolas em equilíbrio com o meio ambiente. Para isso, a Embrapa está capacitando uma rede de laboratórios comerciais de análise de solo (Rede Embrapa de BioAS) para a realização das análises das

enzimas arilsulfatase e β-glicosidase. Atualmente, a Rede BioAS conta com 33 laboratórios habilitados. Os resultados das análises são encaminhados à Embrapa para interpretação, com base em algoritmos desenvolvidos para diferentes tipos de solo. O laudo gerado é então repassado ao laboratório, que o encaminha ao seu cliente.

A utilização de duas enzimas como bioindicadores do funcionamento da maquinaria biológica do solo deve-se ao fato de que nem sempre as alterações nas propriedades químicas, em particular os teores de MOS, são capazes de identificar as modificações que ocorrem no solo, por exemplo, em função da adoção de sistemas de manejo conservacionistas como o SPD, a ILP e a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Conforme evidenciado nos dados do experimento de RCS da Fundação MT, muitas vezes áreas com características químicas semelhantes possuem características biológicas completamente distintas (Mendes *et al.*, 2018, 2019a).

4.1. Como interpretar os bioindicadores da saúde do solo?

Para tornar possível a aplicação prática da BioAS, não bastava apenas selecionar os bioindicadores mais adequados — também era necessário definir como interpretar seus valores. Ao contrário dos indicadores químicos de fertilidade do solo (como fósforo, potássio e cálcio), cujos níveis de suficiência já estão bem estabelecidos para diferentes tipos de solo, textura e teores de matéria orgânica, os bioindicadores ainda careciam de faixas de interpretação claras.

Até pouco tempo atrás, os resultados das análises biológicas do solo só faziam sentido se houvesse um controle ou um valor de referência para comparação. Isso dificultava a tomada de decisão no campo, especialmente em áreas onde não havia histórico anterior.

Para superar essa limitação, foi desenvolvida, pelo nosso grupo de pesquisa, uma estratégia de interpretação individual dos bioindicadores, inspirada nos princípios dos ensaios de calibração usados para nutrientes do solo (Lopes *et al.*, 2013, 2018; Mendes *et al.*, 2019b). Essa abordagem foi baseada nas relações entre os bioindicadores e o rendimento relativo acumulado (RRA) de grãos de soja e milho, além dos teores de matéria orgânica do solo (MOS).

Os estudos mostraram que todos os atributos microbiológicos avaliados apresentaram correlação positiva com o RRA e com a MOS. Ou seja, quanto maior a atividade biológica, maior a produtividade relativa e maior o acúmulo de matéria orgânica.

Com base nessa relação, foi possível usar análises de regressão para estabelecer faixas de suficiência para os bioindicadores, especialmente para as enzimas analisadas. Assim, os valores de atividade enzimática passaram a ser classificados da seguinte forma: i) Baixo: quando o valor está associado a ≤ 40% do RRA; ii) Moderado: entre 41% e 80% do RRA; iii) Adequado: quando corresponde a > 80% do RRA.

Essa proposta representou um avanço importante para o uso prático da biologia do solo no diagnóstico da saúde do solo, ao permitir que agricultores e técnicos interpretem resultados biológicos com mais segurança e os associem diretamente à produtividade e à melhoria da saúde do solo ao longo do tempo.

A inclusão do componente biológico nas análises de solo, por meio da tecnologia BioAS, representa um avanço importante na forma de diagnosticar a saúde dos solos nas propriedades agrícolas. Diferentemente das análises químicas tradicionais, que se concentram nos níveis de nutrientes disponíveis, a BioAS oferece uma visão mais ampla do funcionamento do solo, incluindo a atividade biológica e sua capacidade de sustentar os processos naturais.

Assim como as tabelas usadas para interpretar os teores de nutrientes fornecem faixas de suficiência para apoiar decisões agronômicas, os algoritmos de interpretação da BioAS foram desenvolvidos com o mesmo propósito. Eles ajudam agricultores e técnicos a compreenderem a eficácia do sistema de produção utilizado e o impacto do manejo sobre a saúde do solo. Por exemplo, um resultado "baixo" para a atividade de enzimas do solo pode indicar que o manejo atual está prejudicando a vida do solo. Por outro lado, valores considerados "adequados" apontam que o solo está funcionando bem, do ponto de vista biológico.

Os limites estabelecidos para cada enzima devem ser entendidos como metas desejáveis, ou patamares mínimos, que o solo precisa alcançar para manter seu funcionamento equilibrado. Nesse sentido, a BioAS também se torna uma ferramenta de alerta, pois pode ajudar o agricultor a perceber quando o manejo adotado está comprometendo a saúde do solo — e, ao mesmo tempo, estimular mudanças em direção a práticas mais conservacionistas. Esse alerta é reforçado quando se observa, na prática, que a negligência com a parte viva do solo resulta, cedo ou tarde, em perdas de produtividade.

Por outro lado, a BioAS também funciona como um incentivo aos produtores que já adotam boas práticas, como o plantio direto, a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura. Isso porque, mesmo que o teor de matéria orgânica do solo leve mais tempo para aumentar (especialmente em solos argilosos tropicais), os bioindicadores respondem mais rapidamente, mostrando que o caminho está correto.

Para facilitar o uso da BioAS na prática, foi desenvolvido o conceito de amostra de solo "Fertbio", que unifica o processo de coleta e preparo de amostras tanto para análise química (FERT) quanto biológica (BIO). Esse conceito permitiu padronizar a época de coleta (pós-colheita), assim como os procedimentos de secagem e peneiramento, tornando mais simples o envio das amostras ao laboratório e reduzindo custos operacionais. A adoção desse modelo tem sido vantajosa tanto para os agricultores quanto para os laboratórios.

No entanto, é importante destacar que, embora a época e o preparo da amostra possam ser unificados, a profundidade de coleta precisa ser diferenciada. Para as análises químicas, a amostragem é geralmente feita entre 0–20 cm, podendo ser estratificada em 0–10 cm e 10–20 cm. Já para a BioAS, a camada correta é de 0–10 cm, pois é justamente nessa faixa que ocorre maior influência das raízes e da matéria orgânica depositada na superfície, especialmente em áreas de plantio direto ou com preparo mínimo do solo.

A adoção da profundidade de 0–10 cm como camada diagnóstica garante maior sensibilidade aos bioindicadores, evitando que os efeitos do manejo sobre a saúde do solo sejam mascarados ou diluídos quando se coleta em profundidades maiores. Assim, a BioAS oferece ao produtor uma ferramenta prática e confiável para acompanhar o funcionamento biológico do solo e orientar decisões com base em ciência.

4.2. Vantagens da utilização dos bioindicadores arilsulfatase e β-glicosidase

Em todos os experimentos e fazendas avaliados, as enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, em conjunto ou separadamente, foram os indicadores que consistentemente apresentaram maior sensibilidade para detectar alterações no solo em função do sistema de manejo (Mendes *et al.*, 2019a). Essas duas enzimas possuem uma estreita relação com a MOS, parâmetro base da qualidade de um solo, e com rendimento de grãos, parâmetro que reflete o aspecto econômico das lavouras, que é fundamental para a sustentabilidade do negócio agrícola (Lopes *et al.*, 2013, 2018; Mendes *et al.*, 2019a).

Outras características que tornam vantajosa a utilização da arilsulfatase e da β-glicosidase são: precisão, coerência, sensibilidade, simplicidade de determinação analítica e reprodutibilidade. Além disso, as duas enzimas estão relacionadas à ciclagem da MOS, não são influenciadas pela aplicação de adubos e calcário e se adequam ao conceito Fertbio de amostragem de solo (Mendes *et al.*, 2019b). Essas enzimas também são correlacionadas com vários outros atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal, fosfatase ácida, celulase, desidrogenase, etc.), o que permitiu a seleção de apenas dois indicadores para expressar o funcionamento da máquina biológica dos solos.

Conforme ilustrado na Figura 3, a atividade enzimática total de um solo é o somatório da

atividade enzimática dos organismos vivos (plantas, microrganismos e animais) e das enzimas abióticas. Isso confere às determinações das atividades das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase mais outras duas vantagens importantes: (1) elas são parâmetros integradores relacionados a todos os componentes biológicos do solo (plantas, animais e microrganismos); (2) por não estarem associadas somente ao componente vivo, podendo ser adsorvidas em partículas de argila e na matéria orgânica, funcionam como impressões digitais dos sistemas de manejo aos quais o solo foi submetido, permitindo, dessa forma, acessar o que, ilustrativamente, define-se como "memória" do solo (Mendes *et al.*, 2019a).

Em termos de adoção em rotina nos laboratórios comerciais, as determinações de atividade enzimática podem ser facilmente implementadas, pois baseiam-se em procedimentos analíticos simples e praticamente dispensam investimentos na compra de novos equipamentos (requerem incubadores com temperatura controlada e espectrofotômetros na faixa do visível, equipamentos comumente já encontrados nesses locais).

4.3. Laudo da BioAS: uma visão do solo que vai além do excesso/falta de nutrientes

O laudo tradicional de uma análise de química de solo e o laudo da BioAS são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. As linhas representam diferentes talhões da propriedade agrícola. No laudo da BioAS, nas colunas, são apresentados, da esquerda para a direita: os valores dos níveis de atividade enzimática e da MOS; os três índices de qualidade de solo (IQS): $IQS_{FERTBIO}$, $IQS_{BIOLÓGICO}$ e $IQS_{QUÍMICO}$; e os escores das três funções: F1: Ciclar, F2: Armazenar e F3: Suprir nutrientes. No laudo da BioAS, os valores de atividade enzimática, a matéria orgânica, os índices e os escores das funções são representados em um padrão cromático "semafórico", em que verde-escuro ou verde-claro significam valores adequados; amarelo, valores intermediários; e laranja ou vermelho, valores baixos (Tabela 5).

A comparação do laudo da BioAS com o laudo atual das análises de solo, apresentada nas Tabelas 5 e 6, demonstra que, com a BioAS, é possível obter uma forma mais abrangente de relacionamento com nossos solos, indo muito além das questões de deficiência ou excesso de nutrientes.

Tabela 3. Laudo tradicional de análise de química de solo de vários talhões de uma fazenda no MT

Análise de química de solo											
Amostra	pH (H_2O)	Al	Ca	H+Al	Mg	CTC	SB	P Mehlich1)	K	V%	Arg.%
		me/100cc						mg/l			
1001 LV01	5,5	0,05	3,1	5,3	1,3	10	5	17	96	46	67
1002 09	5,6	0,01	7,7	2,6	4,0	15	12	39	114	82	70
1003 02/19 BC	5,1	0,08	2,8	5,6	0,9	9	4	14	55	40	52
1004 12	5,7	0,03	6,6	5,2	1,8	14	9	27	75	62	71
1005 20	6,2	0,02	5,9	4,0	0,9	11	7	10	92	64	52
LV 101	5,6	0,01	5,5	5,3	1,1	12	7	35	36	56	73
LV 102	5,7	0,02	4,0	5,1	1,1	10	5	18	54	51	71
LV 103	6,1	0,01	3,7	3,9	2,2	10	6	13	39	60	66
LV 104	5,5	0,02	2,1	3,5	0,6	6	3	22	35	44	41
LV 105	5,9	0,02	5,3	4,1	0,8	10	6	17	61	60	69

P: fósforo disponível (Mehlich1); SB: soma de bases; V: saturação de bases; Arg: teor de argila

Tabela 4. Laudo da BioAS da fazenda apresentada na Tabela 3 gerado pela plataforma Módulo de Interpretação da Qualidade do Solo, MIQS

Laudo da BioAS									
Amostra	ARIL	BETA	MOS	IQS Fertbio	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAR Nutriente	Armazenar nutriente	Suprir nutriente
1001 LV01	161	165	34	0,73	0,70	0,75	0,70	0,59	0,91
1002 09	219	151	45	0,72	0,71	0,72	0,71	0,61	0,83
1003 02 19 BC	78	96	32	0,82	0,61	0,93	0,61	0,88	0,97
1004 12	319	196	44	0,89	0,83	0,92	0,83	0,86	0,99
1005 20	71	60	34	0,79	0,51	0,93	0,51	0,88	0,98
LV 101	68	87	39	0,67	0,36	0,82	0,36	0,70	0,94
LV 102	73	94	35	0,63	0,39	0,76	0,39	0,58	0,93
LV 103	77	69	33	0,64	0,40	0,76	0,40	0,58	0,95
LV 104	23	45	19	0,54	0,42	0,61	0,42	0,35	0,86
LV 105	56	72	33	0,62	0,34	0,76	0,34	0,58	0.95

Tabela 5. Escala de qualidade cromática usada para classificar os índices apresentados no laudo da BioAS

Classe	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Faixa	0 a 0,20	0,21 a 0,40	0,41 a 0,60	0,61 a 0,80	0,81 a 1,00

Uma inovação importante atrelada ao uso da BioAS é o cálculo de índices para avaliar a qualidade dos solos (IQS), conforme apresentado na Figura 7. O $IQS_{FERTBIO}$ é calculado com base nas determinações dos atributos de fertilidade química (pH, H+Al, Ca, K, P, Mg e MOS) e nas enzimas arilsulfatase e β-glicosidase. O $IQS_{FERTBIO}$ pode ser decomposto em dois subíndices: o índice de qualidade química do solo ($IQS_{QUÍMICO}$) e o índice de qualidade biológica do solo ($IQS_{BIOLÓGICO}$). A subdivisão do $IQS_{FERTBIO}$ nesses dois subíndices representa um grande avanço, pois vários estudos têm evidenciado que áreas com $IQS_{QUÍMICO}$ alto/muito alto não necessariamente possuem $IQS_{BIOLÓGICO}$ satisfatório.

Os cálculos dos IQS da tecnologia BioAS ($IQS_{FERTBIO,}$ $IQS_{QUÍMICO}$ e $IQS_{BIOLÓGICO}$) baseiam-se no conceito proposto por Karlen & Stott (1994), que leva em consideração a capacidade do solo de funcionar para prestar importantes serviços ambientais. Na BioAS, com base nas determinações de atividade enzimática e nas propriedades químicas, são avaliadas três funções relacionadas à capacidade do solo de promover a nutrição das plantas: (F1) a capacidade do solo de ciclar nutrientes; (F2) a capacidade do solo de armazenar nutrientes; e (F3) a capacidade do solo de suprir nutrientes (Mendes *et al.*, 2021). Assim como os IQS, os escores dessas funções também variam de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximos de 1, melhor o desempenho da função (índices das funções F1, F2 e F3). Semelhante à estratégia utilizada para interpretar os valores de atividade enzimática, todos os IQS e os escores das três funções são calibrados em relação ao rendimento de grãos e à MOS (Mendes *et al.*, 2021).

A F1 objetiva estimar o desempenho da atividade biológica e dos processos derivados dela, direta ou indiretamente, como a ciclagem de nutrientes

e a formação e decomposição da MOS. A F2 objetiva quantificar o "reservatório" de nutrientes do solo, o qual está principalmente relacionado à textura, à qualidade das argilas e ao conteúdo e à qualidade da MOS. A F3 avalia a qualidade do conteúdo do "reservatório" de nutrientes do solo, envolvendo tanto aspectos relacionados à acidez do solo quanto à capacidade do solo de disponibilizar os principais macronutrientes (Figura 7). O desempenho dessas três funções é mensurado pelos indicadores obtidos nas análises químicas e biológicas do solo, os quais são individualmente interpretados por meio de algoritmos definidos conforme a textura do solo.

Conforme já mencionado, para disponibilizar a BioAS aos produtores brasileiros, a Embrapa tem atuado na capacitação de laboratórios comerciais de análises de solo (Rede Embrapa de BioAS). Os laboratórios comerciais interagem com a Embrapa por meio da plataforma web denominada Módulo de Interpretação da Qualidade do Solo (MIQS), desenvolvida pela Embrapa Cerrados e pela Embrapa Agrobiologia. Além de interpretar os resultados das análises enzimáticas e dos teores de MOS, com base nas propriedades químicas e biológicas, a plataforma MIQS calcula os índices de qualidade de solo (IQS) e os escores das funções ciclar, armazenar e suprir nutrientes.

Conforme apresentado na Tabela 6, com base na pontuação das funções F1 (Ciclagem) e F2 (Armazenamento), são definidas cinco condições de saúde do solo:

- Solo saudável (alta atividade enzimática e altos teores de matéria orgânica): sinal de que o manejo está no caminho certo;
- Solo adoecendo (baixa atividade enzimática e altos teores de matéria orgânica): alerta de que o componente biológico está comprometido, exigindo

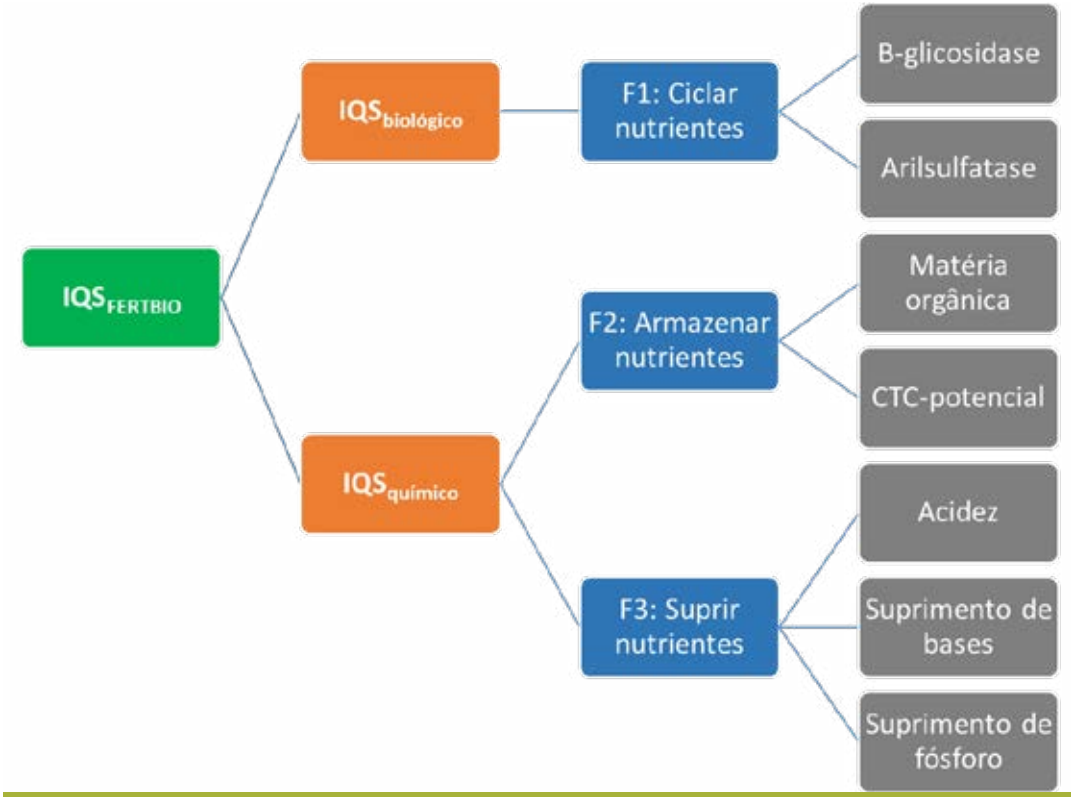


Figura 7. Representação esquemática do modelo utilizado para o cálculo do $IQS_{FERTBIO}$, $IQS_{BIOLÓGICO}$ e $IQS_{QUÍMICO}$

medidas rápidas para evitar perdas de matéria orgânica;
- Solo intermediário: Pontuação média (0,41 - 0,60) nas funções ciclagem e armazenamento;
- Solo doente (baixa atividade enzimática e baixos teores de matéria orgânica): diagnóstico de que as práticas de manejo estão inadequadas e que mudanças urgentes são necessárias;
- Solo em recuperação (alta atividade enzimática e baixos teores de matéria orgânica): sinal de que as práticas adotadas estão surtindo efeito e devem ser mantidas para promover a recuperação da saúde do solo.

Tabela 6. Representação esquemática dos cinco principais tipos de laudos da tecnologia BioAS Embrapa

Tipos de laudos	Enzimas (Ciclagem)	Mat. Orgânica (Armazenamento)
1- Solo saudável	Alta	Alta
2- Solo adoecendo	Baixa	Alta
3- Solo intermediário	Médio	Médio
4 - Solo doente	Baixa	Baixa
5- Solo em recuperação	Alta	Baixa

O grande mérito do BioAS é traduzir o conhecimento técnico em informações úteis e aplicáveis no dia a dia do agricultor, contribuindo para a tomada de decisões sobre as práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes. Considerando a capacidade das enzimas de funcionar como bioindicadores capazes de antecipar mudanças no solo em função do tipo de manejo, a utilização da BioAS abre uma nova perspectiva para a utilização das análises de solo como suporte para tomadas de decisão de manejo nas áreas agrícolas.

Um ponto importante a destacar nas interpretações da BioAS é que os escores da função F3 — que representa a capacidade do solo de suprir nutrientes — não são considerados na avaliação do estado geral de saúde do solo. Isso porque a F3 está diretamente ligada ao manejo de adubação e calagem, enquanto as funções F1 (ciclagem biológica) e F2 (estrutura e porosidade) são fortemente influenciadas por práticas de manejo mais amplas, como o sistema de plantio, a cobertura vegetal e a rotação de culturas.

Diferente das funções F1 e F2, que dependem do histórico de uso e das interações entre plantas, raízes e organismos do solo, a F3 pode ser rapidamente alterada por ações pontuais, como a aplicação de calcário ou fertilizantes. Por isso, seus valores são independentes dos demais escores.

Na prática, isso significa que corrigir a acidez e aplicar adubo em um solo doente não o torna saudável. Como verificado no experimento RCS da Fundação MT, um solo pode apresentar alta fertilidade química (F3 elevada) e, ao mesmo tempo, estar biologicamente empobrecido e com estrutura degradada — o que se reflete em baixos escores de F1 e F2. O oposto também pode acontecer: um solo

naturalmente ácido e pobre em nutrientes, como ocorre em áreas sob vegetação nativa, pode ter alta atividade biológica e boa estrutura, características típicas de um solo funcional e saudável.

Esse é justamente um dos grandes diferenciais da BioAS: ela permite distinguir solos que, do ponto de vista químico, parecem semelhantes, mas que biologicamente são muito diferentes. Essa diferenciação é fundamental para decisões mais precisas sobre o manejo, permitindo intervenções específicas que levem à melhoria real da saúde e do funcionamento do solo ao longo do tempo.

4.4. BioAS na prática: análise de laudos de propriedades agrícolas do Cerrado

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 são apresentados exemplos de quatro tipos de laudos de propriedades agrícolas da região do Cerrado. Em todas as fazendas, os solos eram do tipo Latossolo Vermelho distrófico argiloso típico, com teores de argila variando de 48 a 60%. Todas as fazendas apresentavam teores adequados de macronutrientes, além de pontuarem nas classes altas ou muito altas na função de suprimento de nutrientes da BioAS.

Tabela 7. Exemplo de um laudo de BioAS, com padrão estável, indicando que o solo está saudável, conforme mostrado pela predominância de tons verdes nas colunas das funções "Ciclagem" e "Armazenamento". Dados obtidos pelos laboratórios da Rede Embrapa de BioAS

AMOSTRA	ARIL	BETA	MOS	ARGILA	IQS FERTRIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes
108043_Th. 2 4 - 01 0-10	156	202	40	56	**0,90**	0,88	0,91	0,88	0,93	0,89
108044_Th. 2 4 02 0 10	159	174	40	51	**0,92**	0,91	0,93	0,91	0,97	0,89
108045 Th. 05 - 01 0-10	187	233	45	51	**0,94**	0,97	0,93	0,97	0,98	0,88
108046_Th. 06 - 01 0-10	191	191	42	51	**0,93**	0,94	0,93	0,94	0,97	0,89
108047_Th. 06 - 02 0-10	204	201	48	48,5	**0,95**	0,97	0,94	0,97	0,99	0,89
108048_Th. 08 - 01 0-10	197	213	45	51	**0,94**	0,96	0,93	0,96	0,98	0,89
108049_Th. 08 - 02 0-10	211	219	47	53,5	**0,94**	0,96	0,94	0,96	0,98	0,89
108050_Th. 9 12 - 01 0-10	184	215	43	48,5	**0,95**	0,97	0,94	0,97	0,98	0,89
108051_Th. 13 c po de rocha - 01 0-10	205	180	45	53,5	**0,92**	0,92	0,92	0,92	0,96	0,88
108052_Th. 13 c po de rocha - 02 0-10	201	160	47	51	**0,92**	0,91	0,93	0,91	0,98	0,88
108053_Th. 14 01 0 10	189	167	43	56	**0,90**	0,87	0,91	0,87	0,94	0,89
108054 Th. 14 - 02 0-10	164	176	42	48,5	**0,94**	0,94	0,94	0,94	0,98	0,89
108055_Th. 15 - 01 0-10	124	181	41	43,5	**0,94**	0,95	0,93	0,95	0,99	0,88
108056_Th. 15 - 02 0-10	147	192	42	43,5	**0,95**	0,97	0,93	0,97	0,99	0,88
108057_Th. 16 - 01 0-10	161	166	47	43,5	**0,94**	0,96	0,94	0,96	0,99	0,88
108058_Th. 16 - 02 0-10	130	152	43	41	**0,94**	0,95	0,94	0,95	0,99	0,88
108059_Th. 17 - 01 0-10	122	131	43	41	**0,93**	0,92	0,94	0,92	0,99	0,88
108060_Th. 17 - 02 0-10	161	171	42	38,5	**0,95**	0,98	0,93	0,98	0,99	0,88
108061_Th. 18 19 - 01 0-10	199	190	46	51	**0,94**	0,95	0,94	0,95	0,99	0,89
108062_Th. 18 19 02 0 10	203	176	47	48,5	**0,94**	0,95	0,94	0,95	0,99	0,89
108063 Th. 20 - 01 0-10	185	132	46	53,5	**0,90**	0,84	0,93	0,84	0,96	0,89
108064_Th. 20 - 02 0-10	201	136	46	53,5	**0,91**	0,85	0,93	0,85	0,98	0,89
108065_Th. Furna 30 - 01 0-10	141	172	47	46	**0,94**	0,94	0,94	0,94	0,99	0,89
108066_Th. Furna 30 - 02 0-10	139	158	45	48,5	**0,92**	0,90	0,94	0,90	0,99	0,89
108067_Th. Furna 60 - 01 0-10	219	144	48	56	**0,90**	0,85	0,92	0,85	0,96	0,89
108068_Th. Furna 60 - 02 0-10	215	169	44	56	**0,91**	0,89	0,91	0,89	0,94	0,89

Tabela 8. Exemplo de um laudo transicional de BioAS indicando que o solo está em processo de adoecimento (comprometimento dos aspectos biológicos), com predominância de tons vermelhos/alaranjados na coluna da função "Ciclagem". A pontuação da função "Armazenamento" ainda se encontra em patamares adequados (indicados pelas cores verde-clara e verde-escura). Dados obtidos pelos laboratórios da Rede Embrapa de BioAS

ID Amostra	ID Campo	ARIL	BETA	MOS	ARGILA	IQS FERTBIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes
1	TH L01 - 01 - B	25	30	41	59	**0,66**	0,32	0,83	0,32	0,80	0,85
2	TH L01 - 02 - B	29	38	43	63	**0,66**	0,34	0,82	0,34	0,80	0,84
3	TH L01 - 03 - B	51	50	46	59	**0,73**	0,46	0,87	0,46	0,88	0,86
4	TH L01 - 01 - B	27	37	41	51	**0,71**	0,37	0,88	0,37	0,91	0,84
5	TH L01 - 02 - B	27	44	47	53	**0,73**	0,39	0,90	0,39	0,96	0,84
6	TH L01 - 03 - B	8	74	45	60	**0,68**	0,36	0,84	0,36	0,91	0,78
7	TH L02 - 01 - B	28	39	57	55	**0,74**	0,37	0,93	0,37	0,99	0,86
8	TH L02 - 02 - B	21	36	40	55	**0,68**	0,33	0,85	0,33	0,85	0,85
9	TH L02 - 03 - B	14	17	43	59	**0,63**	0,24	0,83	0,24	0,87	0,79
10	TH 05 - 01 - B	22	35	35	62	**0,57**	0,32	0,70	0,32	0,60	0,80
11	TH 05 - 02 - B	36	62	43	57	**0,73**	0,45	0,86	0,45	0,88	0,85
12	TH 05 - 03 - B	25	44	42	63	**0,65**	0,35	0,81	0,35	0,79	0,83
13	TH 05 - 01 - B	38	69	35	51	**0,70**	0,51	0,80	0,51	0,76	0,84
14	TH 05 - 02 - B	42	72	34	52	**0,70**	0,53	0,78	0,53	0,71	0,85
15	TH 05 - 03 - B	40	87	37	53	**0,75**	0,55	0,85	0,55	0,80	0,90
16	TH 12 - 01 - B	27	40	40	54	**0,66**	0,37	0,81	0,37	0,86	0,76
17	TH 12 - 02 - B	16	28	35	65	**0,55**	0,27	0,69	0,27	0,59	0,78
18	TH 12 - 03 - B	25	27	47	62	**0,69**	0,31	0,88	0,31	0,92	0,85
19	TH 12 - 01 - B	9	24	44	64	**0,61**	0,23	0,80	0,23	0,83	0,77
20	TH 12 - 02 - B	14	24	40	59	**0,68**	0,26	0,88	0,26	0,83	0,94
21	TH 12 - 03 - B	36	40	52	55	**0,74**	0,40	0,92	0,40	0,98	0,86
22	TH 15 - 01 - B	16	33	36	55	**0,62**	0,31	0,77	0,31	0,74	0,81
23	TH 15 - 02 - B	24	45	49	57	**0,72**	0,36	0,90	0,36	0,95	0,85

Tabela 9. Exemplo de um laudo de BioAS, com padrão estável, indicando que o solo está doente (com comprometimento dos aspectos biológicos e perdas nos teores de MOS), conforme mostrado pela predominância das cores laranja ou vermelha para "Ciclagem" e "Armazenamento". Dados obtidos pelos laboratórios da Rede Embrapa de BioAS

ID Amostra	ID Campo	ARIL	BETA	MOS	ARGILA	IQS FERTBIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes
25	TH 15 - 01 - B	26	32	37	54	**0,67**	0,35	0,83	0,35	0,78	0,88
26	TH 16 - 01 - B	22	44	41	63	**0,66**	0,34	0,82	0,34	0,78	0,85
27	TH 15 - 02 - B	27	49	50	51	**0,74**	0,41	0,91	0,41	0,98	0,84
28	TH 16 - 02 - B	27	38	42	58	**0,69**	0,35	0,86	0,35	0,86	0,86
29	TH 15 - 03 - B	21	46	44	56	**0,70**	0,36	0,87	0,36	0,89	0,85
30	TH 16 - 03 - B	20	38	44	57	**0,69**	0,33	0,88	0,33	0,90	0,85
31	TH 16 - 01 - B	19	36	45	55	**0,70**	0,33	0,89	0,33	0,92	0,86
32	TH 16 - 02 - B	14	33	50	49	**0,71**	0,31	0,91	0,31	0,99	0,83
33	TH 16 - 03 - B	9	34	41	62	**0,63**	0,26	0,81	0,26	0,76	0,86
34	TH 19 - 01 - B	35	65	47	60	**0,74**	0,44	0,88	0,44	0,92	0,85
35	TH 19 - 02 - B	33	49	46	57	**0,72**	0,41	0,88	0,41	0,92	0,84
36	TH 19 - 03 - B	28	55	38	60	**0,65**	0,39	0,79	0,39	0,73	0,84
37	TH 19 - 01 - B	26	30	52	47	**0,70**	0,36	0,87	0,36	1,00	0,74
38	TH 19 - 02 - B	33	52	47	51	**0,74**	0,44	0,89	0,44	0,97	0,80
39	TH 19 - 03 - B	18	33	43	58	**0,63**	0,31	0,79	0,31	0,86	0,72
40	TH 25 - 01 - B	18	46	45	59	**0,65**	0,34	0,80	0,34	0,89	0,72
41	TH 25 - 02 - B	26	41	44	56	**0,70**	0,36	0,87	0,36	0,91	0,83
42	TH 25 - 01 - B	35	46	51	50	**0,76**	0,43	0,92	0,43	0,99	0,86
43	TH 25 - 02 - B	41	48	44	55	**0,73**	0,44	0,87	0,44	0,91	0,84
44	TH 33 - 01 - B	26	61	52	55	**0,73**	0,42	0,89	0,42	0,99	0,79
45	TH 33 - 02 - B	17	42	43	60	**0,67**	0,32	0,85	0,32	0,89	0,81
46	TH 33 - 01 - B	11	29	46	57	**0,65**	0,27	0,85	0,27	0,93	0,76
47	TH 33 - 01 - B	11	81	46	52	**0,75**	0,43	0,91	0,43	0,96	0,86

Tabela 10. Exemplo de um laudo transicional de BioAS indicando que o solo está em processo de recuperação sob o ponto de vista biológico, com predominância de tons verdes na coluna "Ciclagem". A pontuação da função "Armazenamento" ainda se encontra em patamares baixos (indicados pelas cores vermelhas/alaranjadas). Dados obtidos pelos laboratórios da Rede Embrapa de BioAS

AMOSTRA	ARIL	BETA	MOS	ARGILA	IQS FERTBIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes
8009_SEDE 1	71	79	11	46	0,58	0,64	0,55	0,64	0,24	0,86
8010_SEDE 2	68	60	16	42	0,65	0,64	0,66	0,64	0,44	0,88
8011_SEDE 3	65	78	18	48	0,57	0,58	0,56	0,58	0,27	0,85
8012_MARIQUINHA 1	82	90	13	44	0,54	0,73	0,45	0,73	0,14	0,75
8013_MARIQUINHA 2	104	104	14	38	0,57	0,89	0,40	0,89	0,26	0,55
8014_MARQUINHA 2 AREA 1	75	65	15	44	0,52	0,64	0,45	0,64	0,31	0,60
8015_AREA EDIO 1	82	85	14	32	0,55	0,89	0,38	0,89	0,26	0,49

Na Tabela 7, o aspecto visual do laudo da BioAS, com predominância da cor verde, indica que os talhões da propriedade agrícola estavam em excelente condição em relação às funções "F1 - Ciclar" e "F2 - Armazenar", classificando o solo como "saudável". Conforme discutido anteriormente, em situações como essa, recomenda-se a manutenção das práticas de manejo já adotadas na propriedade. Esse laudo é oriundo de uma fazenda com histórico de manejo conservacionista de longo prazo, localizada em Chapadão do Sul, no estado de Mato Grosso do Sul, cultivada desde 1970. De 1970 a 1980, as áreas foram cultivadas com arroz e pastagens. O cultivo da soja iniciou-se em 1980. No período de 2000 a 2015, a fazenda cultivou soja/milho sob sistema de plantio direto. Quando o milho é cultivado em primeira safra (data de plantio em outubro) ou segunda safra (plantio em fevereiro), é sucedido por culturas de cobertura como nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), *Crotalaria spectabilis* e braquiária (*Urochloa ruziziensis*). Desde 2015, as lavouras estão sob plantio direto e integração lavoura-pecuária (ILP).

Na Tabela 8, o laudo mostra a predominância de tons vermelhos/alaranjados na coluna "Ciclagem", indicando que o solo está em um processo de degradação sob o ponto de vista biológico, ou seja, que está em adoecimento. É interessante destacar que, nesse tipo de laudo, a pontuação da função "F2 - Armazenar" ainda se encontra em patamares adequados (indicados pelas cores verde-clara e verde-escura), pois as alterações na MOS ocorrem de maneira mais lenta e gradual que nas enzimas. Diante desse cenário, recomenda-se uma avaliação criteriosa das práticas de manejo que vêm sendo adotadas na propriedade agrícola para evitar perdas nos teores de MOS em médio ou em longo prazo. Deve ser destacado que esse laudo é oriundo de uma fazenda em Tapurah, estado de Mato Grosso, com adoção recente de manejo não conservacionista. Os talhões (média de 120 ha) começaram a ser cultivados na safra 2012/2013. Desde 2016, a fazenda cultiva soja/algodão sem a presença de plantas de cobertura. Houve uma operação de preparo mecânico (gradagem pesada) em 2019, dois anos antes da amostragem do solo (2021). Os sistemas de produção de algodão e soja, apesar do alto potencial de lucratividade, apresentam baixa entrada de biomassa e historicamente têm sido prejudiciais à sustentabilidade dos recursos naturais (Reeves, 1997; Mbuthia *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2020).

À medida que o processo de adoecimento do solo é intensificado, o comprometimento dos aspectos biológicos, evidenciado pela função "F1 - Ciclar", resulta em perdas nos teores de MOS, de modo que, na função "F2 - Armazenar", passa a ocorrer um predomínio das cores alaranjadas e vermelhas. Isso é demonstrado no laudo da Tabela 9. Perdas de matéria orgânica e redução da atividade biológica indicam uma situação de solo "doente", em que práticas de manejo regenerativas precisam ser adotadas com urgência. Esse laudo é proveniente de duas fazendas que não utilizam manejo

conservacionista. As fazendas estão localizadas em Diamantino (área média dos talhões é de 220 ha) e Querência (área média dos talhões é de 180 ha), no estado de Mato Grosso. A fazenda de Diamantino começou a ser cultivada na safra 2001/2002. Desde 2017, a fazenda é cultivada com soja/algodão sem culturas de cobertura. A última operação de preparo mecânico (gradagem pesada) ocorreu em 2017 (quatro anos antes da amostragem de solo em 2021). As áreas de Querência são cultivadas desde 2013/2014 e prevalece a monocultura de soja. A última operação de preparo mecânico (gradagem pesada) ocorreu em 2018, três anos antes da amostragem de solo em 2021.

Já no laudo apresentado na Tabela 10, demonstra-se quando um solo doente (com comprometimentos nas funções "F1 - Ciclar" e "F2 - Armazenar") começa a se recuperar. Conforme ilustrado na Figura 4, na escalada da melhoria de um solo, o componente biológico é o primeiro impactado. Assim, os níveis de atividade enzimática, representados na função "F1 - Ciclar", encontram-se em patamares elevado/muito elevado (verde-clara/verde-escura), enquanto os escores da função "F2 Armazenar" permanecem nos níveis baixo/muito baixo (alaranjado/vermelho escuro). Nesse tipo de laudo, a presença de enzimas, em níveis adequados, indica que as práticas de manejo utilizadas estão impactando o solo positivamente e que ele está em processo de recuperação do ponto de vista biológico. O uso contínuo e persistente de práticas de manejo regenerativas poderá resultar, ao longo do tempo, em aumentos nos teores de MOS, que resultarão em aumentos dos escores da função "F2 Armazenar". O tempo exato para que isso aconteça dependerá das condições edafoclimáticas de cada local e das práticas regenerativas adotadas (intensidade e duração). Esse laudo é oriundo de uma fazenda em Jandaia, estado de Goiás, caracterizada pela adoção recente de manejo conservacionista. Os sete talhões (média de 25 ha) foram cultivados desde 2002 até 2018 com soja sob preparo convencional (aração com arado de discos e gradagem), sem plantas de cobertura. A adoção de práticas agrícolas regenerativas começou em 2019, quando foi iniciado o cultivo de soja sob plantio direto em sucessão com uma mistura de braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e sorgo (*Sorghum vulgaris*).

Conforme já mencionado, a sensibilidade das enzimas como bioindicadores capazes de detectar precocemente se o solo está em processo de perda ou ganho de qualidade (em processo de adoecimento ou de recuperação) fica evidente nos laudos transicionais apresentados nas Tabelas 8 e 10. Nesses laudos, as enzimas atuam como mensageiras de más (Tabela 8) e de boas notícias (Tabela 10). Na Tabela 8, as enzimas alertam para o fato de que as práticas de manejo utilizadas na propriedade rural estão causando a degradação do solo. Na Tabela 10, indica-se que o aumento na atividade enzimática em solos com baixos teores de MOS serve para estimular/motivar os agricultores que estão adotando práticas de manejo que possibilitem a recuperação da qualidade/saúde do solo.

A Tabela 11 apresenta a média dos dados de atividade enzimática, carbono orgânico do solo (COS), teores de argila e rendimento de grãos dos talhões nas fazendas dos quatro laudos, considerando o período de 2018 a 2021. Nessa tabela, também são apresentadas as médias de aplicação de P_2O_5 ha^{-1} e K_2O ha^{-1} nessas fazendas durante o mesmo período.

Tabela 11. Teores médios de: argila, níveis de atividade enzimática (ARIL e GLI), carbono orgânico do solo (COS), rendimento de soja (Grãos) e teores de P_2O_5 e K_2O (P-K) utilizados nas fazendas de referência dos laudos das figuras 12 a 15, no período de 2018 a 2021. Os laudos do tipo 1, 2, 3 e 4, representam solos saudáveis, adoecendo, doente e em recuperação

Fazenda/Tipo de Laudo	Local	Argila (%)	ARIL	GLI	COS	Grãos	P-K*
			mg PNP kg^{-1} h^{-1}		g.kg^{-1}	kg.ha-1	
1/1	Chapadão do Sul, MS	50	177	177	25,7	4351	80/90
2/2	Tapurah, MT	57	25	44	25,3	3926	73/87
3.1/3	Diamantino, MT	55	43	45	13	3692	36/87**
3.2/3	Querência, MT	52	28	49	12	3900	87/93
4	Jandaia, GO	43	78	80	8,4	4410	92/98

* P-K: kg P_2O_5 ha^{-1} - kg K_2O ha^{-1}.
* AEM = ((GLI + ARIL) / 2) / COS. Valores expressos em g PNP kg^{-1} COS h^{-1}.
**Nessa fazenda, a aplicação de doses menores de adubo fosfatado na soja é compensada pela utilização de doses mais elevadas na cultura do algodão.

Além dos aspectos relacionados ao tamanho das fazendas (200 ha até 45.000 ha) e sistemas de produção (ILP, soja/algodão, monocultivo de soja, soja/milho + braquiária), que influenciam diretamente os procedimentos operacionais diários das lavouras, um aspecto muito importante e que merece ser destacado com base nos dados da Tabela 11 é o desempenho econômico das fazendas nos diferentes grupos. Os rendimentos médios de grãos de soja nos últimos quatro anos (kg ha^{-1}) foram de 4.351 e 4.410 kg ha^{-1} nas fazendas representadas nas Tabelas 7 e 10 — com solos saudáveis e em recuperação, respectivamente. Já nas fazendas com solos em processo de degradação (Tabelas 8 e 9), os rendimentos foram de 3.926 e 3.717 kg ha^{-1}, respectivamente. Esses resultados indicam que, em média, a produtividade da soja nas áreas com solos saudáveis ou em recuperação foi 558,5 kg ha^{-1}, superior àquela obtida em áreas com solos adoecendo ou doentes, reforçando a relação entre saúde do solo e altos rendimentos em ambientes de produção de alta qualidade.

Um aspecto interessante é que, embora as fazendas representadas nas Tabelas 8 e 9 tenham apresentado as menores produtividades do conjunto avaliado, seus rendimentos ainda superaram a média nacional da soja na safra 2020/2021, que foi de 3.526 kg ha^{-1} (Conab, 2025). Isso indica que, com a adoção de manejos mais conservacionistas, esses solos poderiam alcançar patamares ainda mais elevados de produtividade. Esses dados reforçam a importância de solos saudáveis para a manutenção de sistemas agrícolas produtivos e sustentáveis. Também evidenciam, mais uma vez, que boa produtividade, por si só, não garante que o solo esteja saudável.

Por fim, um outro aspecto que merece ser destacado é que, à exceção da fazenda 3.1 (Tabela 11) em que a aplicação reduzida de P_2O_5 na soja é compensada por uma maior adubação no algodão – os níveis médios de adubação da soja (kg P_2O_5 ha^{-1}; kg K2O ha^{-1}) nas demais fazendas foram semelhantes. Níveis diferenciados de rendimento de grãos, associados a níveis semelhantes de adubação, evidenciam uma maior eficiência de uso de nutrientes (EUN) nas fazendas onde o solo é saudável ou está em processo de regeneração (Tabelas 7 e 10), demonstrando mais uma vantagem dos solos saudáveis que vai além dos níveis de produtividade.

5. Da lógica operacional à lógica biológica: o solo como organismo vivo

Hoje, em muitas fazendas brasileiras, as decisões sobre manejo do solo são orientadas mais por custos e logística do que por critérios agronômicos. A BioAS ajuda a mudar essa lógica, mostrando que solos saudáveis são essenciais para manter lavouras produtivas ao longo do tempo.

Ao trazer informações que não aparecem nas análises químicas tradicionais, a BioAS permite identificar, com antecedência, sinais de desequilíbrio no solo. Isso dá ao produtor a chance de corrigir o problema antes que ele afete a produtividade. Por isso, a ferramenta funciona como um alerta de que algo está errado com a "vida" do solo.

A presença de enzimas bioindicadoras nas análises de rotina é uma inovação importante, mas também exige que agrônomos e técnicos reavaliem práticas adotadas na fazenda. Muitas vezes, será preciso ajustar o manejo e buscar soluções específicas para cada situação.

A lógica é parecida com a de um exame de sangue: mesmo sem sintomas, ele pode apontar que algo não vai bem — como o colesterol alto. Com o solo, a BioAS mostra que há um

problema biológico, mesmo quando a produção ainda não foi afetada. Isso estimula o produtor a agir antes que as perdas apareçam. Dessa maneira, a BioAS serve para alertar sobre a necessidade de mudança de postura em relação ao manejo do solo – a famosa "vontade de mudar". No caso de seres humanos, alterações em um exame de sangue podem levar ao uso de medicamentos, à prática de atividade física ou à reavaliação de hábitos alimentares. No caso do solo, a adoção de sistemas de manejo e de práticas agrícolas, como o plantio direto (sem revolvimento do solo), a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura e a iLP, é o caminho natural para a obtenção de solos saudáveis, isto é, biologicamente mais ativos e produtivos (caso da fazenda exemplificada na Tabela 7). A expectativa é de que a BioAS contribua significativamente nesse processo de mudança de postura.

6. Considerações finais

Cada vez mais agricultores e técnicos percebem os benefícios de cuidar da saúde do solo. Esse interesse cresce especialmente em regiões onde o sistema de produção é intensivo e com pouca rotação de culturas — o que deixa o solo mais vulnerável.

Nem sempre produtividade alta, pH corrigido ou níveis adequados de nutrientes significam que o solo está saudável. É preciso olhar além.

Foi com esse objetivo que, em julho de 2020, a Embrapa lançou a tecnologia BioAS. Essa tecnologia permite avaliar a saúde do solo de forma mais completa, considerando também aspectos relacionados ao seu funcionamento biológico.

Assim como empresas investem na saúde dos seus trabalhadores para melhorar seu desempenho, investir na saúde do solo também traz retorno: mais produtividade, maior eficiência no uso de água e fertilizantes, solos mais resilientes e com melhor capacidade de degradar pesticidas. Ou seja, quem cuida do solo colhe resultados melhores — no bolso e no meio ambiente.

A famosa frase de Leonardo da Vinci — "A simplicidade é o último grau da sofisticação" — traduz o espírito da BioAS. Embora avalie algo complexo — a saúde do solo —, a tecnologia foi desenvolvida para ser prática, acessível e fácil de entender. Com uma única amostra coletada no momento e na profundidade certos, o produtor pode avaliar o funcionamento biológico do seu solo, indo além das análises químicas tradicionais. Ao possibilitar a avaliação da saúde do solo, a tecnologia BioAS fornece subsídios para tomada de decisões sobre o manejo, visando à manutenção de lavouras produtivas e sustentáveis em solos saudáveis. Um processo em que todos saem ganhando: o agricultor, a sociedade, o meio ambiente e, claro, o planeta.

Agradecimentos

Ao funcionário da Embrapa Cerrados, Clodoaldo Alves de Sousa, integrante da equipe do Laboratório de Microbiologia do Solo; a Osmar Teago de Oliveira e Valmir Vieira de Sousa, técnicos agrícolas. Aos pesquisadores da Fundação MT e a todos os estudantes de graduação e pós-graduação. Os autores agradecem, ainda, o auxílio de bolsas e financiamento de projetos pela Embrapa (Projeto Bioindicadores - MP2), CNPq (Edital Universal 407642/2023-4), FAPDF (Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Distrito Federal, Processo 00193.00001714/2022-1); INCT - Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas Visando à Sustentabilidade Agrícola e à Responsabilidade Ambiental – MPCPAgro - (CNPq 465133/2014-4, Fundação Araucária-STI 043/2019, CAPES) e PRONASOLOS (FINEP/1218/21).

Durante a COP 30, no 17/11/2025 em Belem (PA), foi lançada a "Plataforma Saúde do Solo BR: solos resilientes para sistemas agrícolas sustentáveis". A plataforma disponibiliza dados de saúde do solo por estado e município em um ambiente digital e de acesso público.
https://saudedosolo.embrapa.gov.br/inicio

Referências bibliográficas

Compania Nacional de Abastecimento- Conab. https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html. Consulta em 15 de novembro de 2025.

DRINKWATER, L.E.; SNAPP, S.S. Nutrients in agroecosystems: re-thinking the management paradigm. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 163-186, 2007. https://doi:10.1016/S0065-2113(04)92003-2.

FERREIRA, A.C.B.; BORIN, A.L.D.C.; LAMAS, F.M., BOGIANI; J.C.; SILVA, M.A.S.; SILVA FILHO, J.L.; STAUT, L.A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. **Acta. Scientiarum-Agronomy**. 42, e43039. 2020. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.43039.

HATFIELD, J.L.; SAUER, T.J.; CRUSE, R.M. Soil: the forgotten piece of the water, food, energy nexus. **Advances in Agronomy**, v. 143, p. 1-46, 2017. doi.org/10.1016/bs.agron.2017.02.001.

KARLEN, D.L; STOTT D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.R.; STEWART, B.A. (Ed). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 53-72. (Special Publication, 35). https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c4.

LOPES, A.A.C.; BOGIANI, J.C.; FIGUEIREDO, C.C. DE; REIS JUNIOR, F.B.; SOUSA, D.M.G.; MALAQUIAS, J.V.; MENDES, I.C. Enzyme activities in a sandy soil of Western Bahia under cotton production systems: short-term effects, temporal variability, and the FERTBIO sample concept. **Brazilian Journal of Microbiology**. 2021. https://doi.org/10.1007/s42770-021-00606-z.

LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M. G.; CHAER, G.M.; REIS JUNIOR, F.B.; GOEDERT, W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America**, v. 77, p. 461-472, 2013.

LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; FIGUEIREDO, C.C.; MALAQUIAS, J.V.; SOUZA, L.M.; MENDES, I.C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional,** v. 12, p. 72-82, 2018.

MBUTHIA, L.W.; MARTÍNEZ, V.A.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; MPHESHEA, M.; WALKER, F.; EASH, N. Long-term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology Biochemistry**, v.89, p.24-34. 2015. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.016.

MENDES, I.C., CHAER, G.M., REIS, DANTAS, O.D., MALAQUIAS, J.V., OLIVEIRA, M.I.L., NOGUEIRA, M.A., HUNGRIA, M., 2024. Soil Bioanalysis (SoilBio): A Sensitive, Calibrated, and Simple Assessment of Soil Health for Brazil, in: Mendes, I.C.; Cherubin, M.R. (Eds.), **Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil** (Vol. 03). SSSA and Willey, Madison, pp. 292-326. https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch10

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; DANTAS, O.D.; LOPES, A.A. de C.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M.I.L.; CHAER, G.M. Soil quality and grain yield: a win-win combination in clayey tropical Oxisols. **Geoderma**, 2021, v.388, 114880.

MENDES I.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; LOPES, A.A.C. Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 20-25, 2018.

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; KAPPES, C.; ONO, F.B.; SEMLER, T.D.; ZANCANARO, L.; LOPES, A.A.C. Qualidade biológica do solo: por que e como avaliar. **Boletim de Pesquisa da Fundação MT**, v. 1, p. 98-105, 2017.

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; LOPES, A.A.C.; SOUZA, L.M.; CHAER, G.M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 10, p. 399-462, 2019a.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.M.; SOUSA, D.M.G.; LOPES, A.A.C.; REIS JUNIOR, F.B.; LACERDA, M.P.C.; MALAQUIAS, J.V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019b. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025.

MENDES, I.C.; ONO, F.B.; OLIVEIRA, M.I.; SILVA, R.G.; KAPPES, C.; REIS JUNIOR, F.B.; ZANCANARO, L. Rotação de culturas, bioindicadores e saúde do solo. In: SILVA, P.A.; OLIVEIRA, L.C. (Org.). **Rotação de Culturas, bioindicadores e saúde do solo**. 19. ed. Rondonópolis: Fundação MT, 2020. v. 19, p. 102-110.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 32, p. 2735-2741, 2008. doi.org/10.1590/S0100-06832008000700017

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Tillage Research** v.43, p. 31–167. 1997. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00038-X.

WALLENSTEIN, M.D.; BURNS, R.G. Ecology of Extracellular Enzyme Activities and Organic Matter Degradation in Soil: A Complex Community-Driven Process. **Methods of Soil Enzymology**, 9, 35-55. 2011. https://doi.org/10.2136/sssabookser9.c2

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

A PLANTA DE ALGODÃO

Para manejar adequadamente uma lavoura de algodão, é preciso conhecer em detalhes a planta de algodão, a sua fenologia e seus ritmos de desenvolvimento. Sendo uma planta com floração indeterminada, há justaposição das diversas fases fenológicas, e antagonismo para a alocação dos assimilados. Esse conhecimento irá ajudar na tomada de decisão sobre manejo de reguladores de crescimento e fracionamento das diversas adubações

Ciro Antonio Rosolem
Unesp

CAPÍTULO 3.1

Crescimento do algodoeiro

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 e sem atualizações até o momento.

O algodoeiro, sendo uma planta perene, apresenta crescimento vegetativo e reprodutivo concomitantes; no entanto, é necessário que eles ocorram de modo balanceado.

Na Tabela 1, encontra-se uma estimativa do valor de cada posição produtiva da planta.

Tabela 1. Produção de fibra e valor da produção de algodão estratificada na planta, experimento com a variedade ITA 90, em Pederneiras/SP, produtividade de 360 @.ha^{-1}, espaçamento de 0,90 m e população de 88 mil plantas ha^{-1} (Preço de US$ 0,70 lb^{-1})

	Nó Produção de fibra (kg.ha^{-1})				Valor da produção (US$ ha^{-1})			
	1ªposição	2ª posição	3ª posição	%	1ª posição	2ª posição	3ª posição	%
6	111		41	**6**	171		63	**6**
7	263				88	406		
8	131	162			206	249		
9	128		41		197	63		
10	120	108			185	165		
11	220	54	44	**88**	339	83	67	**88**
12	213	215			328	332		
13	53	50			116	108		
14	133		288					
15	76	64			116	99		
16	132			**6**	204			**6**
Total	1582	654	128	**2359**	2556	1036	193	**3785**
%	**67**	**28**	**5**	**100**	**67**	**28**	**5**	**100**

A maior parte da produção, ou seja, 88% do valor do algodão produzido, está entre os nós 7 e 15 da planta. Isso mostra a enorme importância em se ter uma lavoura que fixe — e não perca — as primeiras posições do baixeiro.

A temperatura influencia fortemente o crescimento da planta, e estudos já foram feitos para determinar a exigência de temperatura para cada fase do crescimento do algodoeiro. As exigências térmicas e, portanto, o ciclo da cultura, podem ser estimadas. Na Tabela 2, encontra-se a estimativa de ciclo para variedades do tipo da Delta Pine 90 para algumas regiões do Brasil. Trata-se de uma estimativa baseadas nas temperaturas dos últimos 30 anos, de modo que, em cada ano em particular, o ciclo vai variar, dependendo da temperatura daquele ano e microrregião em particular.

Tabela 2. Número de Graus-Dia e dias calculados para o ciclo do algodoeiro em três regiões algodoeiras do Brasil, considerando-se as médias de temperatura dos últimos 30 anos. Considerada semeadura em 15 de dezembro e emergência em 21 de dezembro

		MT	MT	BA
	Graus-Dias*	**Sudeste**	**Meio-Norte**	**Oeste**
	°C	**Dias**		
Da emergência ao primeiro botão	360	31	34	36
Do primeiro botão à primeira flor	270	22	26	27
Da primeira flor ao primeiro capulho	620	58	67	63
Da emergência ao primeiro capulho*	1350	115	135	133
Da flor branca no quinto nó à colheita	620	64	64	69
Da emergência à colheita	1970	179	199	202

(*) Ver cálculo de Unidades de Calor (UC).

UC - Unidades de Calor acumuladas, valor calculado por:

$$\mathbf{UC = \Sigma\,[(T - t)/2] - 15}, \text{ onde:}$$

T - Temperatura máxima diária
t - Temperatura mínima diária
15 - (°C), temperatura base

1. Fenologia do algodoeiro

A cultura do algodão necessita de monitoramento constante com vistas ao controle de pragas e doenças, realização de operações de adubação em cobertura ou foliar, aplicação de reguladores de crescimento e maturadores ou desfolhantes. Marur & Ruano, em 2001, desenvolveram a "Escala do Algodão", ou seja, um sistema de identificação de estádios de desenvolvimento do algodoeiro. O ciclo do algodoeiro é dividido em quatro fases: a vegetativa (V), formação de botões florais (B), abertura de flores (F) e abertura de capulhos (C).

1.1. Fase vegetativa (Figura 1)

V0 - vai da emergência da plântula ao momento em que a nervura principal da primeira folha verdadeira alcança 2,5 cm de comprimento;

V1 - do final de V0 até que a segunda folha alcance 2,5 cm de comprimento;

V2 - do final de V1 até que a nervura central da terceira folha atinja 2,5 cm;

V3–Vn – segue-se o mesmo critério.

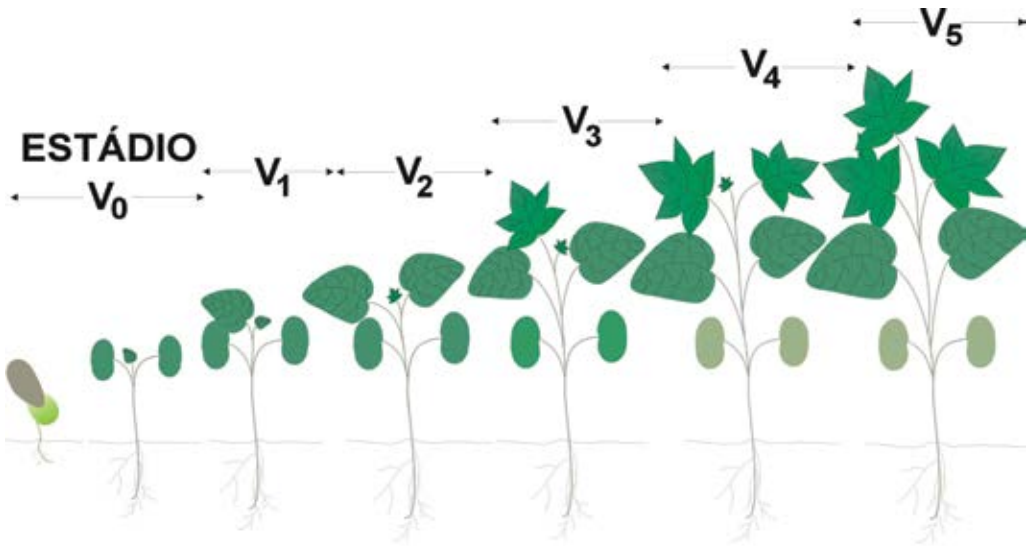


Figura 1. Estádios vegetativos do algodoeiro, segundo escala de Marur & Ruano (2001) (Fonte: Maria G. Y. Sonomura)

1.2. Fase de formação de botões florais (Figura 2)

B1 - inicia-se quando o primeiro botão floral se torna visível;

B2 - primeiro botão floral do segundo ramo frutífero visível;

B3 - primeiro botão floral do terceiro ramo frutífero visível. Nesta época, o segundo botão do primeiro ramo também se torna visível;

B4-Bn - segue-se o mesmo critério.

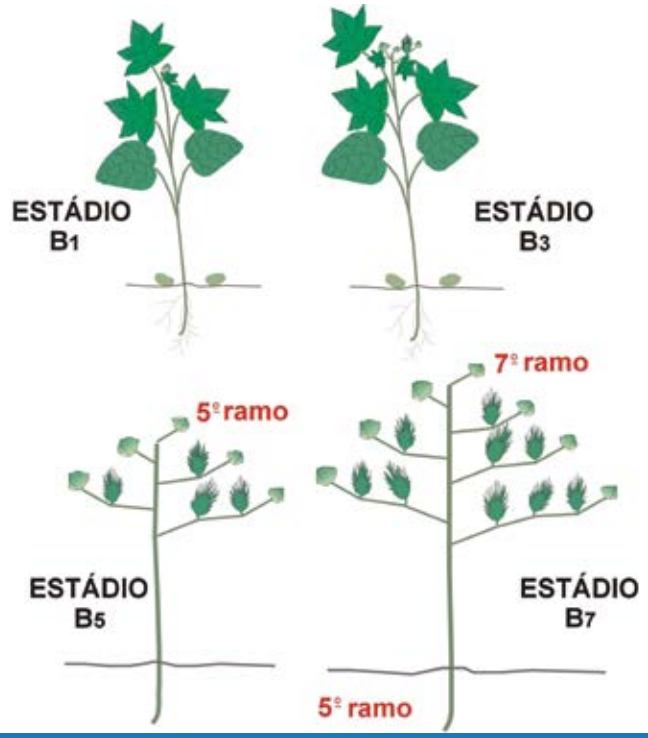


Figura 2. Fase de botões florais do algodoeiro, segundo a escala de Marur & Ruano (2001) (Fonte: Maria G. Y. Sonomura)

1.3. Florescimento (Figuras 3 e 4)

F1 - primeiro botão floral do primeiro ramo se transforma em flor;

F2 - primeiro botão floral do segundo ramo se transforma em flor;

F3-Fn - mesmo critério.

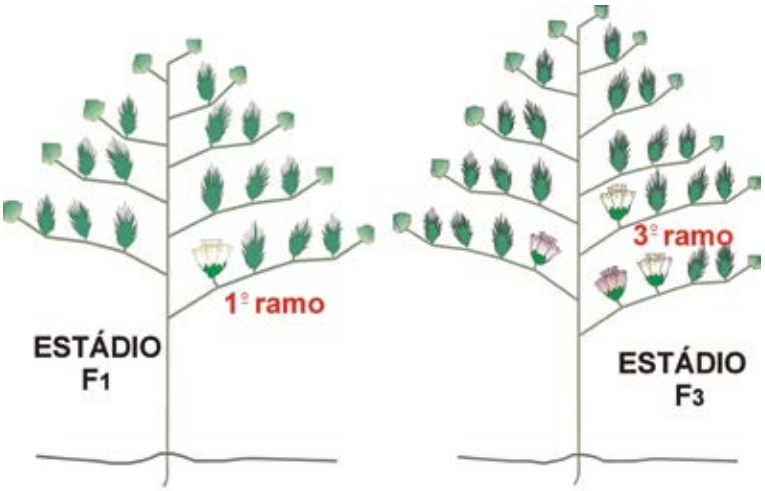


Figura 3. Fase de florescimento do algodoeiro, segundo a escala proposta por Marur & Ruano (2001) (Fonte: Maria G. Y. Sonomura)

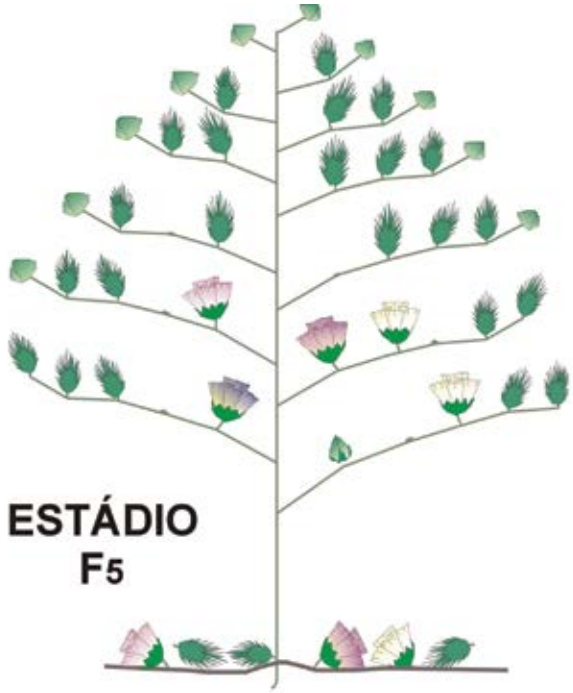


Figura 4. Planta de algodão no estádio F5, de acordo com a escala de Marur & Ruano (2001) (Fonte: Maria G. Y. Sonomura)

1.4. Abertura de capulhos (Figura 5)

C1 - a primeira maçã do primeiro ramo se abre, transformando-se em capulho;
C2 - a primeira maçã do segundo ramo se abre, transformando-se em capulho;
C3-Cn - mesmo critério.

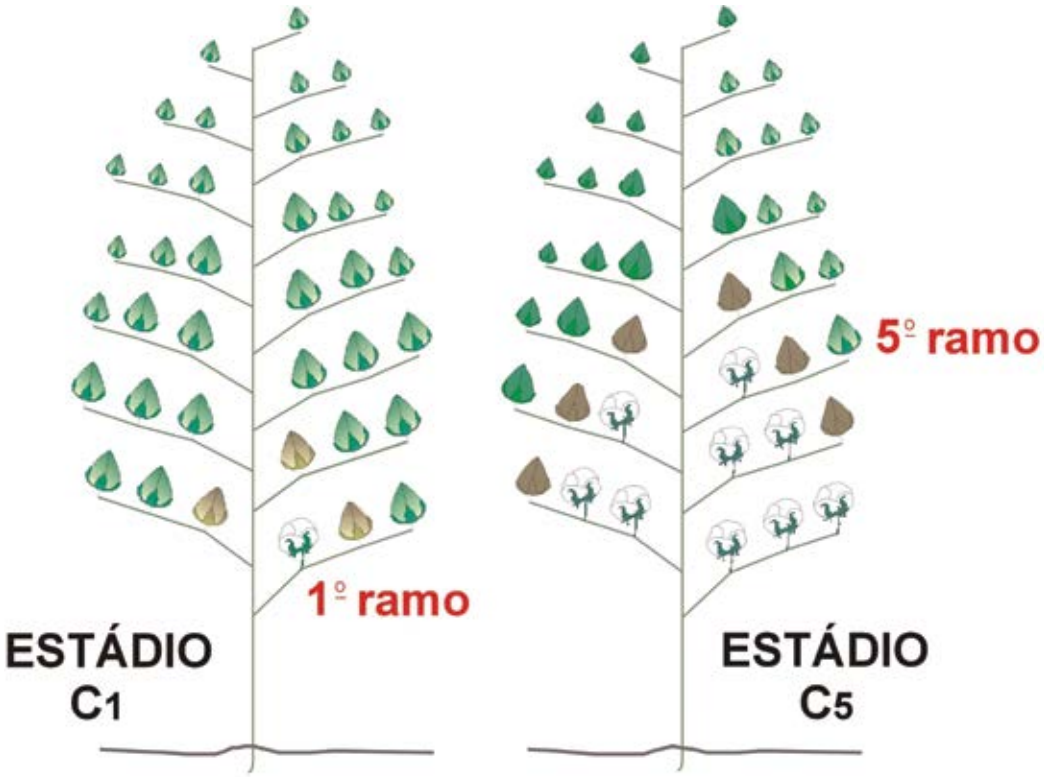


Figura 5. Plantas de algodão em estádios com capulhos, segundo escala de Marur & Ruano (2001) (Fonte: Maria G. Y. Sonomura)

É interessante notar que o estádio pode ser determinado mesmo com a ocorrência de queda de estruturas, tomando-se outras estruturas como referência. Assim, se a primeira estrutura de um determinado ramo foi perdida, toma-se a segunda, dois ramos abaixo, que deverá ter a mesma idade fisiológica (Figura 4).

2. Recomendações para as diferentes fases de crescimento do algodoeiro

2.1. Semeadura e emergência

O bom estabelecimento da cultura é chave para o sucesso da lavoura. Em termos de manejo, nesta fase, o objetivo será estabelecer um estande adequado no mínimo tempo possível.

A velocidade de emergência do algodoeiro depende fundamentalmente da temperatura e, em condições normais, deve ocorrer entre cinco e dez dias. Ao contrário do que se pode pensar inicialmente, se o solo não estiver muito seco, a temperatura tem maior efeito na velocidade de emergência da planta do que a própria água. A temperatura média ótima para germinação e emergência do algodoeiro, no campo, é de 32°C, mas pode ocorrer normalmente entre 21°C e 34°C. Se a temperatura média for menor que 21°C ou maior que 34°C, não haverá emergência normal da planta, mesmo que o solo esteja úmido. Neste caso, a cultura será desuniforme, pois apenas as sementes mais vigorosas do lote conseguirão enfrentar o estresse e emergir. Com a normalização da temperatura, parte das outras sementes pode emergir, gerando uma lavoura desuniforme.

Providências para garantir o bom estabelecimento da cultura: utilizar sementes de boa qualidade, semear na época adequada, com temperatura e umidade adequadas e com sementes colocadas em profundidade uniforme por máquinas bem reguladas.

2.2. Da emergência ao primeiro botão floral: fase vegetativa

Nesta fase, devem estabelecer-se um bom sistema radicular e plantas vigorosas.

Nesta fase, o crescimento da parte aérea é relativamente lento, mas há vigoroso crescimento do sistema radicular. Dependendo da temperatura, esta fase pode demorar de 27 a 38 dias. No Brasil, de acordo com a Tabela 2, deve-se esperar que esta fase demore de 31 a 36 dias, dependendo do local.

A raiz pivotante penetra o solo rapidamente, podendo atingir uma profundidade de 25 cm ou mais por ocasião da abertura dos cotilédones. Quando a parte aérea tiver por volta de 35 cm de altura, a raiz deverá estar a 90 cm de profundidade. O comprimento total das raízes continua a aumentar até que a planta atinja sua máxima altura e os frutos comecem a formar-se.

Nesta fase, desenvolvem-se nós e internós, podendo haver início de crescimento de um ou mais ramos vegetativos. O algodoeiro possui dois tipos de ramos: reprodutivos e vegetativos. Em cada nó, desenvolve-se um ramo reprodutivo. Por outro lado, não é desejável o desenvolvimento de muitos ramos vegetativos.

Os primeiros quatro ou cinco nós da haste principal são vegetativos, e suas folhas têm duração curta. O primeiro botão floral deve aparecer entre o quinto e o sexto nó.

Providências para o estabelecimento de um bom sistema radicular e plantas vigorosas: semeadura na época correta, uniformidade na profundidade de semeadura, bom programa de correção e fertilização do solo e ausência de camadas compactadas.

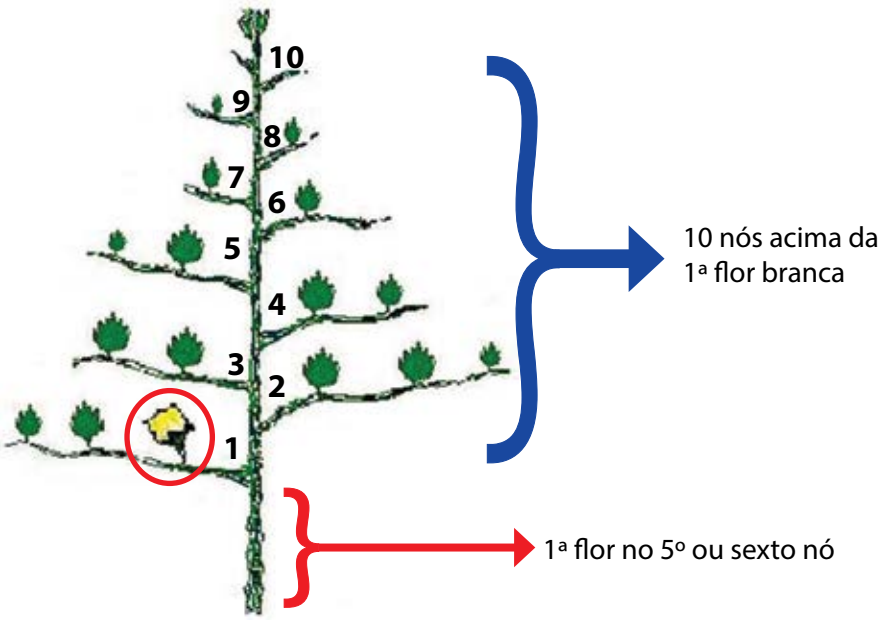


Figura 6. Esquema de uma planta entrando no estádio F1 (Marur & Ruano, 2001). Em uma planta vigorosa, com alto potencial produtivo, a primeira flor deve aparecer no 5º nó da haste principal, de preferência. Nesta fase, uma planta com alto potencial deverá ter, na haste principal, dez nós acima da flor branca (Fonte: C. A. Rosolem)

2.3. Do primeiro botão à primeira flor: fase de botões florais

Nesta fase, o objetivo do agricultor será obter uma planta com o maior número de nós possível, providenciando espaço na planta para que haja florescimento e produção.

A duração desta fase é também regulada pela temperatura, durando usualmente de 22 a 27 dias, no Brasil (Tabela 2). Em temperaturas médias de 22°C a 25°C, as plantas iniciam a produção de um novo ramo simpodial (frutífero) na haste principal a cada três dias. Por ocasião do aparecimento da primeira flor, as plantas devem ter desenvolvido entre 14 e 16 nós na haste principal, acima do nó cotiledonar. Nesta fase, o crescimento vegetativo é fundamental para gerar um grande número de posições frutíferas. Por ocasião do aparecimento da primeira flor (branca), uma planta com bom potencial de produção deve ter dez nós acima dessa flor (Figura 6).

Providências necessárias para obtenção de uma planta vigorosa, com alto potencial produtivo: as mesmas dos anteriores, mais um bom acompanhamento do crescimento e um ótimo controle de pragas iniciais.

2.4. Da primeira flor ao primeiro capulho: fase de florescimento

O objetivo do agricultor nesta fase é a fixação do maior número possível de maçãs.

No Brasil, espera-se que esta fase demore de 58 a 67 dias, como aparece na Tabela 2. É a fase em que acontecem diversos eventos na planta, com grande intensidade e ao mesmo tempo. A competição entre crescimento vegetativo e reprodutivo acentua-se, exigindo maior atenção. É atingida a máxima interseção de luz (fechamento da copa).

No final da fase que vai da primeira flor à abertura do primeiro capulho, muitas maçãs já estão em processo de maturação. Portanto, na segunda metade desta fase, a ocorrência de qualquer estresse que diminua a fotossíntese, como temperaturas muito altas ou muito baixas, muitos dias nublados, seca, etc., além do prejuízo pela queda de estruturas mais novas, resultará em prejuízo nas maçãs em amadurecimento.

A fase encerra-se com o que, em inglês, se chama "cut-out", que, traduzindo-se ao pé da letra, seria "corte". Ou seja, é quando a planta já está com a carga total e entrará em senescência se tiver carga pendente suficiente. Mas como reconhecer este momento? O "cut-out", considerando-se a produção econômica da planta, ocorre quando houver cinco nós acima da flor branca, de primeira posição, mais alta na planta (Figura 7). Na contagem, devem ser considerados como nós aqueles que tiverem uma folha, no mínimo, do tamanho de uma moeda de R$ 1.

Providências para conseguir a fixação do maior número possível de maçãs: excelente controle de pragas e doenças, acompanhamento da queda de estruturas reprodutivas e controle do crescimento da planta em altura.

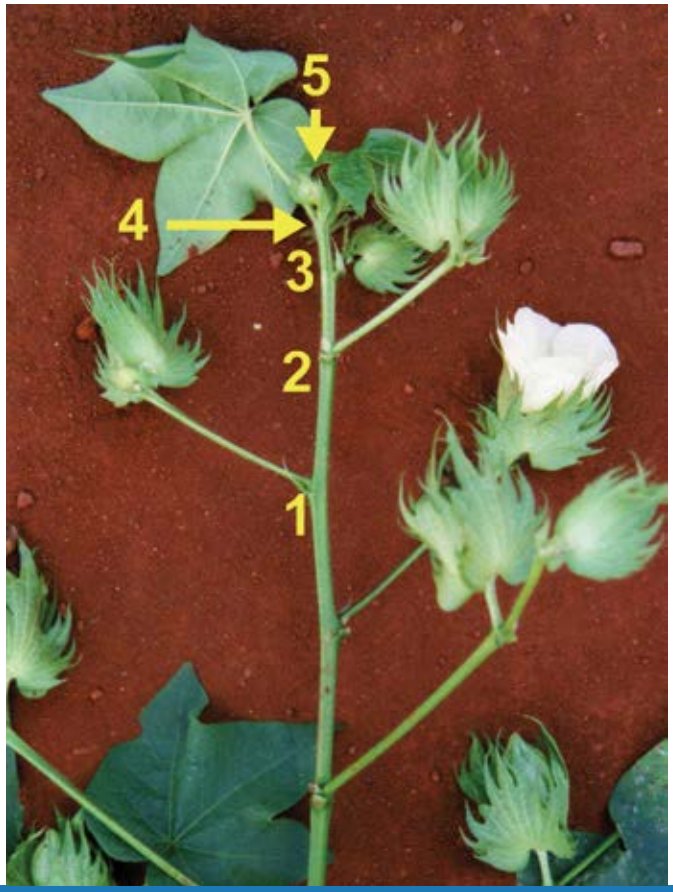


Figura 7. Planta de algodão na fase de "cut-out", que corresponde, mais ou menos, à fase C1 definida por Marur & Ruano (2001). Foram tiradas algumas folhas para maior clareza (Fonte: C.A. Rosolem)

2.5. Do primeiro capulho à colheita

O objetivo nesta fase será consolidar a produção, preparar uma colheita rápida e limpa.

Para temperaturas médias de 30°C, 26°C e 23°C, o tempo para se obter maçãs maduras será, respectivamente, de 40, 50 e 60 dias. Nesta fase, a carga pendente deve ser suficientemente alta para inibir o crescimento vegetativo, em função da competição que o grande número de maçãs em desenvolvimento deve promover. A atividade do sistema radicular está em declínio, assim como a fotossíntese da copa da planta diminui. Assim, nesta fase, o principal processo que ocorre na planta é a translocação.

Providências para preparar uma colheita rápida e limpa: acompanhamento da maturação das maçãs, controle de pragas tardias, aplicação de maturadores e/ou desfolhantes na época e dose corretas.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: rosolem@fca.unesp.br

Juan Piero Antonio Raphael
Esalq/ USP

Ciro Antonio Rosolem
Unesp

Fábio R. Echer
Unoeste

CAPÍTULO 3.2

Distribuição da produção no algodoeiro: conceitos, fatores ecofisiológicos e implicações sobre a produtividade e sobre a qualidade de fibra*

Capítulo publicado originalmente na edição de 2019/20 e sem atualizações até o momento.

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é originalmente uma planta perene arbustiva, nativa de regiões tropicais e subtropicais, de baixa disponibilidade hídrica, tendo sido adaptada para cultivo como cultura anual. Apresenta hábito de crescimento indeterminado, caracterizado pelos processos simultâneos e competitivos entre si do crescimento vegetativo e do crescimento reprodutivo após a emissão das primeiras estruturas reprodutivas ou, em outros termos, pela competitividade entre o crescimento e o desenvolvimento da planta. Essa característica dificulta a identificação das diferentes fases de desenvolvimento e de seus respectivos momentos de transição. Uma das consequências do crescimento indeterminado é que se pode observar que o algodoeiro apresenta um padrão de desenvolvimento peculiar e muito afetado pelo ambiente.

Morfologicamente, a planta é composta por um sistema radicular pivotante, que pode ter de 35 cm a mais de 2 m, dependendo do solo e do período de crescimento. O caule, ou haste principal, é composto por uma série de nós e entrenós, encerrando-se na gema terminal. A contagem de nós da

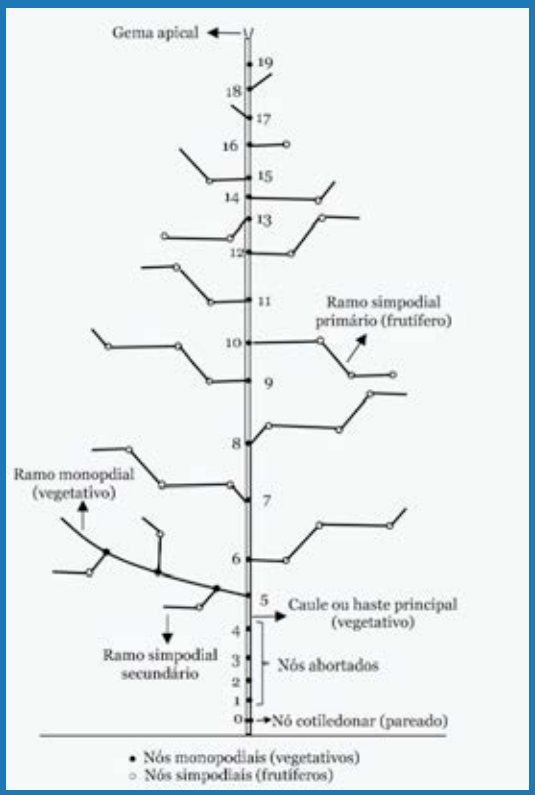


Figura 1. Representação esquemática da estrutura de uma planta de algodão, com identificação da haste principal, nós, ramos vegetativos (monopodiais) e ramos frutíferos (simpodiais) (Fonte: adaptado de Oosterhuis, 1999)

Figura 2. Identificação do nó cotiledonar em caule lignificado, após a queda dos cotilédones (Fonte: Bob Hutmacher e Brian Marsh. Disponível em: http://cottoninfo.ucdavis.edu/Plant_Mapping/)

*Mais detalhes no Boletim de P&D n° 5/2019 do IMAmt

haste principal é, de acordo com seu desenvolvimento, realizada no sentido ascendente. Inicia-se no primeiro nó verdadeiro (primeiro nó acima do nó cotiledonar) e encerra-se no último nó antes da gema apical (Figura 1). Localiza-se o nó cotiledonar por meio da respectiva cicatriz pareada na haste principal, logo acima do solo. Por convenção, o nó cotiledonar é contado como nó "0" (Figura 2).

Dos nós desenvolvem-se folhas (folhas da haste) e ramos; os ramos originários da haste principal podem ser vegetativos, de crescimento monopodial governado pela gema situada no ápice do ramo, e reprodutivos (ou frutíferos), governados por várias gemas que se desenvolvem sucessivamente no ramo (Figura 3). Em áreas comerciais, em que o número de plantas por unidade de área é alto, a quantidade de ramos vegetativos geralmente é pequena, sendo comum encontrarem-se de dois a cinco ramos. Os ramos vegetativos situam-se nos primeiros nós da haste principal, na parte inferior da planta; eles também contêm nós, nos quais podem desenvolver-se ramos vegetativos ou ramos frutíferos (Figuras 1 e 3). O primeiro ramo frutífero primário (diretamente ligado à haste principal) surge geralmente entre o 4º e o 8º nó do caule. Esses ramos apresentam, visualmente, uma forma de zigue-zague, desenvolvendo em cada ponto de inserção de cada entrenó do ramo uma folha (folha de ramo) e uma estrutura frutífera (botão floral). Assim, a produção de algodão é resultante do desenvolvimento dos botões em flores e frutos em ramos simpodiais (Figuras 3, 4 e 5).

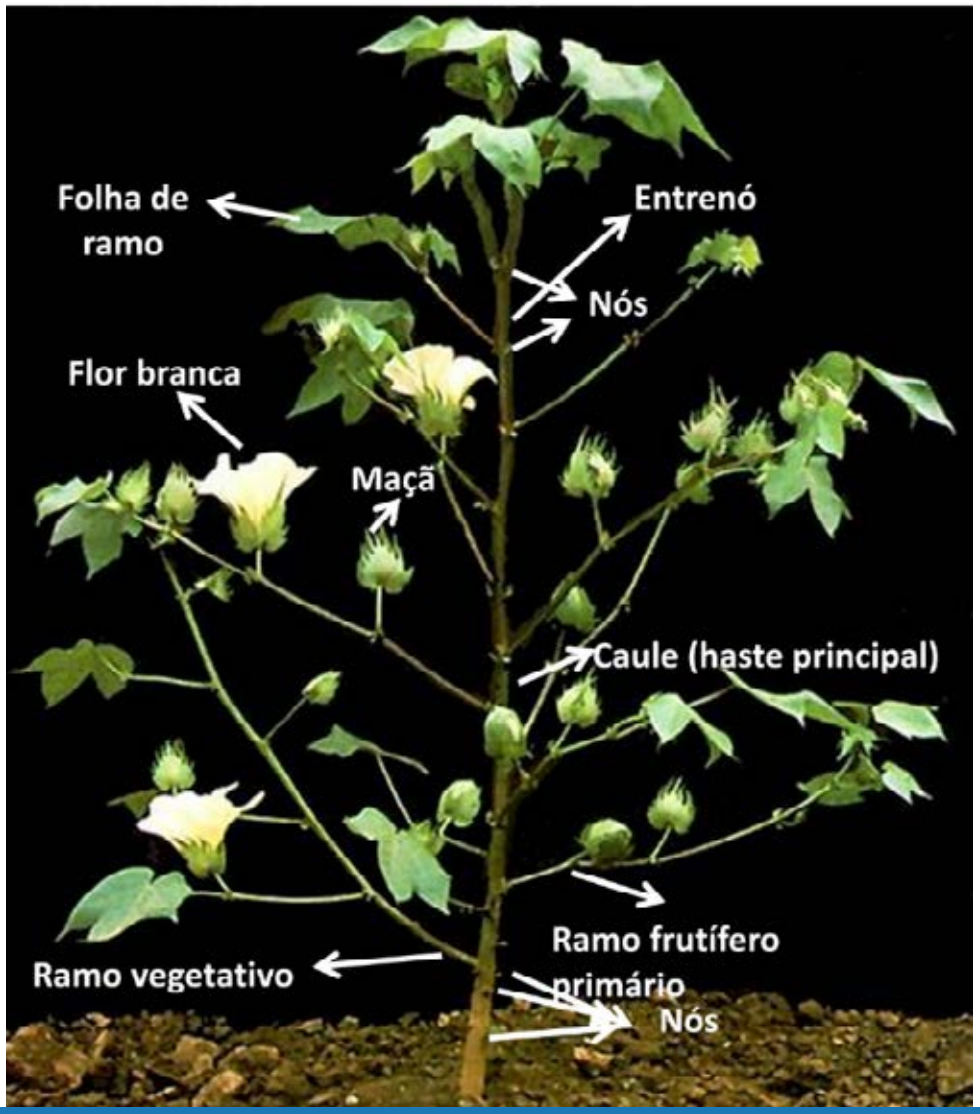


Figura 3. Estruturas (nós, caule e ramos e estruturas reprodutivas). As folhas da haste foram removidas para facilitar as identificações (Fonte: Deterling & El-Zik (1982))

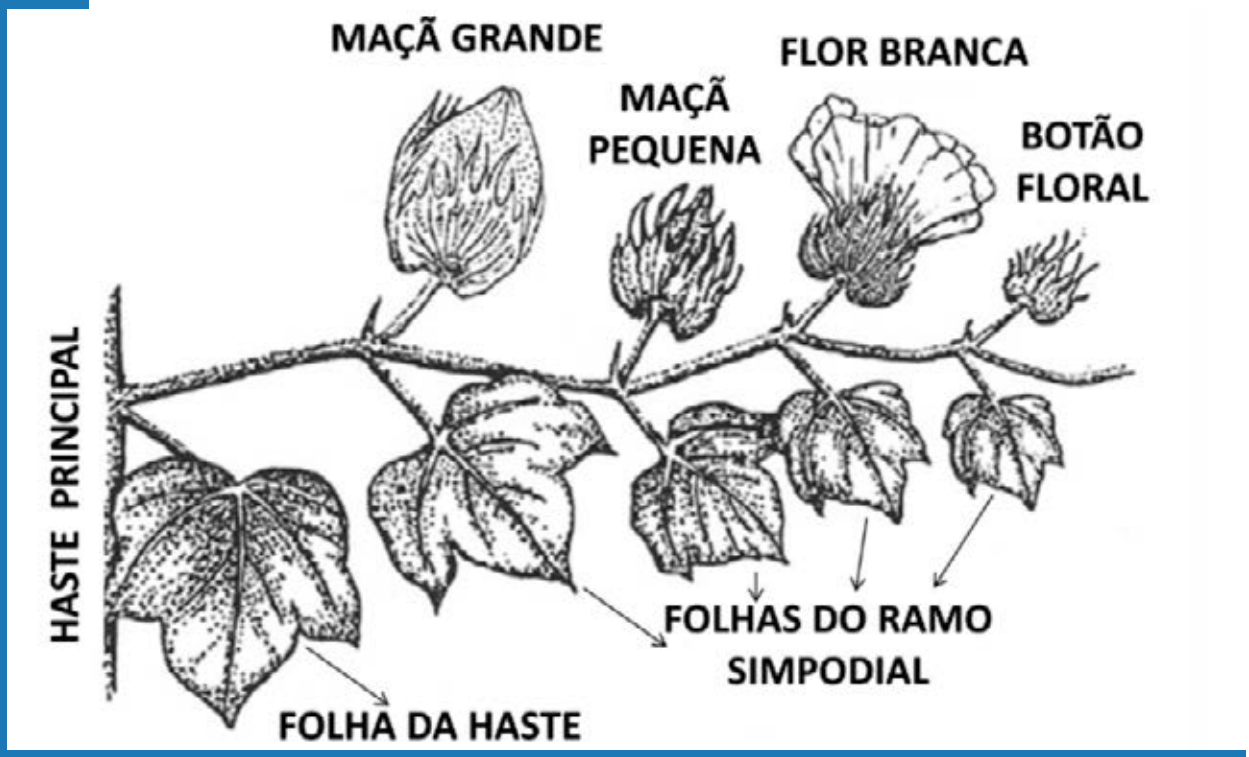


Figura 4. Ramo frutífero primário (originário diretamente da haste principal), destacando-se a folha da haste, as folhas de ramo e as estruturas reprodutivas (Fonte: Oosterhuis, 1990)

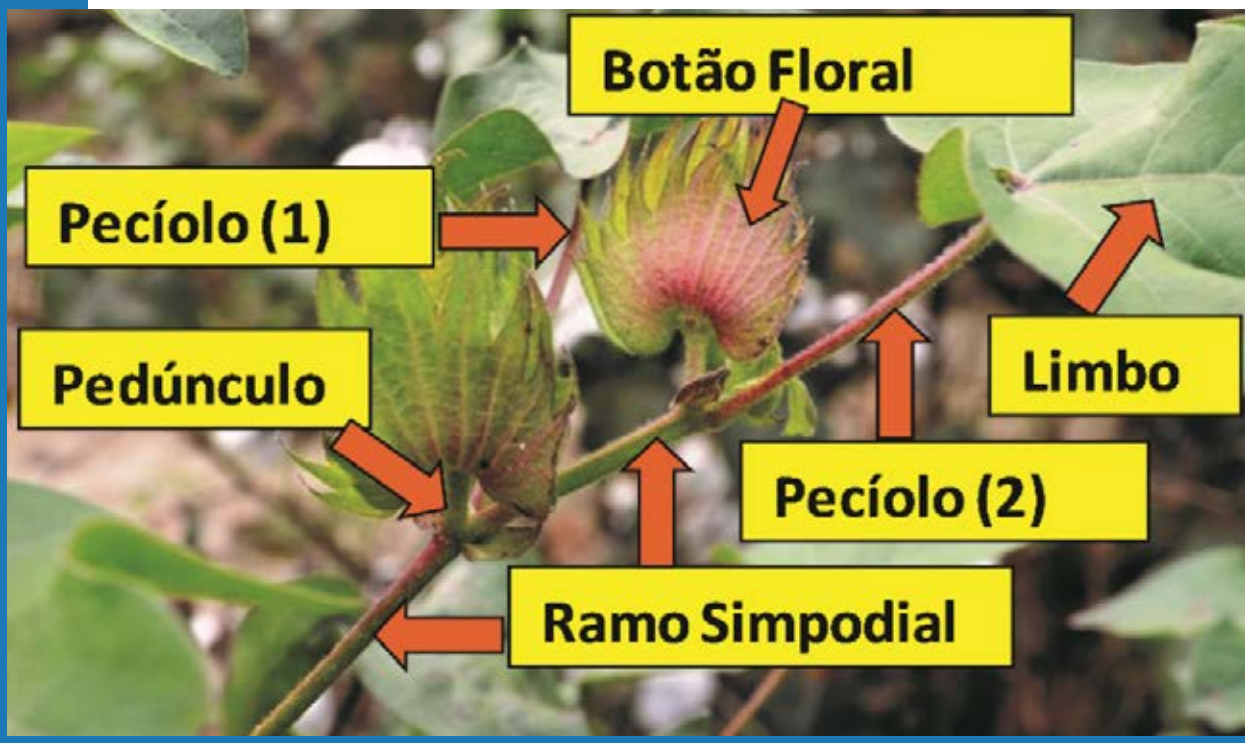


Figura 5. Ramos simpodiais em uma planta de algodão (*G. hirsutum* L.), destacando-se as estruturas de folha de ramo (limbo e pecíolo) e reprodutivas (botão floral e pedúnculo) (Fonte: https://cottageatthecrossroads.com)

O algodoeiro apresenta um padrão peculiar de florescimento, o qual, consequentemente, influencia os atributos da produção formada. A flor do algodoeiro é branca no dia da abertura, tornando-se roxa ou púrpura após a fecundação e à exposição solar, caindo alguns dias depois e deixando no local o fruto jovem, no caso de este não ter sido abortado. Aponta-se na literatura que, em média, o intervalo entre a abertura de flores consecutivas situadas em uma mesma posição de ramos imediatamente sucessivos é de aproximadamente três dias, e que o intervalo entre a abertura de flores consecutivamente localizadas no mesmo ramo frutífero é de seis dias (Figura 6). O resultado é um padrão de florescimento em forma de espiral, que possibilita um ordenamento cronológico dos frutos formados. Mesmo que mais recentemente alguns experimentos tenham demonstrado redução no intervalo de tempo entre flores sucessivas, a relação aproximada de 2:1 entre intervalos horizontais (posições imediatamente sucessivas no mesmo ramo) e verticais (mesma posição de ramos imediatamente consecutivos) tem sido constatada. A previsibilidade do florescimento é um dos pontos fundamentais para a avaliação das estruturas da planta visando-se à caracterização do ciclo e da produção formada.

Trataremos, neste capítulo, da apresentação e das respectivas aplicações de métodos de avaliação de estruturas vegetativas e reprodutivas da planta. Também serão feitas discussões pontuais sobre as relações entre essas avaliações e fatores abióticos.

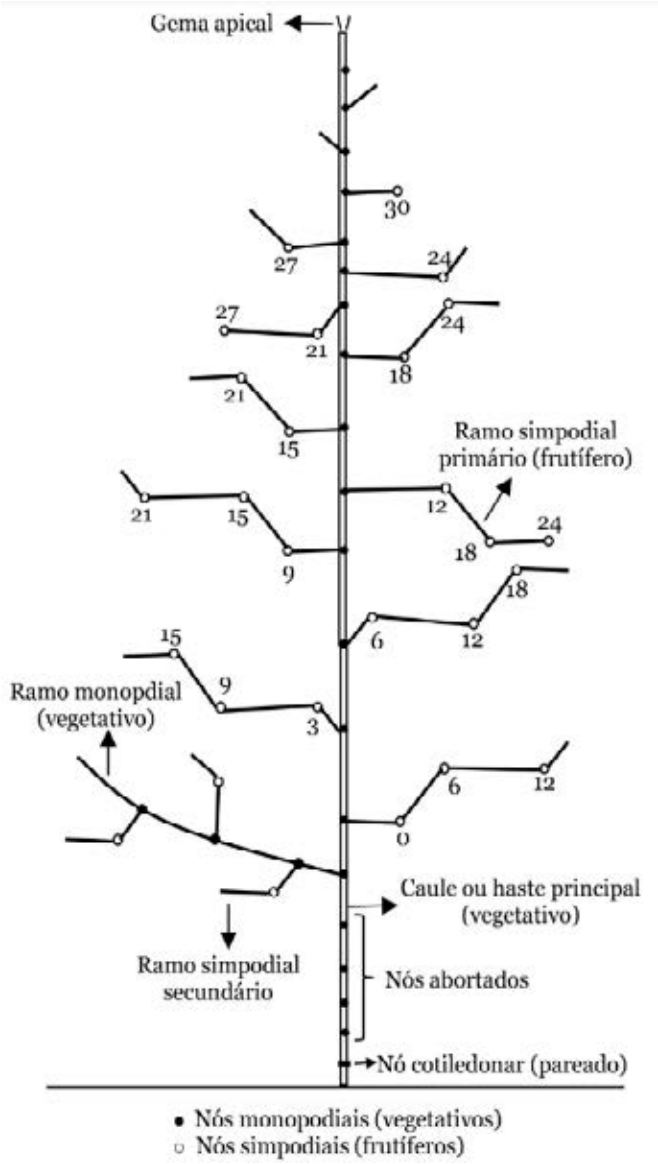


Figura 6. Representação esquemática da estrutura de uma planta de algodão com dias teóricos de abertura das flores nos ramos frutíferos primários, tendo sido atribuído ao dia de abertura da primeira flor o valor "0" (Fonte: McClelland, 1916, e Oosterhuis, 1999)

1. Mapeamento de plantas no algodoeiro

A técnica de localização e identificação de estruturas reprodutivas e vegetativas mediante um critério sistemático é conhecida como mapeamento de plantas. Entre os objetivos do mapeamento estão:

a. Determinar se o crescimento das plantas ocorre ou ocorreu normalmente;
b. Determinar se o progresso do desenvolvimento está adequado de acordo com o manejo planejado;
c. Determinar se a retenção de frutos está adequada ou se são necessários, se possível, ajustes de manejo;
d. Avaliar o balanço entre crescimento vegetativo e reprodutivo;

e. Determinar o início e o fim do manejo de fertilizantes, pragas, irrigação etc;
f. Diagnosticar efeitos ocorridos durante o ciclo sobre a distribuição da produção de capulhos final da planta.

Conforme descrito anteriormente, a planta apresenta nós, entrenós, ramos vegetativos e frutíferos. Os ramos frutíferos, por sua vez, apresentam posições mais proximais ou distais em relação ao caule (Figuras 4, 5 e 6). Todas essas características devem ser levadas em conta para efetuar o mapeamento, que pode ser uma estratégia importante para relacionar o desenvolvimento da planta e a sua capacidade produtiva com observações pontuais ou sequenciais no campo. Há basicamente dois tipos de mapeamento: o mapeamento durante o ciclo, em que as estruturas podem ser avaliadas para diagnóstico do estado atual das plantas ou mesmo para nortear decisões de manejo; e o mapeamento no fim do ciclo, que tem por objetivo a constatação de eventos acontecidos anteriormente, servindo para diagnosticar efeitos ambientais ou de manejo. Uma modalidade desse último caso é a avaliação da distribuição de capulhos ou de sua respectiva produção. Serão abordadas avaliações dentro dessas duas classificações de mapeamento.

No mapeamento, os resultados observados são confrontados com valores referenciais prévios apontados pela literatura científica. No entanto, é importante ressaltar que não há uma forma única definida para todas as condições possíveis, isso porque há uma série de fatores que influenciam as respostas das plantas, incluindo local, tipo de solo, temperatura, manejo, população de plantas, época de semeadura etc. As referências são, de fato, muito úteis, mas, sempre que possível, devem ser aperfeiçoadas para cada ambiente. Reitera-se, nesse contexto, a necessidade de novas pesquisas e levantamentos no Brasil para fornecer valores referenciais de mapeamento em lavouras produtivas considerando-se os novos sistemas de manejo, principalmente aqueles que envolvem o uso da cultura em segunda safra.

A seguir, serão especificadas avaliações de mapeamento. Em áreas de monitoramento durante o ciclo, com boa distribuição de plantas, recomenda-se que se avaliem grupos de ao menos três plantas consecutivas por ponto de avaliação, número que pode ser aumentado em áreas mais desuniformes. O número de pontos de avaliação varia, sendo possíveis resultados satisfatórios em cinco pontos aleatórios em áreas uniformes (regiões uniformes de um mesmo talhão). Para avaliações mais rigorosas e detalhadas, ou em áreas muito grandes ou desuniformes, pode ser necessário, no entanto, aumentar o número de pontos. Avaliações que envolvam colheita de capulhos devem ser delineadas e dimensionadas previamente visando-se a garantir a representatividade da área estudada.

1.1. Altura de plantas

No algodoeiro, a altura total das plantas é normalmente medida como a distância entre o solo e o nó da gema apical da haste principal. Como o algodoeiro apresenta hábito de crescimento indeterminado, a altura é um indicador da magnitude do crescimento vegetativo; a planta é muito responsiva em altura a fatores que afetam sensivelmente o crescimento. Um exemplo é o rápido aumento da altura em resposta a altas doses de adubo nitrogenado. Durante a fase de crescimento vegetativo mais rápido (entre o 1º botão floral e a 1ª flor), podem ser observados incrementos de até 3 cm por dia. O valor final de altura da planta deve estar em torno de 1,5 vez o espaçamento entre linhas; há casos,

porém, de cultivares modernas que são altamente produtivas com plantas mais baixas. É possível, por exemplo, que algumas áreas sejam muito produtivas com espaçamento entre linhas de 90 cm e altura final de plantas de 1,05-1,10 m (1,1-1,2 vez o espaçamento). A altura de plantas é uma avaliação complementar a outras feitas durante ou ao final do ciclo. Alguns fatores de manejo podem influenciar muito a altura durante o ciclo e a altura final, como presença de nematoides no solo, ausência ou excesso nitrogênio no solo, estresse térmico ou hídrico, reguladores de crescimento etc. Medidas de altura podem ser utilizadas para determinar o manejo de regulador de crescimento.

1.2. Números de nós da haste principal

A contagem do número de nós da haste principal é importante para localizar as estruturas vegetativas e reprodutivas das plantas. O número total de nós da haste principal também é utilizado como indicador do crescimento vegetativo e, se avaliado durante o desenvolvimento periodicamente, indica também a velocidade de crescimento; no entanto, o número total de nós da planta é também influenciado por características genéticas. O número final de nós em áreas produtivas no Brasil está geralmente entre 20 e 25, mas pode ser reduzido se a planta for submetida a estresses severos ou quando a semeadura é muito tardia, com pouco tempo para formação de um grande número de nós. A contagem do número de nós inicia-se no primeiro nó verdadeiro (primeiro acima do nó cotiledonar) e vai até o último nó antes da gema apical (Figura 1). Para fins de avaliação durante o desenvolvimento da planta, considera-se como o último nó da planta o mais próximo da gema apical que apresente uma folha da haste com diâmetro de 2,5 cm.

A contagem do número de nós é muito responsiva ao acúmulo de graus-dias até o florescimento; a partir de então, passa a sofrer influência determinante do balanço entre as fontes e os drenos vegetativos e reprodutivos. Taxas de até 3,5 dias para formação de um novo nó são observadas durante as épocas de incremento máximo em média. O intervalo observado para a formação de uma nova folha em um nó da haste principal é, em média, de 5 dias, enquanto que na época de crescimento mais intenso, entre o 6º e o 16º nó, o intervalo pode reduzir-se para 3,5-4 dias.

1.3. Intervalos de florescimento vertical e horizontal

Os intervalos de florescimento entre posições iguais de ramos imediatamente consecutivos (intervalo vertical) ou de posições consecutivas de um mesmo ramo (intervalo horizontal) indicam a velocidade de formação de novas flores; tais intervalos podem variar em função de cultivares ou da temperatura. Conforme já discutido, a relação de intervalo horizontal para vertical está em torno de 2:1. Há registros de intervalo de crescimento horizontal variando entre 5,8 e 8 dias e de florescimento vertical entre dois e quatro dias; esses intervalos são indicadores da precocidade da planta. No exemplo da Figura 6, ilustra-se bem o conceito desses intervalos, no qual enquanto o intervalo de florescimento vertical é três dias, o de florescimento horizontal é de seis.

1.4. Comprimento médio do entrenó

O comprimento médio do entrenó é obtido dividindo-se a altura da planta pelo número de entrenós totais em questão; trata-se de característica muito influenciada pela temperatura, sobretudo no início do ciclo. Em áreas bastante produtivas, com plantas que possuem mais de vinte nós finais, médias de 4,5-5,5 cm/entrenó são encontradas. O aumento de temperatura resulta em maiores valores de comprimento de entrenós, enquanto a redução de temperatura reduz seus valores. Estresses, como deficiência nutricional e baixa disponibilidade de água, também reduzem o comprimento médio do entrenó. A altura da planta é um fator mais responsivo a estresses ambientais do que o número de nós.

O comprimento médio de entrenó de uma planta inteira é um indicador que apresenta a desvantagem de ser uma medida cumulativa. Para tomada de decisão de manejo, são mais úteis os valores dos últimos entrenós da planta, que indicam o crescimento atual. Por exemplo, de acordo com Echer *et al.* (2014), a necessidade de aplicação de regulador de crescimento pode ser definida a partir do comprimento médio de entrenós envolvendo os últimos cinco nós da haste principal (Figura 7).

Figura 7. Medida do comprimento dos entrenós delimitados pelos últimos cinco nós da planta (quatro últimos entrenós), que pode ser utilizada para recomendação de aplicações de reguladores de crescimento (Fonte: Echer *et al.*, 2014)

1.5. Taxa periódica de crescimento

Pode-se determinar as taxas periódicas de crescimento medindo-se, em intervalos sucessivos de tempo, altura, o número de nós e o comprimento de entrenós. Esses valores são bastante úteis quando comparados com plantas referenciais para avaliação de uma cultivar ou de um estresse decorrente do ambiente ou de decisões de manejo. Exemplo: se uma planta tem, em uma avaliação, 50 cm de altura e doze nós e, após dez dias, 75 cm e dezesseis nós, houve um crescimento de (75-50) / (16-12) = 15/4 = 3,25 cm/nó. Considerando-se o intervalo de dias, o crescimento em altura é de (75-50) / 10 dias = 25/10 = 2,5 cm/dia.

1.6. Nó do primeiro ramo frutífero primário

Normalmente, em áreas de produção, o primeiro ramo frutífero aparece assiduamente entre o 4º e o 8º nó da haste principal, ocorrendo mais frequentemente entre o 5º e o 7º nó (Figura 8); o nó em que se situa o primeiro ramo simpodial indica preliminarmente se uma planta tende a um hábito de crescimento mais determinado ou mais indeterminado. No momento em que emite o primeiro

ramo frutífero, a planta já acumulou um desenvolvimento vegetativo prévio. Conforme mencionado, uma vez que se inicia a fase reprodutiva, a velocidade de abertura de flores é maior do que a de formação de novos nós; assim, em algum momento do ciclo, uma flor será aberta no topo da planta. Se o primeiro ramo frutífero situa-se em um nó inferior da haste principal, o desenvolvimento vegetativo prévio foi mais limitado, e uma flor atingirá o topo da planta mais rapidamente. Por outro lado, se a formação do primeiro ramo frutífero é "atrasada" para um nó superior, é indicativo de um desenvolvimento vegetativo prévio maior e, consequentemente, maior duração de tempo até as últimas flores abrirem-se nos últimos ramos, tendo-se, portanto, um ciclo mais longo. Assim, um menor valor do nó de inserção do primeiro ramo frutífero indica uma planta de ciclo mais determinado, de menor duração. Estresses muito severos causados por ataques de nematoides ou compactação do solo reduzem esse nó. Dias com temperaturas médias muito baixas (<20°C) e altas doses de N têm sido associadas a um aumento desse primeiro nó de inserção. Os resultados de pesquisa sugerem uma faixa ótima de temperatura entre 22°C e 25°C para que não ocorra um atraso fenológico desse momento.

1.7. Taxa de retenção percentual nos primeiros cinco ramos simpodiais

Trata-se do percentual de frutos retidos nos primeiros cinco ramos simpodiais, podendo-se considerar na avaliação apenas as primeiras posições de ramo ou todas as posições formadas. Essa contagem deve ser feita quando a última maçã retida no grupo contado já tenha atingido catorze dias após a antese da respectiva flor, visto que, a partir desse tempo, a chance de abscisão é drasticamente reduzida. Esse valor é um indicador da capacidade de produção de frutos precoces e, portanto, da precocidade das plantas; também pode ser interpretado para nortear decisões de manejo. Por exemplo, se a retenção for baixa, possivelmente o crescimento vegetativo é excessivo e demandaria, nesse caso, aplicação de regulador de crescimento. No entanto, se a retenção inicial é baixa e o crescimento vegetativo é baixo, uma possível opção seria a aplicação de nitrogênio em cobertura, caso seja possível alongar o ciclo. No início do ciclo, retenções inferiores a 80% indicam perdas por estresses ambientais ou ataques de pragas; atenção especial deve ser dada durante o período de desenvolvimento entre o 7º e o 16º nó, pois nessa região é produzida a maior parte da fibra e onde está a fibra de melhor qualidade.

1.8. Nós acima da primeira flor branca (NAFB)

No momento da abertura da primeira flor do primeiro ramo reprodutivo, normalmente entre cinquenta e sessenta dias após a emergência, há uma série de nós, folhas de haste e ramos acima dela que indicam o "crescimento acumulado" da planta até o momento. Se esse número de nós é grande, houve grande crescimento acumulado anterior, e infere-se que haverá mais sítios de frutificação disponíveis para a formação de flores e frutos. Por outro lado, se esse número for baixo, o florescimento levará menos tempo para alcançar o topo da planta, o que está relacionado a uma redução do número de frutos a serem produzidos. Em sistemas de manejo tradicional, preconiza-se que as plantas tenham entre oito e dez nós acima da primeira flor no momento de sua abertura. Se esse número for inferior a oito, a planta provavelmente está submetida a um tipo de estresse que limitou o crescimento anterior e provavelmente terá sua produção final reduzida. Quanto menor esse valor, maior o "estresse acumulado" da planta. Uma ilustração da contagem de nós acima de primeira flor branca está na Figura 8.

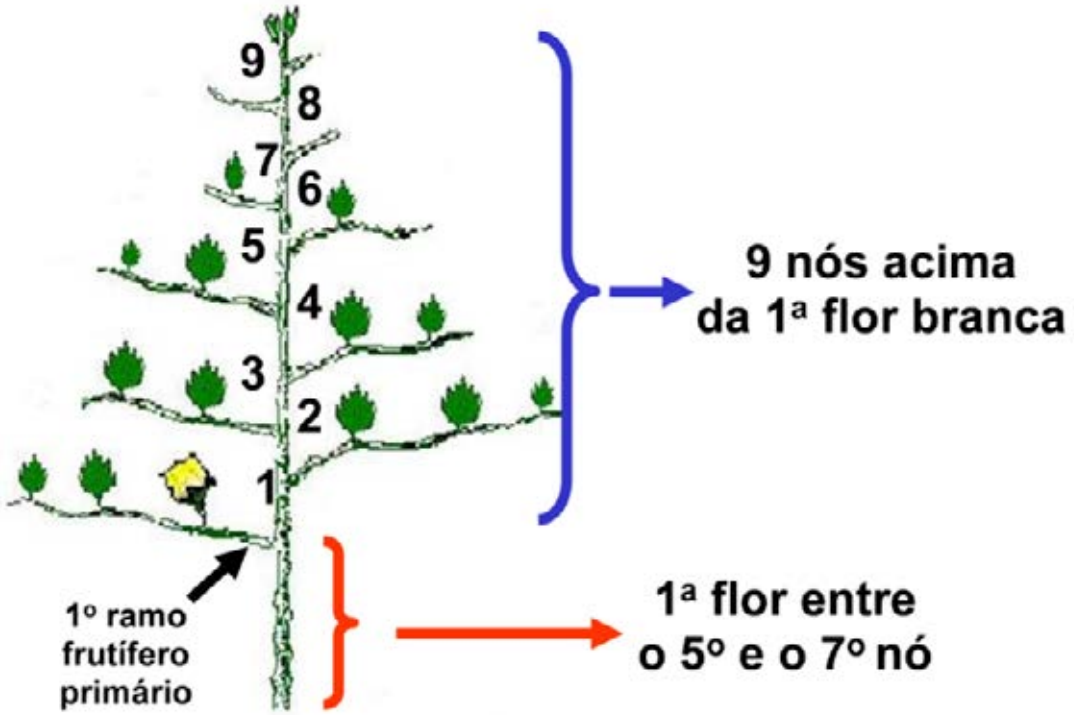


Figura 8. Localização do 1º ramo frutífero primário, onde se situa a primeira flor, e a contagem de nós acima dessa estrutura (Fonte: C. A. Rosolem)

Ao longo do florescimento, o número de nós acima da última flor branca aberta também pode ser monitorado; conforme o florescimento ocorre nas demais posições da planta e os frutos se desenvolvem, essa "distância nodal" entre a flor branca e o ápice da planta é gradativamente reduzida, pois os frutos são a demanda prioritária de fotoassimilados. A competição entre drenos vegetativos e reprodutivos é maior conforme o número de frutos retidos aumenta, o que resulta em cada vez menos recursos disponíveis para a formação de novos tecidos vegetativos.

1.9. Ponto de corte fisiológico (NAFB = 5)

Conforme as maçãs (frutos) são formadas após o florescimento, tornam-se os drenos prioritários da planta, de modo que os recursos disponíveis para formação de novas estruturas ficam cada vez mais escassos a um ponto em que cessa o desenvolvimento de novos nós, ponto esse conhecido como "corte fisiológico" ou simplesmente "corte" (*cut out*, em inglês). Tal momento é evidenciado pela paralisação do crescimento vegetativo e pela ocorrência posterior de muitos abortos. Do ponto de vista teórico, o corte fisiológico é o momento em que o crescimento das maçãs iguala-se ao crescimento da cultura. Do ponto de vista prático, essa condição é diagnosticada quando há, acima da última flor branca de primeira posição, cinco nós na haste principal (Figura 9); essa flor delineia os frutos que efetivamente contribuem para a colheita. Como esse momento indica o fim do crescimento vegetativo, serve como um prognóstico da duração do ciclo, da maturidade cultural e da produção potencial; é normalmente avaliado em número de dias ou de nós da haste principal. O intervalo entre o aparecimento da primeira flor e o ponto de corte é variável, mas, em geral, situa-se entre vinte e trinta dias.

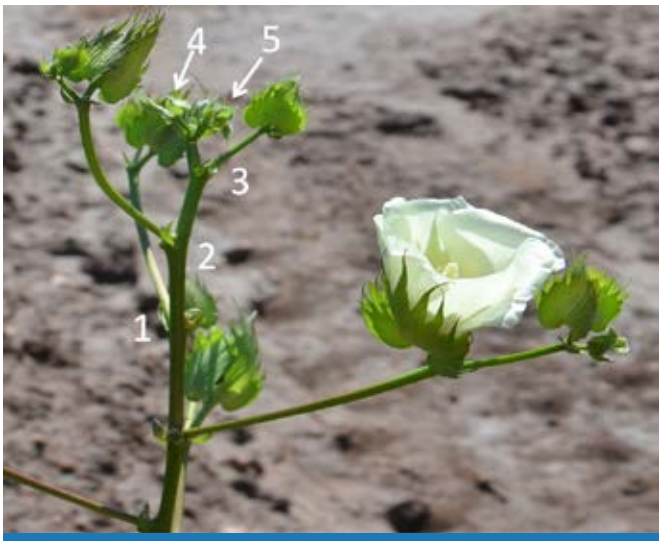


Figura 9. Planta em ponto de corte fisiológico (cut out), com cinco nós a partir da última flor de 1ª posição até o nó terminal (Fonte: Byrd, 2017)

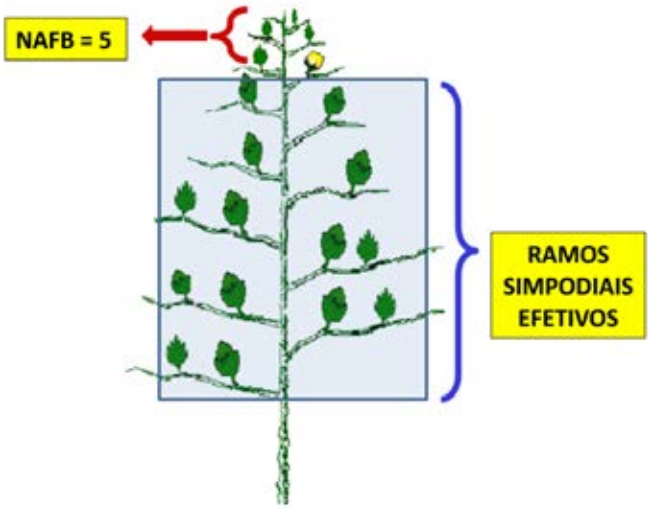


Figura 10. Identificação do ponto de corte fisiológico (NAFB = 5) e dos ramos simpodiais efetivos (Fonte: C. A. Rosolem)

O ponto de corte pode ser alterado, dependendo da presença de fatores que limitem ou estimulem o crescimento vegetativo. Fatores que limitam o crescimento, como déficit hídrico, redução da temperatura e altas doses de regulador, reduzem o ponto de NAFB correspondente ao corte, ao passo que condições de irrigação sem limitações ao desenvolvimento aumentam o ponto de NAFB em que se atinge o corte. Pode-se considerar, porém, como referencial, o valor de NAFB = 5 como indicador prático do ponto de corte.

1.10. Número de ramos simpodiais efetivos

Trata-se do número de ramos simpodiais entre o primeiro e aquele que contém a flor acima da qual se contam cinco nós (flor do corte fisiológico) até a gema terminal (NAFB = 5). A contagem de número de ramos simpodiais efetivos (ou da zona efetiva de frutificação) associada ao critério de corte está ilustrada na Figura 10. É normal serem encontrados entre dez e treze ramos simpodiais efetivos em plantas bastante produtivas. Um segundo método para determinar o número de ramos efetivos é localizar, ao fim do ciclo, o nó da planta correspondente a 95% da produção acumulada. É normal, em plantas bem desenvolvidas, que esse ponto seja atingido entre o 16º e o 19º nó, mas pode haver variações relativamente altas dependendo da cultivar e das condições ambientais e de manejo.

1.11. Retenção de frutos em primeira posição na zona efetiva de frutificação

Por ocasião do ponto de corte fisiológico, na zona de ramos simpodiais precedentes (inferiores) àquele em que se tem NAFB = 5, é possível determinar também o percentual de frutos retidos em primeira posição de ramo. Por exemplo, se o ramo em que se tem NAFB = 5 é o 16º, devem ser contados o número de frutos retidos em primeira posição de ramos simpodiais até o 16º nó. A contagem é iniciada no primeiro ramo frutífero primário, na parte inferior da planta, e segue até o ramo em que NAFB = 5. Em seguida, deve-se dividir o número de maçãs retidas pelo número de posições (de 1ª posição) contabilizadas, calculando-se, assim, o percentual de frutos retidos na zona efetiva. Alternativamente, essa avaliação pode ser efetuada no fim do ciclo, segundo a literatura, calculando-se a taxa de retenção adotando-se como limite superior da planta o ramo em que a contagem chega a 95% do número (ou da produção) de capulhos acumulados. Esse é um valor preliminar indicativo da produção e da qualidade de fibra, visto que os frutos de primeira posição são, geralmente, os que mais contribuem para a produção final e os que possuem melhor qualidade de fibra.

1.12. Nós acima da maçã em abertura (NAMA)

Conforme os frutos completam a deiscência, aproxima-se o momento da colheita. No algodoeiro, aplicam-se desfolhantes e promotores (aceleradores) de abertura de frutos para preparar a colheita. Um dos critérios para definir o momento da aplicação é o número de nós acima da maçã em abertura. Como recomendação geral, é indicado que se o número de nós contado acima da maçã em primeira posição em abertura até o ramo que contém a última maçã de primeira posição que se deseja colher for igual ou inferior a quatro, a desfolha pode ser feita sem que haja perda de produtividade e de qualidade de fibra (Figura 11). Por outro lado, caso haja perda de uma fração do dossel por abortamento excessivo, o terço médio, por exemplo, e a planta tenha capulhos no baixeiro (até o 9º ou 10º nó), falha no terço médio (11º ao 14º nó) e maçãs em desenvolvimento nos nós do ponteiro (acima do 15º nó), é prudente avaliar qual o impacto de uma desfolha precoce na perda de peso e de qualidade das maçãs do terço superior da planta e, em algumas situações, aguardar mais um pouco.

Figura 11. Identificação do número de nós com ramos produtivos acima da maçã em abertura (NAMA) e dos ramos simpodiais efetivos. Note que, de acordo com o critério NAMA = 4, uma aplicação de produtos para preparação da colheita ainda não é recomendada (Fonte: C. Craig (https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W075.pdf))

2. Outras considerações sobre o mapeamento - aspectos fisiológicos e de manejo

Os resultados do mapeamento estão muito relacionados com o balanço entre fonte (área foliar fotossintetica-mente ativa) e drenos vegetativos e reprodutivos. O pico de fotossíntese líquida das plantas aumenta durante o florescimento (fase entre os 7º e 18º nós ao longo do ciclo), de modo que a sustentação das estruturas é dependente da quantidade e da idade das folhas; a idade da folha é um fator que altera a relação fonte-dreno de uma estrutura. Tipicamente, a folha atinge seu pico de fotossíntese aos 20-25 dias, decaindo logo em seguida até sua senescência, aproximadamente aos sessenta dias de vida. Conforme o ciclo avança e a formação de novas folhas é reduzida, o balanço fonte-dreno é cada vez mais direcionado no sentido de crescimento das maçãs.

Reitera-se que o crescimento vegetativo não deve ser pequeno, pois a ausência de formação de novas folhas inviabilizará a retenção e a produção de grandes quantidades de frutos, além de que a duração do ciclo será reduzida. Por outro lado, um crescimento vegetativo excessivo não é desejável, porque o número de frutos iniciais abortados aumenta, prejudicando a produção, sobretudo quando o ciclo não pode ser prolongado para compensar as estruturas perdidas por fatores ambientais. No entanto, mesmo quando há um efeito compensatório observado, o aborto de frutos iniciais

poderá resultar em redução da qualidade final de fibra quando os novos frutos forem formados em temperatura e disponibilidade hídrica decrescentes.

Quando se inicia o florescimento, as avaliações de taxas de crescimento vegetativo e de comprimento médio de entrenós são menos efetivas para prognosticar a velocidade de crescimento e o equilíbrio fonte-dreno do que o número de nós acima da flor branca. Isso é verificado porque, a partir dessa fase, os drenos reprodutivos exercem grande influência sobre a partição de fotoassimilados e, consequentemente, sobre o crescimento final.

Ao longo do ciclo, o número de nós contado que originam ramos simpodiais pode ser comparado com valores esperados. Com base na interpretação realizada, medidas de manejo podem ser adotadas; se o valor for menor do que o esperado, um estresse pode estar ocorrendo. Uma adubação nitrogenada de cobertura visando ao alongamento do ciclo pode ser uma opção. Se for maior do que o esperado, é recomendável conferir se o crescimento vegetativo é excessivo e se há a necessidade de aplicação de regulador de crescimento. Plantas que recebem doses de reguladores muito altas, por outro lado, podem apresentar redução no número total de nós da planta.

3. Maturidade do algodoeiro

Diagnosticar a maturidade das plantas é importante para predizer sua capacidade produtiva, mensurar seu crescimento acumulado indiretamente e definir o manejo no fim do ciclo. Geralmente, uma cultura apresenta duas fases de maturidade: a maturidade fisiológica propriamente dita e a maturidade de colheita. No algodoeiro, alguns pesquisadores adicionaram um terceiro tipo, a maturidade agronômica.

A maturidade fisiológica da planta é atingida quando o último fruto da planta finaliza sua maturação; a maturidade agronômica é definida como o momento em que as plantas podem receber a aplicação de produtos para preparação da colheita e pode coincidir ou não com a maturidade fisiológica. Quando as plantas estão agronomicamente maduras, os produtos não causarão danos aos frutos que se deseja colher, como, por exemplo, impedimento da finalização da maturação das fibras. Há alguns critérios para definir a maturidade agronômica da cultura, sendo os três principais:

a. Nós acima da maçã em abertura ≤ 4 (já descrito anteriormente);
b. Diagnose visual da maturidade do fruto, conhecida como técnica do corte da maçã: realiza-se um corte transversal na última maçã de primeira posição de ramo que se pretende escolher. Se as sementes apresentarem tegumento escurecido e consistência firme, a desfolha pode ser feita; se a consistência for gelatinosa e o tegumento ter coloração clara, o estágio de maturidade não foi atingido; e
c. Percentual de capulhos abertos: considera-se que a aplicação pode ser feita quando entre 60% a 70% dos frutos já estão abertos. Esse critério pode ser impreciso quando a planta tiver um padrão alterado de desenvolvimento, sendo recomendado ser combinado com os dois anteriores.

A maturidade do fruto, por sua vez, é atingida quando a maturidade de fibras e sementes em seu interior é verificada. A maturidade da fibra é definida em termos do espessamento de sua parede celular secundária que ocorre através da síntese e da deposição gradual de camadas concêntricas de celulose; as fibras que completam esse processo de espessamento atingem sua maturidade. A maturidade da fibra é determinada instrumentalmente. Por fim, a maturidade de colheita é o momento a partir do qual a colheita pode ser feita.

Uma característica comumente referida e preconizada em muitas situações, tendo-se como referência a maturidade da cultura, é a precocidade das plantas. Precocidade é a capacidade de uma planta desenvolver-se rapidamente e atingir sua maturidade fisiológica em um prazo mais curto no período disponível de uma safra.

As medidas de mapeamento para diagnosticar a maturidade são classificadas em temporais ou cronológicas (baseadas em uma escala de tempo) e relativas (baseadas na localização da planta, sem uma escala cronológica).

4. Medidas para diagnosticar a precocidade da maturidade

A seguir, são apresentados alguns métodos para diagnosticar a precocidade das plantas, ou, em termos mais exatos, a precocidade da maturidade das plantas.

4.1. Medidas efetuadas durante o ciclo (medidas que prognosticam maior ou menor precocidade)

São empregados como medidas para prognosticar a precocidade da maturidade da planta durante o ciclo:

a. Número de dias em que se verificam o aparecimento do primeiro botão floral e a abertura da primeira flor;
b. Taxa de aparecimento de novos botões florais em intervalos pré-definidos de tempo;
c. Intervalos de florescimento horizontal e vertical (já descrito anteriormente);
d. Dias necessários para o corte fisiológico (NAFB = 5);
e. Dias até a data da maturidade fisiológica primeira maçã ou a até a data de sua abertura. A maturidade do fruto é diagnosticada pela técnica do corte da maçã, conforme o procedimento descrito na seção anterior. No entanto, neste caso, essa avaliação é realizada sobre o primeiro fruto da planta;
f. Duração, em dias, do período entre a abertura da flor branca e a abertura do respectivo fruto (é comum o uso da escala de graus-dias, por conta das variações de temperatura nessa fase). Em vez da abertura do fruto, pode-se utilizar como momento final desse período a maturidade do fruto.

4.2. Medidas temporais ou cronológicas ao fim do ciclo ou associadas à colheita

São empregados como medidas temporais para diagnosticar a maturidade da planta:

a. Número de dias após a emergência em que o número de nós acima da maçã em abertura é igual a quatro (NAMA = 4);
b. Número de dias após a emergência em que se verifica abertura de 60-65% dos frutos;
c. Data média de maturidade de colheita, calculada como a média ponderada a partir da produção (peso) parcial de colheitas sucessivas:

$$DM = \frac{P_1 \text{ X } Data_1 + P_2 \text{ X } Data_2 + ... + P_n \text{ X } Data_n}{P_1 + P_2 + ... + P_n}$$

onde DM é a data média de maturidade de colheita; P_1, P_2 e P_n são, respectivamente, os valores de pesagem de algodão na primeira, segunda e última colheitas sucessivas; e $Data_1$, $Data_2$ e $Data_n$ são as datas (em dias após a emergência) da primeira, segunda e última colheita, respectivamente.

4.3. Medidas relativas no fim do ciclo ou associadas à colheita

Como medidas relativas associadas à colheita de capulhos, podem ser determinados, em datas específicas (pré-determinadas):

a. Nós acima da maçã em abertura;
b. Quantidade de capulhos colhidos (cumulativa ou não), em duas ou mais colheitas sucessivas;
c. Percentual da produção colhida em duas ou mais colheitas sucessivas;

d. Percentual de frutos abertos (em contagens sucessivas ao longo do tempo);
e. Distribuição de capulhos na planta (será detalhado mais adiante).

5. Distribuição de capulhos nas plantas - mapeamento de capulhos e mapeamento da produção

Antes da colheita, uma avaliação comumente realizada principalmente em pesquisas para observar efeitos ambientais ou de manejo, ou mesmo para comparar genótipos, é a distribuição de capulhos nas plantas. Os capulhos são identificados segundo o nó da haste principal e a respectiva posição de frutificação do ramo (Figura 12); posteriormente, os resultados podem ser agrupados por frações da planta, havendo uma série de critérios possíveis. Conhecendo-se o peso dos capulhos, pode-se estimar a produtividade final por unidade de área, sendo para isso necessário conhecer os espaçamentos entre linhas e na linha de plantas.

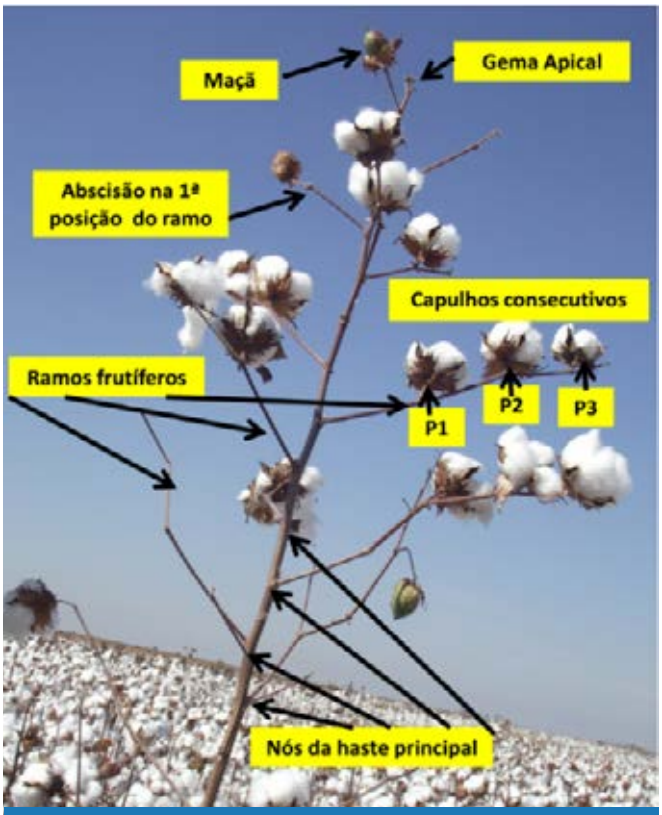


Figura 12. O mapeamento de capulhos ou da produção envolve a localização das estruturas com base em sua identificação e distribuição segundo o nó da haste principal e posição de ramo. P1, P2, e P3 referem-se, respectivamente à primeira, segunda e terceira posições de frutificação do ramo frutífero. A identificação de posições sem capulhos (abortadas) é importante para que se evitem erros de análise (Fonte: J. P. A. Raphael)

Os valores finais também podem ser calculados em percentuais relativos à produção total. Algumas das avaliações possíveis de distribuição de capulhos serão apresentadas a seguir:

a. Nó da haste principal em que se atingem 95% da produção final da planta;
b. Produção acumulada a cada nó da haste principal, ou a cada posição de frutificação, segundo a ordem cronológica ou a escala fenológica, tendo-se como referência a primeira posição de ramo;
c. Produção por grupos de nós da haste principal, com ou sem subdivisões por posição de ramo (posição 1, posição 2, posição 3 etc., em um mesmo ramo frutífero). Um exemplo desse caso é o agrupamento de capulhos por terços da haste principal (terços inferior, médio e superior) dos nós que originam ramos simpodiais primários.

Há, além dessas, outras formas de avaliar a distribuição de capulhos, que dependerão dos objetivos do avaliador. O mais importante, nesse contexto, é saber que o algodoeiro apresenta um padrão de florescimento e, portanto, de abertura de capulhos, caracterizado por uma boa previsibilidade de ordenamento cronológico. Frutos localizados em ramos inferiores são mais velhos do que aqueles localizados em superiores, ao passo que frutos localizados em posição de ramo mais próxima da haste principal são também mais velhos do que aqueles em posição mais distante, com raras exceções em situações anormais.

Consequentemente, a distribuição de capulhos pode ser empregada para constatar a influência de fatores ambientais durante o ciclo. De acordo com o que se conhece a partir dos resultados experimentais, determinadas respostas das plantas em termos de distribuição final estão associadas com esses fatores.

Procedimentos práticos e analíticos do mapeamento de capulhos e de sua produção no campo são o tema do manual de "Mapeamento da produção do algodoeiro" (https://imamt.org.br/mapeamento-da-produc%cc%a7a%cc%83o-no-algodoeiro-embasamentos-e-realizac%cc%a7a%cc%83o-a-campo/).

A seguir, serão tratadas relações entre componentes ambientais e a distribuição final de capulhos.

5.1. Distribuição de capulhos e temperatura

No início do ciclo, a temperatura é o fator mais influente no crescimento da planta, o que é constatado por altas correlações positivas entre o aumento de altura e de número de nós com o acúmulo de graus-dias. Ao final do florescimento, a temperatura pode afetar a retenção de frutos jovens; temperaturas baixas nesse período (<20°C) atrasam a abertura da flor, o que leva à redução da viabilidade dos grãos de pólen. Consequentemente, a fecundação pode ser prejudicada ou inviabilizada, levando à abscisão ou à má-formação do respectivo fruto. Poderá ocorrer a formação de "lacunas" na planta por conta desse efeito. Se o fenômeno for verificado com as primeiras flores, a planta poderá compensar total ou parcialmente os frutos perdidos em posições mais tardias, o que resultará em um aumento no número de frutos e produção em ramos superiores e/ou em posições mais distais dos ramos. Temperaturas diurnas excessivamente altas não têm sido relatadas frequentemente como um problema crítico durante o florescimento, mas as implicações são semelhantes. A temperatura muito alta durante o dia pode afetar a retenção e o tamanho dos frutos pelo mau desenvolvimento dos gametófitos e pela redução da fotossíntese líquida nas folhas. Sabe-se, porém, que em regiões de menor altitude, a temperatura noturna elevada (acima de 25°C) vem ocorrendo nos meses de fevereiro e março, coincidindo com o início dos botões florais e metade do florescimento; as temperaturas noturnas altas resultam em aumento do consumo de energia por meio da respiração e aumentam os riscos de estresses. Frutos recém-formados podem sofrer abscisão ou ter seu crescimento reduzido, alterando a distribuição da produção da produção de capulhos dentro da planta.

No período de maturação das maçãs, sobretudo das mais jovens, as temperaturas são decrescentes (abril a junho). A velocidade de crescimento das sementes é menor, assim como as taxas de deposição de celulose são mais baixas nas fibras. Assim, frutos mais jovens, que se situam nas regiões mais altas da planta, são, em geral, mais leves e mais propensos a conter altas proporções de fibras imaturas.

5.2. Distribuição de capulhos e estresse hídrico (seca e alagamento)

A presença de períodos de seca durante o florescimento (veranicos) pode resultar em um grande número de abscisões de frutos jovens; o mesmo fenômeno pode ocorrer com botões florais. Se o ciclo for curto e não houver ambiente que possibilite a compensação da produção perdida, poderá haver a quebra de produtividade. Nesse caso, a produção estará situada em regiões mais baixas da planta e em posições mais proximais de ramo. Se o ciclo for longo e houver possibilidade de compensação, a proporção de frutos mais tardios será maior. As implicações sobre peso de capulhos e qualidade de fibra serão, então, bastante dependentes da temperatura.

As possibilidades de solos alagados (hipoxia) no Brasil são maiores no início do ciclo (dezembro-janeiro) em regiões mais afetadas pela Amazônia, podendo ocorrer nos meses de fevereiro e março, a depender do regime hídrico, da textura do solo e da capacidade de infiltração. O fenômeno limita o desenvolvimento radicular, que se concentrará próximo à superfície, tornando a planta

mais vulnerável ao déficit hídrico durante o florescimento. A hipoxia durante a fase de botões florais aumenta o número de abscisões em resposta ao aumento da síntese de etileno. Haverá grande possibilidade de que novas estruturas sejam retidas em posições mais tardias, as quais constituirão uma maior proporção da produção final.

5.3. Distribuição de capulhos e luz

A presença de luz é um fator crítico para assegurar a retenção de estruturas reprodutivas entre o início do florescimento e os primeiros vinte dias da fase de enchimento de maçãs. A ocorrência de dias nublados prolongados aumenta a frequência de abortamentos de frutos jovens, de modo que novas estruturas poderão ser retidas e desenvolvidas em posições mais tardias (nós superiores e/ou posições mais distantes da haste principal). Assim, o sombreamento aumenta as probabilidades de que frutos de sítios de frutificação mais tardios tenham maior contribuição na produção final, os quais estarão sujeitos às limitações térmica e hídrica do fim do ciclo. Frutos que foram retidos durante épocas de restrição luminosa são propensos a serem mais leves e possuírem mais fibras imaturas, fenômenos decorrentes tanto da redução na fotossíntese quanto na atividade de enzimas-chave para a deposição de celulose (sacarose sintase, por exemplo).

5.4. Distribuição de capulhos e adubação nitrogenada

A adubação com doses muito altas de N favorece o crescimento vegetativo e o alongamento do ciclo. Consequentemente, a planta tende a abortar frutos jovens situados em posições mais precoces de frutificação, para priorizar a formação de folhas, ramos e o alongamento do caule; assim, há uma proporção maior de capulhos situados em ramos superiores. Esses capulhos poderão ser formados em condições mais desfavoráveis do que aqueles que foram abortados, tendo peso reduzido e qualidade de fibra prejudicada, com fibras imaturas, além do aumento do custo de produção para o controle do bicudo. Assim, a decisão de um aumento de dose ou da inclusão de uma adubação de N em cobertura adicional deve levar em conta se é compensatória por conta desses possíveis prejuízos.

5.5. Distribuição de capulhos e estresses severos

Se as plantas são mantidas de modo prolongado sob um estresse severo, como compactação do solo, ataque de nematoides, ou até mesmo seca, sem que haja condições disponíveis para compensação da produção perdida mediante o desenvolvimento de novas estruturas vegetativas e reprodutivas, o resultado será um encurtamento do ciclo com perdas severas de produtividade. O corte fisiológico é atingido mais rapidamente por conta das limitações impostas. A distribuição de capulhos será, então, concentrada em um pequeno número de ramos, que apresentarão geralmente no máximo duas posições de frutificação; esses ramos estarão situados provavelmente na região mais baixa da planta, ou seja, nos primeiros nós de onde emergem os ramos frutíferos primários. Ao final, espera-se que um menor número de nós seja formado na haste principal em comparação a plantas bem desenvolvidas. A distribuição poderá ser aparentemente desuniforme, com regiões vazias na planta.

5.6. Distribuição de capulhos e população de plantas

O aumento da população de plantas significa, em termos práticos, maior competição entre plantas vizinhas; a área de ocupação de cada planta é reduzida. Inicialmente, pode haver um estiolamento nas primeiras fases do ciclo, mas, conforme a competição por água, luz, nutrientes e espaço aumenta, o crescimento diminui mais rapidamente. O resultado é que as plantas serão mais compactas, com ramos mais curtos (Figura 13); nessas condições, há um aumento da proporção de capulhos de primeira posição de ramo. O corte fisiológico é atingido mais rapidamente, e o ciclo da planta tende a ser mais curto; a produção será concentrada em uma menor faixa de nós e posições de ramos. Além disso, o autossombreamento pode aumentar o abortamento das estruturas frutíferas e, com a perda dos drenos, pode ocorrer crescimento vegetativo excessivo, aumentando a demanda por regulador de crescimento. Do contrário, a planta ficará muito alta, dificultando a colheita.

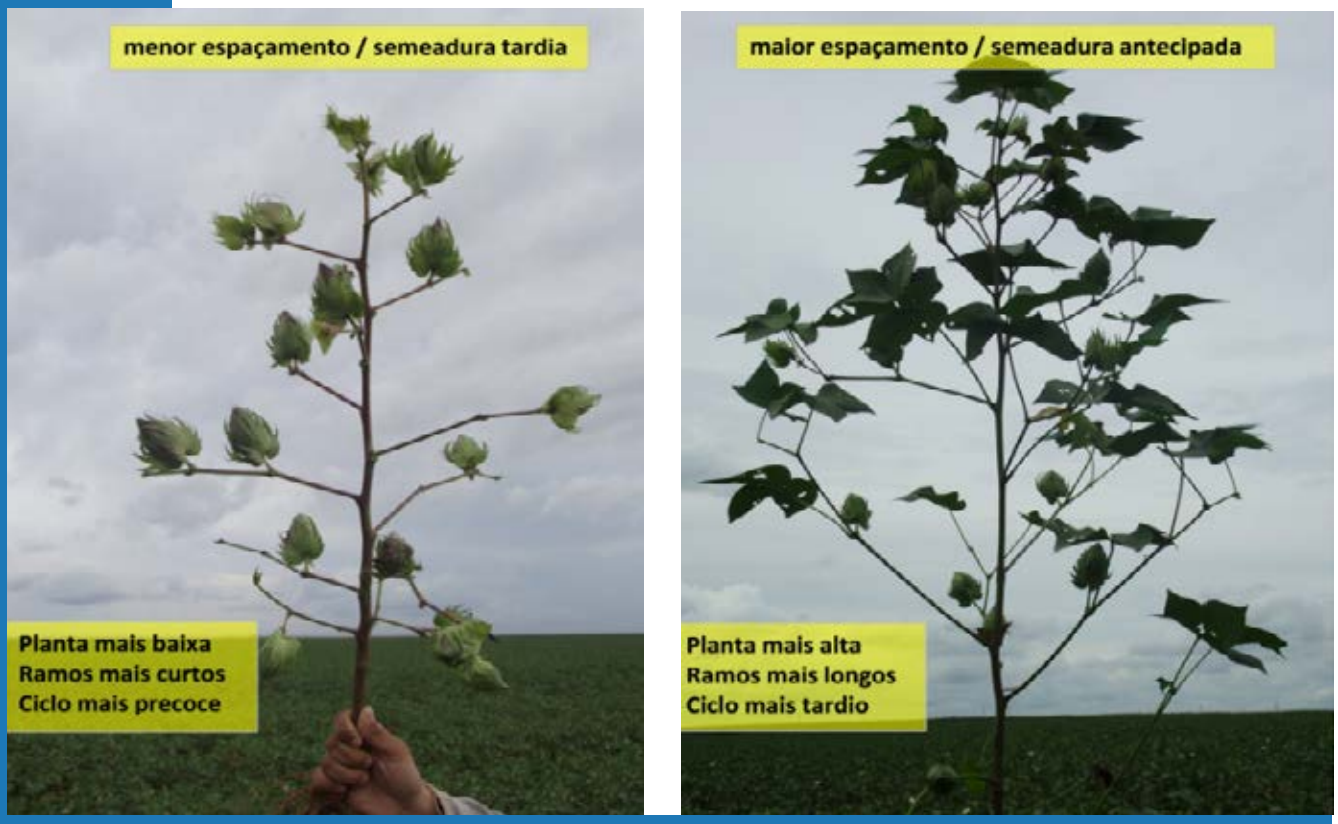


Figura 13. O mapeamento de plantas permite diferenciar padrões de crescimento e de distribuição de frutos por conta de fatores ambientais ou de manejo. Por exemplo, plantas semeadas mais tardiamente e em menor espaçamento são mais compactas do que aquelas semeadas anteriormente e em maior espaçamento (Fonte: J. P. A. Raphael)

5.7. Distribuição de capulhos e duração do ciclo

Quanto maior o ciclo, maior o número de posições de frutificação que produzem capulhos, exceto quando as perdas iniciais são grandes. Um ciclo mais longo poderá estar, então, diretamente relacionado à produção individual de cada planta, cujos capulhos estarão distribuídos por um grande número de posições. Por outro lado, um ciclo mais longo pode ser resultado também de um desequilíbrio entre fontes e drenos, com crescimento vegetativo excessivo e pouca retenção de frutos. Se esses frutos estiverem situados em posições mais tardias, o que é bastante provável, além de perdas de produtividade, ocorrerão perdas de qualidade de fibra. A adubação excessiva de N, conforme descrito anteriormente, pode levar a essa situação.

5.8. Distribuição de capulhos e época de semeadura

A época de semeadura nas principais regiões produtoras do Brasil estende-se de dezembro a fevereiro, com a colheita geralmente ocorrendo de junho a agosto. Conforme a época de semeadura é atrasada, reduz-se o tempo disponível para completar o ciclo. As plantas crescem menos, tendo porte mais baixo e menor número de nós, e os ramos também

se encurtam (Figura 13). A produção por planta individual é reduzida, concentrando-se em um menor número de posições na planta. Nos últimos anos, o algodoeiro tornou-se predominantemente uma cultura de segunda safra em Mato Grosso, tendo sido, em muitos locais, sua semeadura transferida de dezembro para meados de janeiro. Na safra atual (2018/2019), observou-se que uma boa parte das lavouras foi semeada no espaçamento de 0,9 m, em semeaduras que, em sua maioria, ocorreram até 20/1. O aumento do espaçamento (comumente o de 0,76 m era utilizado), aliado à redução da população de plantas, tem proporcionado melhor fixação de frutos do baixeiro e do terço médio. Nessa configuração de semeadura (espaçada e pouco densa), há possibilidade de compensação lateral de estruturas nas posições 2 e 3+, diminuindo a dependência do ponteiro, deixando a lavoura mais precoce. Por outro lado, sob altas populações, as chances de recuperação de abscisões são reduzidas e, mesmo com alta retenção de frutos precoces, há um aumento do risco de queda da qualidade de fibra, visto que boa proporção do total pode desenvolver-se com restrições ambientais.

5.9. Distribuição de capulhos e regulador de crescimento

Aplicação de reguladores (retardadores) de crescimento (cloreto de mepiquat e cloreto de chlormequat) é realizada para evitar o crescimento vegetativo excessivo e, assim, impedir o aborto de frutos situados nas regiões inferiores da planta. A finalidade é otimizar o balanço entre fontes e drenos de fotoassimilados para assegurar boa retenção e crescimento das maçãs. Nesse sentido, aplicações de retardadores favorecem a redução da duração do ciclo, tornando as plantas mais compactas e permitindo melhor passagem de luz através do dossel. Com o melhor equilíbrio fonte-dreno, as maçãs apresentam-se mais uniformes e não perdem peso. A distribuição de capulhos concentra-se em menor número de posições frutíferas, situadas mais próximas entre si fenologicamente. Porém, a aplicação excessiva ou realizada em um momento em que a planta está em situação desfavorável para seu crescimento pode limitar a retenção de novas estruturas e reduzir irreversivelmente a produtividade. Assim, é importante uma abordagem criteriosa na aplicação desses produtos.

5.10. Distribuição de capulhos e qualidade de fibra

Desconsiderando-se as influências exercidas pelas etapas de colheita, armazenamento e beneficiamento, a qualidade final da fibra de uma área de algodão é o resultado da contribuição individual de cada sítio de frutificação. É, assim, dependente da qualidade estimada para cada posição de capulho nas plantas e de sua respectiva proporção em relação ao total. Logo, a qualidade de fibra de um fardo está diretamente relacionada à proporção de capulhos com boa ou má qualidade de fibra. De modo geral, capulhos produzidos em épocas mais quentes e sem restrição hídrica, os quais predominantemente se situam no terço inferior e em primeira posição do terço médio dos ramos frutíferos da haste principal, apresentam maior peso e maturidade de fibra. Por outro lado, capulhos produzidos mais tardiamente, localizados em ramos superiores e em posições mais distais dos ramos, desenvolvem-se em uma fase em que há maior competição por recursos com os frutos mais precoces. Além disso, as temperaturas e a disponibilidade hídrica são decrescentes e podem tornar-se altamente restritivas para os frutos mais tardios; esses capulhos, então, tendem a apresentar menor peso e maior proporção de fibras imaturas. Se o percentual de fibras imaturas no fardo estiver acima do limite preestabelecido, o produto receberá um deságio. A resistência da fibra também poderá ser prejudicada, visto que a diminuição de deposição de celulose torna-a mais suscetível à ruptura. O índice de fibras curtas também poderá aumentar, e o

comprimento e a uniformidade de comprimento ser reduzidos; no entanto, alterações relacionadas à maturidade são mais esperadas, pois a fase de alongamento da fibra é anterior à de maturação e é menos afetada por baixas temperaturas. É possível, portanto, que o perfil de distribuição de capulhos na planta seja útil para compreender melhor os resultados de qualidade de fibra.

6. Mapeamento da carga frutífera antes da colheita

O mapeamento antes da colheita tem por finalidade auxiliar na definição do momento da capação final (*cut out*). Um modelo de planilha de campo é apresentado na Figura 14.

Espaçamento			
Stand			
Planta 1			
	Posição do ramo		
Nó	1	2	3
RV	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	M	M	0
9	M	0	0
10	M	0	0
11	M	0	0
12	M	0	0
13	0	0	0
14	0	M	0
15	M	B	0
16	M	B	0
17	B	0	0
18	B	0	0
19	B	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0

Planta 2			
	Posição do ramo		
Nó	1	2	3
RV	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	M	0	0
6	M	0	0
7	M	0	0
8	M	0	0
9	M	M	M
10	0	M	0
11	0	M	0
12	M	0	0
13	0	0	0
14	M	B	B
15	M	B	0
16	B	0	0
17	B	0	0
18	B	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0

Planta 3			
	Posição do ramo		
Nó	1	2	3
RV	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	M	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	B	0
13	0	0	0
14	M	0	0
15	B	0	0
16	B	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0

Figura 14. Modelo de planilha utilizada para indicação das estruturas reprodutivas em cada nó e posição frutífera (Fonte: Autoria própria)

O monitor deverá indicar na respectiva posição frutífera de cada nó qual estrutura está presente ou ausente: C para capulho; M para maçã; F para flor e B para botão floral. Recomenda-se a avaliação de três plantas por ponto e de pelo menos cinco pontos por talhão; é importante que se anote o estande no local em que as plantas foram monitoradas. No escritório, a planilha de campo servirá de base para o preenchimento de uma planilha eletrônica (Figura 15).

Espaçamento	
Stand	

Maçãs											
Planta 1				Planta 2				Planta 3			
	Posição				Posição				Posição		
Nó	1	2	3	Nó	1	2	3	Nó	1	2	3
RV	0	0	0	RV	0	0	0	RV	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0
5	0	0	0	5	1	0	0	5	0	0	0
6	0	0	0	6	1	0	0	6	0	0	0
7	0	0	0	7	1	0	0	7	0	0	0
8	1	1	0	8	1	0	0	8	0	0	0
9	1	0	0	9	1	1	1	9	1	0	0
10	1	0	0	10	0	1	0	10	0	0	0
11	1	0	0	11	0	1	0	11	0	0	0
12	1	0	0	12	1	0	0	12	0	0	0
13	0	0	0	13	0	0	0	13	0	0	0
14	0	1	0	14	1	0	0	14	1	0	0
15	1	0	0	15	1	0	0	15	0	0	0
16	1	0	0	16	0	0	0	16	0	0	0
17	0	0	0	17	0	0	0	17	0	0	0
18	0	0	0	18	0	0	0	18	0	0	0
19	0	0	0	19	0	0	0	19	0	0	0
20	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0
21	0	0	0	21	0	0	0	21	0	0	0
22	0	0	0	22	0	0	0	22	0	0	0
23	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0
24	0	0	0	24	0	0	0	24	0	0	0
25	0	0	0	25	0	0	0	25	0	0	0
26	0	0	0	26	0	0	0	26	0	0	0

Espaçamento	
Stand	

Flores/Botões florais											
Planta 1				Planta 2				Planta 3			
	Posição				Posição				Posição		
Nó	1	2	3	Nó	1	2	3	Nó	1	2	3
RV	0	0	0	RV	0	0	0	RV	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0
5	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0
6	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0
7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
8	0	0	0	8	0	0	0	8	0	0	0
9	0	0	0	9	0	0	0	9	0	0	0
10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0
11	0	0	0	11	0	0	0	11	0	0	0
12	0	0	0	12	0	0	0	12	0	1	0
13	0	0	0	13	0	0	0	13	0	0	0
14	0	0	0	14	0	1	1	14	0	0	0
15	0	1	0	15	0	1	0	15	1	0	0
16	0	1	0	16	1	0	0	16	1	0	0
17	1	0	0	17	1	0	0	17	0	0	0
18	1	0	0	18	1	0	0	18	0	0	0
19	1	0	0	19	0	0	0	19	0	0	0
20	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0
21	0	0	0	21	0	0	0	21	0	0	0
22	0	0	0	22	0	0	0	22	0	0	0
23	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0
24	0	0	0	24	0	0	0	24	0	0	0
25	0	0	0	25	0	0	0	25	0	0	0
26	0	0	0	26	0	0	0	26	0	0	0

Figura 15. Planilha duplicada para preenchimento do número de maçãs e botões florais/flores.
RV: ramos vegetativos (Fonte: Autoria própria)

A planilha será duplicada: a da esquerda será utilizada para preenchimento das maçãs e a da direita, para botões florais e flores. A função "substituir" do MS Excel pode ser utilizada para facilitar o preenchimento. O "zero" deve ser utilizado quando não houver posição frutífera correspondente, caso contrário, a célula não será contabilizada na média das plantas avaliadas. Uma terceira planilha fará o cálculo da média das três plantas avaliadas (por nó e por posição) em cada ponto e uma quarta planilha fará a média de todos os pontos avaliados. A quarta planilha será utilizada para calcular o número de estruturas por metro quadrado (utilizando-se a seguinte fórmula: [(1/espaçamento, em metros)*estande]. Essa planilha será usada para plotar o gráfico da distribuição da carga frutífera da planta (Figura 16).

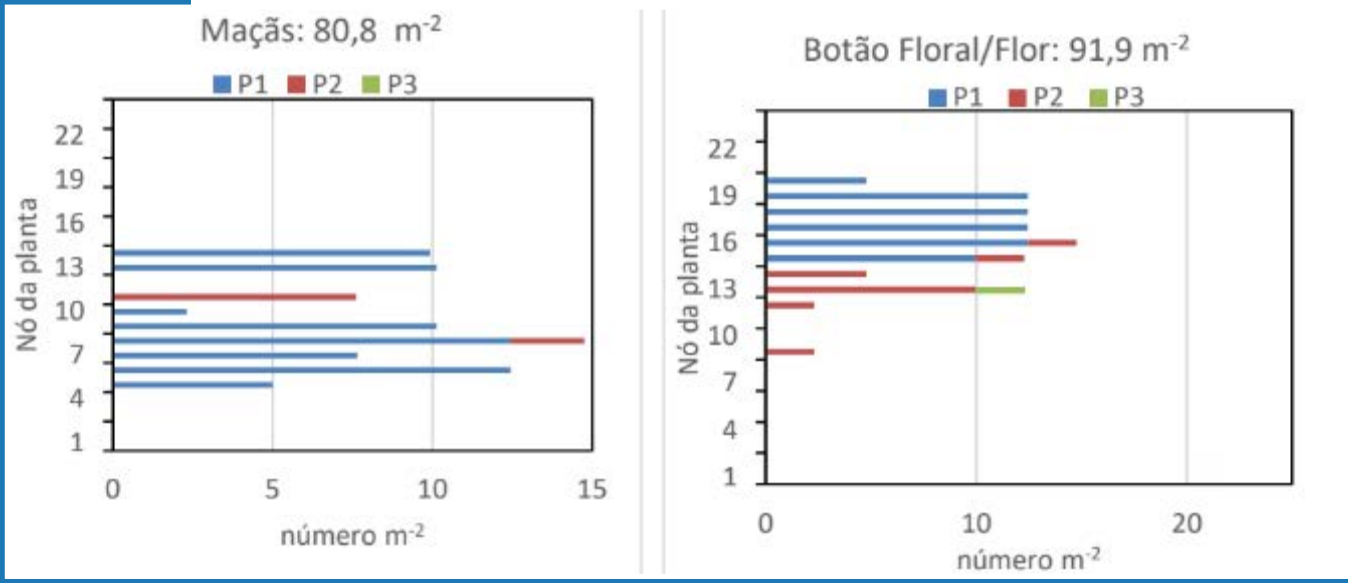


Figura 16. Distribuição de estruturas frutíferas (maçãs e botão floral/flor) por nó e posição. P1, P2 e P3 representam, respectivamente, 1ª, 2ª e 3ª posições do ramo (Fonte: Autoria própria)

Interpretação dos resultados

A avaliação que deu origem à Figura 16 foi realizada no começo de maio, em uma lavoura com 98 DAE. Aliando-se o conhecimento do padrão de frutificação da cultivar (nesse caso uma cultivar precoce que concentra a carga no baixeiro e no terço médio) com as características do local (regime de chuvas, disponibilidade de água no solo e temperatura no mês de junho) é possível decidir o momento da capação. Por outro lado, a Figura 17 mostra a distribuição da carga frutífera de uma cultivar de ciclo médio que apresenta distribuição regular da carga frutífera nos terços da planta, indicando que seria possível a emissão de mais um ou dois nós com chance de pegamento das estruturas. Assim, a decisão de capar (Figura 16) ou não (Figura 17) a lavoura naquele momento poderia ser baseada nessas informações.

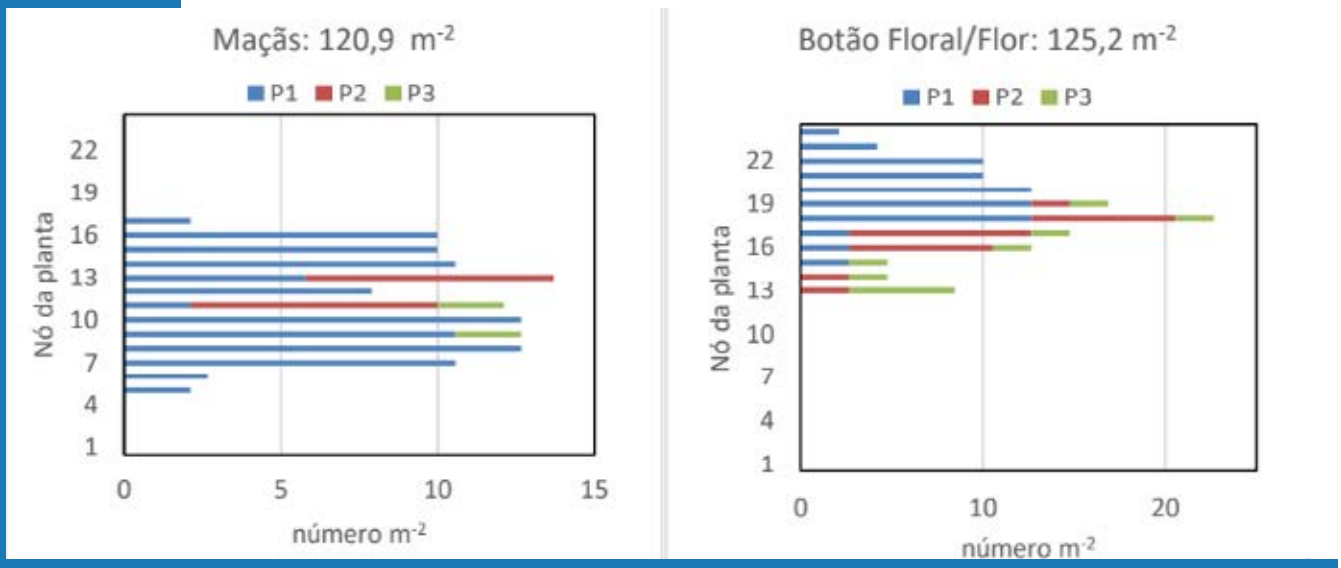


Figura 17. Distribuição de estruturas frutíferas (maçãs e botão floral/flor) por nó e posição. P1, P2 e P3 representam, respectivamente, 1ª, 2ª e 3ª posições do ramo (Fonte: Autoria própria)

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: jraphael@usp.br

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

IMPLANTAÇÃO DA LAVOURA
DE ALGODÃO

Primeiras decisões a tomar para iniciar o plantio do algodoeiro

A escolha da variedade é considerada uma das decisões mais importantes para o sucesso do cultivo. As variedades oferecidas no mercado são cada vez mais sofisticadas do ponto de vista genético, agregando características de tolerância a certas doenças e a nematoides, podendo representar ganhos significativos de produtividade e economia no custo de produção. Ademais, a semente é agora usada como suporte para as biotecnologias, conferindo resistência a certos herbicidas ou pragas do algodoeiro. Escolher a variedade certa não é tudo. É preciso comprar uma semente de alta qualidade fisiológica e usar tratamentos de sementes adequados, a fim de proteger as plântulas nos primeiros estádios de desenvolvimento. Não se fala suficientemente da incidência significativa da qualidade da semente sobre a produtividade da lavoura. Não esquecer que, usando essas variedades modernas, elas poderão expressar seu potencial só na medida em que as condições de cultivo forem adequadas. O sistema de cultivo praticado e o manejo da lavoura são fundamentais e só poderão ser adequadamente conduzidos com o perfeito conhecimento do modo de crescimento da planta de algodão. A definição da data de plantio e da densidade de plantas para o cultivo terão incidência significativa sobre produtividade e qualidade da fibra.

Priscila Fratin Medina

Sheila Fanan

Leonardo Scoz

Idimar Leoni
IMAmt

Oldson Thiago Martins da Fonseca
Comdeagro

Rodrigo Chimenez Franzon
IMAmt

CAPÍTULO 4.I

A qualidade das sementes

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 por Medina e Fanan. Atualizado na edição de 2014/15 por Medina, Fanan e Scoz, e novamente atualizado na edição de 2025 por Leoni, Fonseca e Franzon.

1. Escolha da cultivar

A cotonicultura brasileira ocupa posição de destaque mundial em área plantada, produção, produtividade e exportação de fibra, resultante de uma cadeia produtiva bem organizada e de investimentos em pesquisa e tecnologias, com o compromisso de manter sua sustentabilidade e preservar o meio ambiente.

Um dos pontos mais importantes para o cultivo bem-sucedido do algodão consiste na escolha da cultivar, normalmente desenvolvida por meio de melhoramento genético e que tenha sido avaliada em diversos ambientes de cultivo. Assim, os avanços obtidos através de pesquisas e contidos nesse genótipo são disponibilizados ao agricultor por meio das sementes, uma matéria prima com alta tecnologia embarcada, com o objetivo de dar origem a uma nova área de produção.

A cultivar deve ser adaptada às condições de clima e solo da região de cultivo e ter boas características, que podem estar relacionadas à sua composição genética natural bem como às biotecnologias nela inseridas. Ambas contribuem com tolerância ou resistência a insetos, plantas daninhas e patógenos, mas também com a precocidade associada a um alto potencial produtivo, qualidade da fibra, entre outros atributos. Em síntese, as novas cultivares sempre têm maior potencial de uso que cultivares antigas devido à constante evolução das pesquisas.

Atualmente, existem mais de 240 cultivares inscritas no Registro Nacional de Cultivares (RNC); destas, pouco mais de 60 são comerciais e pré-comerciais. Vale destacar que 80% de toda a área plantada no Brasil demanda apenas 12 cultivares, com suas variações de ciclo, morfologia e biotecnologias.

2. Aquisição de sementes

A aquisição de sementes de boa qualidade é fundamental para o sucesso de uma lavoura. Para isso, elas devem ser produzidas em condições adequadas seguindo normas e regras regulamentadas pelo Governo Federal em legislação específica, que todo produtor de sementes deve seguir, desde o plantio até a comercialização. As sementes que atendem a todos os padrões de produção, certificação e comercialização possuem garantias por lei federal sob sua qualidade.

Embora seja claro que a aquisição de sementes de produtores idôneos seja a melhor opção, na safra 2017/2018 constatou-se uma taxa de utilização de sementes certificadas de apenas 57% no Brasil e de 60% no Estado de Mato Grosso, conforme registrado no Anuário 2018. Segundo números da Associação Brasileira de Produção de Sementes (Abrasem), entre as safras 2017/18 e 2021, a taxa de utilização de sementes no Brasil variou entre 57 e 65%. Porém, acredita-se que, atualmente, essa taxa de utilização de sementes ainda seja inferior a 75%.

Por outro lado, a Lei de Sementes e Mudas (Lei nº 10.711/2003) e o seu regulamento (Decreto nº 5.153/2004) normatizam o uso próprio de sementes e mudas, definindo o conjunto das regras que devem ser seguidas pelo usuário de sementes, o produtor rural. A principal determinação do Decreto

nº 5.153/2004 é a obrigatoriedade de que seja feita a inscrição das áreas de produção de sementes para uso próprio das cultivares protegidas, junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio do Sistema SIGEF, na modalidade "campo declarado".

O obtentor de sementes tem direito de propriedade intelectual sobre suas cultivares, incluindo sementes salvas, desde que a cultivar seja protegida pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC). A proteção garante ao obtentor o direito exclusivo de produção, multiplicação, comercialização e uso da semente e do material vegetativo da cultivar, *mesmo para sementes salvas*, conforme a Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997.

Os produtores e comerciantes de sementes têm a grande responsabilidade de disponibilizar ao cotonicultor o trabalho desenvolvido pelo melhorista, por meio do uso das sementes.

A semente de boa qualidade é o primeiro passo para o sucesso da lavoura.

As sementes com qualidade genética, física, fisiológica e sanitária superiores garantem a reprodução das características da cultivar e oferecem outras vantagens ao cultivo do algodoeiro, tais como:

- Um número menor de sementes é requerido por área plantada;
- A emergência de plântulas é mais rápida e o crescimento das raízes mais vigoroso;
- Estabelecimento do estande uniforme, com melhor arranjo espacial, eliminando o risco de replantio e de plantas dominadas;
- As plântulas são mais tolerantes ao estresse inicial causado por condições climáticas adversas, pragas e doenças;
- A ação dos demais insumos e dos fatores de produção é maximizada;
- Redução da incidência de doenças transportadas e transmitidas por sementes; entre outros benefícios.

3. O armazenamento de sementes

O armazenamento das sementes de algodão desempenha um importante papel no processo produtivo e, quando bem conduzido, minimiza a deterioração e o descarte de lotes. No entanto, a capacidade de manter o potencial fisiológico e sanitário ao longo do tempo depende da longevidade da semente, inerente à espécie e à sua qualidade inicial. Dessa forma, alguns procedimentos adequados, adotados na colheita e no beneficiamento, influenciam o período pelo qual a semente permanecerá viável durante o armazenamento.

As sementes atingem seu nível máximo de qualidade na maturidade fisiológica, antes de serem colhidas, no momento em que se desligam da planta-mãe. A partir desse estádio, o processo de deterioração pode ser desencadeado por diferentes fatores: os incontroláveis, como as variações de temperatura e flutuações da umidade relativa do ar, e os controláveis, como pragas, doenças, colheita, secagem, beneficiamento, armazenamento, transporte, etc.

Esses fatores controláveis, quando não trabalhados ou trabalhados inadequadamente, causam danos irreversíveis às sementes com potencial de perda de lotes de sementes por não atingirem a qualidade exigida. A cautela e a vistoria durante o armazenamento temporário no campo ou durante o descaroçamento, e ainda uma atenção especial durante o processo de deslintamento das sementes, são fundamentais. Isso porque há uma grande diferença na qualidade fisiológica entre cada cultivar atualmente oferada, devido a peculiaridades intrínsecas que devem ser consideradas para não comprometer a qualidade na fase final dos processos de produção.

Após a formação dos lotes, o ambiente de armazenamento deve ser capaz de manter as sementes viáveis e vigorosas por um longo período de tempo, mantendo a qualidade fisiológica e sanitária, e reduzindo a velocidade do processo de deterioração dos lotes até a semeadura.

É necessário ter conhecimento prévio das características de cada cultivar e controle do teor de umidade e da temperatura no processo de deslintamento das sementes, além de saber o momento certo de embalar as sementes, de forma que estejam com umidade e temperatura adequadas. A temperatura adequada durante o deslintamento, avaliada na massa de sementes dentro do reator, deve ser de até 60ºC, mas precisa ser reduzida, até o momento da retirada das sementes do reator, para a faixa entre 45ºC e 50ºC. Já a umidade deve estar entre 6% e 8%. **Atenção:** não é aconselhável deslintar sementes de algodão com umidade acima de 10% nem embalar as sementes com temperatura acima da temperatura ambiente.

Ademais, o volume de sementes a ser embalado também é importante. As embalagens tipo big bag comportam diversas quantidades: existem as de 2,5 milhões, 5 milhões e até de 10 milhões de sementes por big bag. Isso ocorre porque o número de sementes é estimado com base no peso de mil sementes (PMS). O ideal é utilizar embalagens de 5 milhões de sementes, para evitar a quebra de sementes de tegumento frágil durante o armazenamento, movimentação ou transporte, visto que há variação entre cultivares quanto à fragilidade do tegumento (vide Cap.18 do Manual de Beneficiamento do Algodão, IMAmt).

Durante o período de armazenamento de sementes de algodão, é necessária a utilização de equipamentos para controle da temperatura e da umidade relativa do ar. O armazém deve permanecer seco e aerado. O acondicionamento das sementes em embalagens que permitem a troca de vapor d'água é indicado para um melhor potencial de germinação. Dependendo da qualidade inicial, as sementes podem ser preservadas por um período de quatro a doze meses. Quanto menor a umidade relativa do ar e a temperatura, dentro de certos limites, maiores serão as possibilidades de prolongar a conservação das sementes de algodão. Temperaturas acima de 25°C aceleram o processo de oxidação dos lipídios de reserva das sementes armazenadas, principalmente daquelas com baixo vigor, associadas à presença de patógenos, como *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., por exemplo.

Recomenda-se o armazenamento das sementes de algodão com teor de água abaixo de 10%, por, no máximo, oito meses, em condições de ambiente com valores médios de 20 ± 2°C e 57% de umidade relativa do ar. Nessas condições, sementes de alto vigor podem apresentar valores de germinação dentro dos padrões de comercialização por até dez meses de armazenamento. Porém, em ambientes com alta umidade relativa do ar, a germinação pode ser reduzida pela metade após o primeiro mês de armazenamento. Em câmara fria, a 12 ± 2°C e com umidade relativa do ar entre 50% e 60%, as sementes de algodão podem manter o potencial de produção de plântulas normais, com valor inicial de 90% no teste de germinação, por pelo menos doze meses.

O tratamento com fungicidas e inseticidas registrados para sementes de algodão tem sido adotado pelos produtores apenas no momento do plantio, pois a realização do tratamento logo após a operação de deslintamento implicaria no descarte das sementes que não seriam utilizadas no plantio, onerando os custos para a incineração.

Por outro lado, deve-se escolher com cuidado os produtos para o tratamento, pois há referências na literatura sobre princípios ativos fungicidas que reduzem os percentuais de germinação e vigor de sementes de algodão. Nesse caso, a perda da qualidade fisiológica das sementes tratadas é proporcional ao aumento do período entre o tratamento e o plantio, sendo ideal que o plantio ocorra dentro de 30 dias após o tratamento.

4. Controle de qualidade

Em sementes de algodão, a qualidade pode ser afetada por diversos fatores em campo, antes e/ou durante a colheita, pelos processos de pós-colheita – como armazenamento temporário no campo, secagem, descaroçamento, beneficiamento, deslintamento (seja ele mecânico ou químico) – e no armazenamento, pela ação de microrganismos, pelo teor de água na semente e pela temperatura do armazém.

A somatória desses fatores, operando em conjunto, pode resultar na produção de lotes de sementes com padrões de qualidade inapropriados à comercialização. Nesse contexto, fica claro que o controle de qualidade deve ser realizado em todas as etapas da produção de sementes.

No centro dos programas de controle de qualidade das empresas produtoras de sementes encontra-se o laboratório, para onde são encaminhadas amostras de sementes retiradas antes e após as etapas de produção mencionadas, visando à realização de testes que identificarão as possíveis perdas de qualidade geradas por tais procedimentos.

Os resultados assim obtidos fornecem informações para o aperfeiçoamento dos procedimentos de produção, subsidiando também as decisões sobre beneficiamento, tratamento e descarte de lotes. O laboratório centraliza as informações; porém, o amostrador deverá ter plena consciência de que o seu trabalho de amostragem é fundamental para a representatividade do campo e do lote que serão analisados para tomada de decisões. Por isso, o amostrador deve ser capacitado e regularmente atualizado na sua função.

4.1. Teste de germinação

Dentre as análises realizadas para a emissão do boletim de análise de sementes, a de germinação é uma das mais importantes. O padrão exigido para a comercialização de sementes das categorias C1 e C2 (certificadas) e S1 e S2 (não certificadas) é de, no mínimo, 75%. Já para sementes da categoria Básica, o limite mínimo é de 70%.

O teste de germinação foi desenvolvido para proporcionar germinação rápida e completa das amostras avaliadas, estimando a porcentagem máxima de sementes de uma amostra capaz de produzir plântulas normais. Por esse motivo, o teste é realizado em condições ótimas e padronizadas de disponibilidade de água, aeração, temperatura, luminosidade e características do substrato, que estão descritas por espécie nas Regra Brasileiras de Análise de Sementes (RAS). Esses parâmetros visam garantir a eficiência do processo de germinação. O teste tem como objetivo a obtenção de informações para determinar o valor das sementes para a semeadura e a comparação de lotes diferentes quanto à viabilidade.

A temperatura ótima para a germinação de sementes de algodão situa-se entre 28°C e 36°C; a temperatura mínima, entre 12°C e 14°C; e a máxima, entre 39°C e 40°C. Contudo, abaixo de 20°C e acima de 32 a 34°C, a germinação pode decrescer acentuadamente, dependendo da cultivar. No laboratório, de acordo com as RAS, o teste deve ser conduzido em germinador regulado para fornecer temperaturas alternadas de 20-30°C (a menor temperatura fornecida por 16 h e a maior durante 8 h, a cada dia) ou temperaturas constantes de 25°C ou 30°C, com avaliações realizadas ao quarto e ao décimo segundo dias, computando-se a porcentagem de plântulas normais. Por ser padronizado, o teste apresenta ampla possibilidade de repetição dos resultados, dentro de níveis razoáveis de tolerância, e alto grau de confiabilidade para analistas, produtores de sementes, agricultores e para a fiscalização do comércio.

Montagem e avaliação do teste de germinação

O teste de germinação consiste em colocar as sementes em Papel Germitest, por exemplo na disposição de 5 x 10 sementes por folha. Utilizam-se quatro folhas de papel, totalizando 200 sementes por amostra (Figura 1). Após quatro dias, é realizada a primeira contagem e, aos doze dias, se faz a contagem final (Figura 2). Na avaliação, são observados o tipo de cada plântula, que podem ser classificadas como normais, anormais e de sementes duras que não germinaram (Figura 3).

Figura 1. Rolos de papel Germitest, umedecidos com volume de água (em mililitros) equivalente a 2,0 vezes o peso do substrato (em gramas) (Fonte: Oldson Fonseca)

Figura 2. Visualização de plântulas germinadas após 4 dias da instalação do teste de germinação (Fonte: Oldson Fonseca)

Figura 3. Da esquerda para a direita: plantas normais, anormais e sementes duras (Fonte: Oldson Fonseca)

4.2. Avaliação do potencial fisiológico

O teste de germinação fornece informações sobre a capacidade de um lote em originar plântulas normais em condições favoráveis de campo; porém, se a semeadura for realizada em condições ambientais desfavoráveis, o potencial de desempenho do lote (relação entre o potencial de germinação, o vigor e a qualidade e quantidade de patógenos presentes) se manifestará e, portanto, a emergência de plântulas normais poderá ser inferior à determinada em laboratório. Por isso, os resultados de testes de germinação, considerados isoladamente, não são suficientes para avaliar o potencial fisiológico de lotes de sementes.

Os testes de vigor, apesar de não serem obrigatórios pela legislação, fornecem informações complementares aos de germinação, pois permitem detectar, com maior precisão, os avanços da deterioração das sementes. São realizados com o objetivo de diferenciar lotes com poder germinativo semelhante, indicando aqueles com maior ou menor probabilidade de sucesso após a semeadura em campo ou durante o armazenamento em condições de ambiente distintas, ampliando o leque de informações disponíveis sobre a viabilidade das sementes.

Dessa forma, os testes de vigor possibilitam maior confiabilidade no momento de definir o número de sementes a serem distribuídas por metro linear na lavoura e têm se tornado ferramenta de uso cada vez mais rotineiro em programas de controle de qualidade pela indústria de sementes.

Para avaliar o vigor de sementes de algodão, a pesquisa tem indicado como eficientes os testes que se baseiam na resistência a estresses (germinação em baixa temperatura, teste de frio, envelhecimento acelerado e deterioração controlada), em características bioquímicas (tetrazólio e condutividade elétrica) e, mais recentemente, em análises de imagem de sementes e plântulas (raios X e sistemas de imagens para avaliar o vigor de sementes). A emergência de plântulas em areia ou em campo, pela facilidade de condução, também pode ser utilizada para determinar o valor do lote de sementes destinado à semeadura em campo.

Germinação à baixa temperatura

As baixas temperaturas no início da germinação são prejudiciais ao desenvolvimento das plântulas. Dependendo do potencial fisiológico da semente, a resposta pode variar quando a germinação ocorre em condições abaixo da temperatura ótima.

O procedimento de instalação do teste é simples: basta colocar 200 sementes para germinar, distribuídas em rolos de Papel Germitest, umedecidos com volume de água equivalente a 2,0 a 2,5 vezes o peso do papel, mantidos a 18°C, em ausência de luz, durante sete dias.

Na avaliação, consideram-se como vigorosas as plântulas normais que atingirem 4 cm de comprimento, como ilustrado na Figura 4. O comprimento de raiz, assim como o da parte aérea, é parâmetro eficiente para determinar o potencial das sementes.

Informação e interpretação dos resultados

Os resultados devem ser expressos em porcentagem, calculada com base no número de plântulas normais apresentando o combinado de hipocótilo e raiz primária com comprimento igual ou superior a 4 cm (Figura 4).

Lotes de sementes de algodão com valores superiores a 60% no teste de germinação a baixa temperatura são considerados bons ou excelentes (Savoy, 2005). Lotes com valores superiores a 80% são classificados como de alto vigor, e estima-se que devem originar emergência adequada de plântulas sob ampla variação de ambiente no campo. Por outro lado, lotes com alta porcentagem de plântulas não vigorosas, com tamanho inferior a 4 cm (Figura 4), devem ser semeados apenas sob condições muito favoráveis de ambiente, ou seja, com menor risco de ocorrência de baixas temperaturas durante a emergência de plântulas em campo (Baalbaki *et al.*, 2009).

Dano mecânico

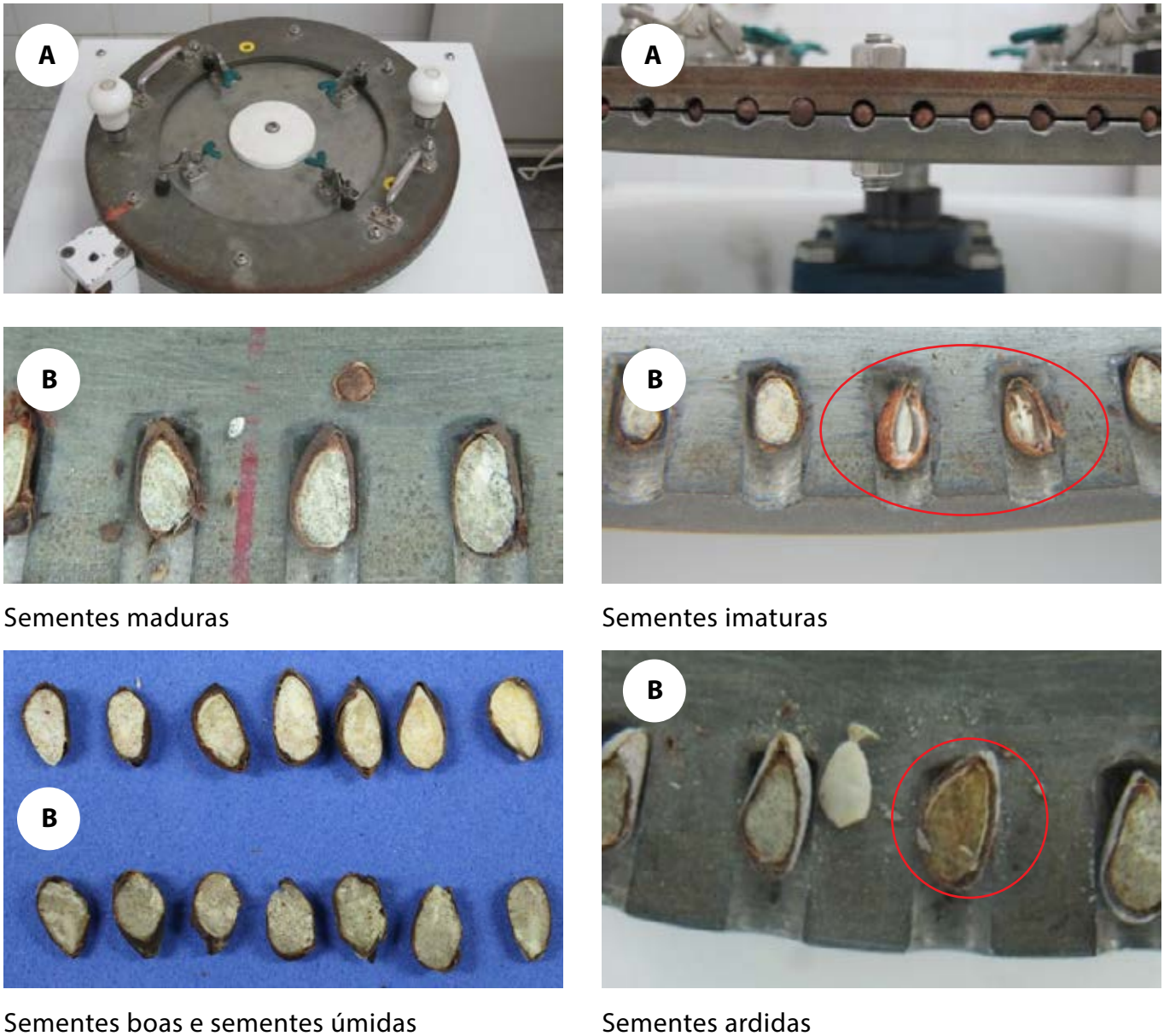
O objetivo desse teste é avaliar e quantificar os danos mecânicos provenientes dos processos mecanizados de colheita e de descaroçamento das sementes de algodão (Figura 5). A avaliação consiste na contagem das sementes danificadas, sendo o resultado expresso em porcentagem. Dependendo da quantidade de sementes afetadas, pode ser necessário o descarte do lote. Devido à fragilidade do tegumento da semente de certas cultivares, ao serem beneficiadas, o embrião pode se soltar e ficar disperso entre as sementes. Na Figura 5, é possível observar o embrião solto, indicado pelo círculo amarelo.

Avaliação em roda de corte

O objetivo é avaliar possíveis danos fisiológicos na parte embrionária das sementes de algodão. A metodologia consiste em realizar o corte das sementes para visualização da parte interna das sementes (Figura 6). A classificação pode incluir: as **Sementes Maduras** que são sementes com maturação fisiológica completa; as **Sementes Imaturas** que são sementes com maturação fisiológica incompleta; as **Sementes Úmidas** que são sementes com umidade interna e as **Sementes Ardidas** que sofreram o processo de deterioração fisiológica do embrião.

Figura 4. Plântulas sob avaliação aos 7 dias após a implantação do teste de germinação (Fonte: Oldson Fonseca)

Figura 5. Sementes de algodão deslintadas com danos mecânicos visíveis (Fonte: Rodrigo Franzon)



Sementes maduras

Sementes imaturas

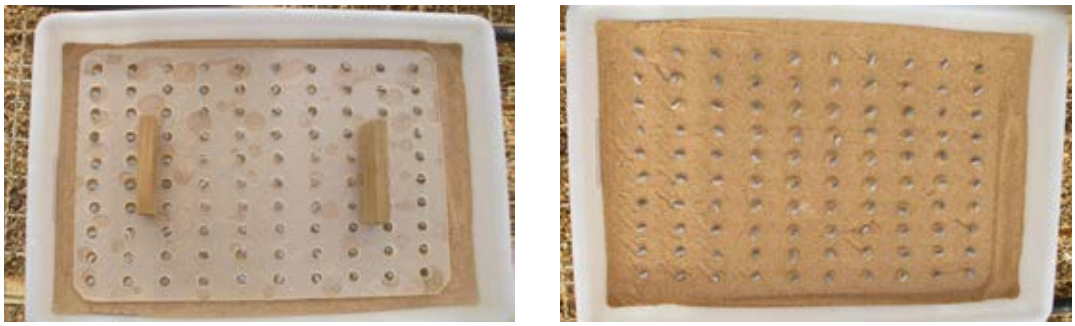
Sementes boas e sementes úmidas

Sementes ardidas

Figura 6. (A) Vista do equipamento e da acomodação das sementes na roda de corte para o teste; (B) classificações das sementes (Fonte: Oldson Fonseca)

Teste de emergência em areia

Este teste estima o potencial de emergência de plântulas em areia, que pode ser conduzido em ambiente controlado (câmara germinadora) ou em ambiente não controlado (a nível de campo). Como exemplo, temos o teste conduzido em ambiente não controlado, em bandejas com substrato de areia, utilizando duas repetições de 100 sementes para cada amostra. Aos 7 dias da instalação, determina-se a porcentagem de plântulas emergidas, com as folhas cotiledonares totalmente expandidas (Figura 7).



Instalação do teste

Plântulas emergidas e avaliação das plântulas (normais e anormais)

Figura 7. Visualização da montagem do teste na bandeja com areia, plântulas após 7 dias da instalação e avaliação da contagem de plântulas normais e anormais (Fonte: Oldson Fonseca)

Teste de pH das sementes

O deslintamento químico, quando realizado corretamente, pode trazer benefícios como a redução de patógenos e a melhoria da qualidade da semente para o plantio. Entretanto, a neutralização adequada é essencial para evitar problemas relacionados à acidez remanescente do processo. O objetivo do teste é verificar o nível de acidez das sementes de algodão após o processo de deslintamento químico e da neutralização com o carbonato de cálcio. O ideal é que o pH esteja acima de 5,0. Caso não atinja o nível desejado, é necessário ajustar a calda neutralizadora junto ao processo da usina deslintadora.

A instalação do teste consiste em adicionar, em um béquer, 50 gramas de sementes e 100 ml de água destilada. Em seguida, mistura-se o conteúdo e reserva-se por 10 minutos. Logo após, as sementes devem ser coadas e a solução medida com fita ou pHmetro (Figura 8).

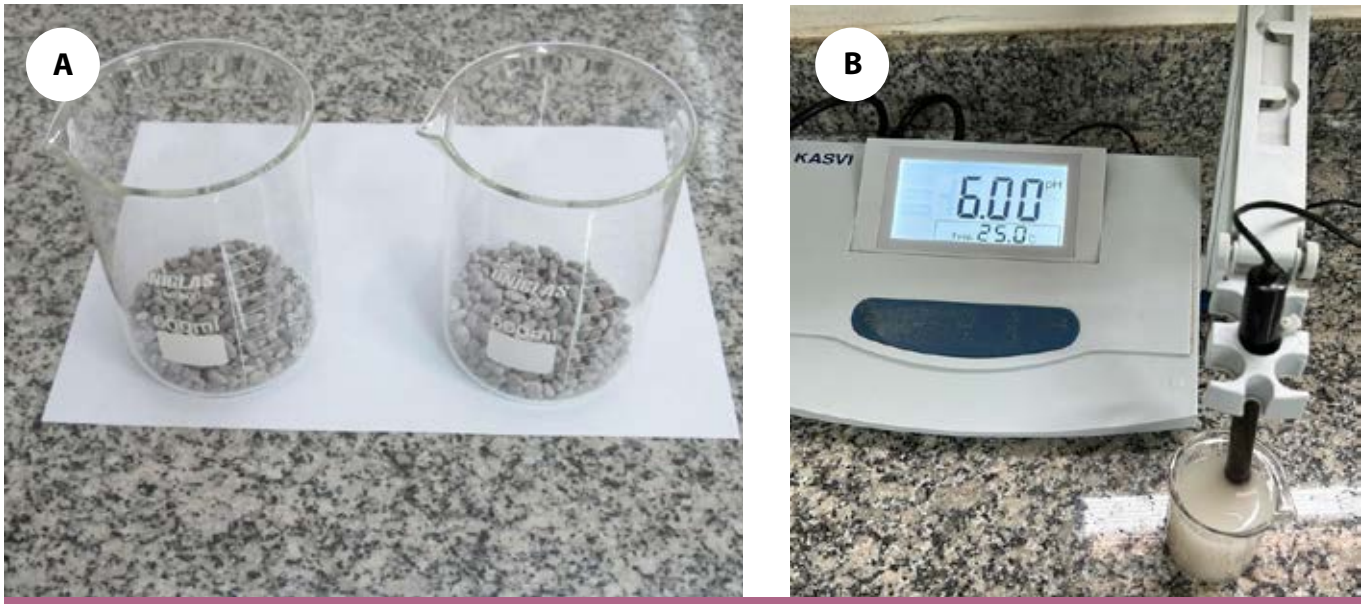


Figura 8. Montagem do teste (A) e análise por pHmetro (B) (Fonte: Oldson Fonseca)

Teste de condutividade elétrica

O valor da condutividade elétrica é medido em função da quantidade de lixiviados presentes na solução de embebição das sementes. Com a deterioração, ocorre maior lixiviação dos constituintes das sementes embebidas devido à perda da integridade das membranas celulares, resultando no aumento da condutividade elétrica da solução.

Quatro repetições de 50 sementes, pesadas com duas casas decimais, são colocadas para embeber em 75 ml de água destilada e mantidas a 25°C por 24 horas. A combinação de 25 sementes em 75 ml de água destilada a 20°C por 24 horas também é recomendada. A condutividade elétrica da solução é medida em condutivímetro (Figura 9), com resultados expressos em $\mu S.cm^{-1}g^{-1}$. Para interpretação dos resultados: baixa condutividade significa maior vigor; alta condutividade indica menor vigor.

Figura 9. Montagem do teste com o aparelho condutivímetro (Fonte: Priscila Medina)

Teste de frio

A exposição das sementes à baixa temperatura e ao alto grau de umidade do substrato desencadeia o processo de embebição, mas não permite o desenvolvimento do embrião. O lote que melhor resiste a tais condições é considerado o de maior potencial fisiológico. O teste consiste em colocar 200 sementes distribuídas em rolos de

papel-toalha, umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel, e que são mantidos a 10˚C por cinco dias e, em seguida, a 25˚C por três dias. Ao final, avalia-se a porcentagem de plântulas normais.

Teste de deterioração controlada

O princípio é o mesmo do envelhecimento acelerado, com a exposição das sementes a temperatura elevada e alto grau de umidade do substrato, o que desencadeia a germinação, mas não permite o desenvolvimento do embrião, acelerando a deterioração. O melhor lote é o que mais resiste a tais condições. São colocadas 200 sementes umedecidas artificialmente, distribuídas em camada única sobre tela de alumínio ou de náilon, em caixa de germinação adaptada (gerbox). São adicionados 40 ml de água e a caixa, tampada, é mantida a 20°C. O teor de água das sementes é monitorado por pesagens sucessivas até que atinja 24%. A amostra é então colocada em embalagem aluminizada, fechada hermeticamente e mantida a 10°C por 24 horas. A embalagem é levada ao banho-maria a 40°C por 48 horas e depois imersa em água a 20°C para reduzir a temperatura. Logo após, as sementes são submetidas ao teste de germinação a 25°C por quatro dias. Avalia-se, ao final, a porcentagem de plântulas normais.

Teste de tetrazólio

O uso do teste de tetrazólio para avaliação do potencial fisiológico de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é importante, visando assegurar o estabelecimento da cultura. Por meio desse teste, é possível avaliar de maneira rápida e segura o potencial de desempenho das sementes, que pode ser influenciado por vários fatores, como a desuniformidade do processo de maturação e pré-colheita, danos mecânicos durante as operações e o processamento, entre outros.

No teste, são utilizadas no mínimo 100 sementes por amostra, em duas ou quatro repetições de 50 ou 25 sementes cada. Deve-se preembeber as sementes em água, à temperatura de 25°C, durante um período aproximado de 14 a 16 horas, para ativação do sistema enzimático. Após isso, é feito o processo de coloração e, para que se obtenha uma coloração uniforme, é recomendado remover o tegumento antes da imersão na solução de tetrazólio. Em seguida, as sementes devem ser acondicionadas em BOD, a uma temperatura em torno de 30°C, por aproximadamente 4h, com ausência de luz. Após esse período, realiza-se a avaliação visual, na qual se analisa a viabilidade das sementes com base no desenvolvimento da coloração, local e extensão do dano; também deve-se avaliar as sementes individualmente, tanto externamente quanto internamente, a fim de se determinar a localização e a extensão dos danos ocorridos (mecânicos, por insetos ou por umidade). Interpreta-se como tecido vivo e vigoroso a coloração vermelho-brilhante, enquanto o branco-leitoso e amarelado indicam tecido morto.

Utiliza-se de uma escala de notas de 1 a 8, segundo critérios recomendados por Moore (1985), em que valores de: 1 a 3 são atribuídos a sementes vigorosas; 1 a 5 correspondem a sementes viáveis; acima de 5 são sementes inviáveis.

Para identificação dos níveis de viabilidade, em resumo temos que: SEMENTES VIÁVEIS são aquelas que apresentam as áreas vitais integras; SEMENTES INVIÁVEIS são aquelas que apresentam lesões ou áreas mortas ou tecidos extremamente deteriorados em suas áreas vitais (tecido condutor do eixo – hipocótilo-radícula, ponto de crescimento apical, área de ligação cotilédones-eixo embrionário); e SEMENTES MORTAS são aquelas que apresentam o eixo embrionário ou os

cotilédones completamente comprometidos (tecido branco ou branco-amarelado ou vermelho extremamente intenso, embaçado e flácido); alguns exemplos são apresentados na Figura 10.

Figura 10. Exemplo de sementes após o teste de tetrazólio (Fonte: Oldson Fonseca)

Análise de imagens na avaliação de sementes

O aperfeiçoamento de metodologias de avaliação da qualidade de sementes e a inclusão de alternativas inovadoras, com enfoque em padronização, objetividade, redução do tempo necessário para a realização dos testes e repetitividade das informações fornecidas, são premissas essenciais para a evolução dos programas de controle de qualidade na produção de sementes.

Os sistemas de análise de imagens tornaram-se atrativos para a avaliação da qualidade e classificação de produtos agrícolas, por conta do estágio de evolução tecnológica atual, que se reflete na rapidez da captação de imagens digitais, no processamento informatizado de dados e na crescente redução dos custos relacionados à adoção dessas técnicas.

Nesse contexto, a captura e o processamento de imagens de plântulas, de sementes ou de suas partes têm permitido o estabelecimento de relações entre morfologia, integridade e desenvolvimento, bem como a determinação do potencial fisiológico.

Análise de imagens da morfologia interna de sementes

A morfologia interna de sementes pode ser visualizada por meio de técnicas de análise de imagens, destacando-se o teste de raios-X, indicado nas Regras Nacionais e Internacionais de Análise de Sementes, para a diferenciação entre sementes cheias e vazias, danificadas por insetos ou fisicamente injuriadas. Esse teste teve sua eficiência amplamente comprovada pela pesquisa na identificação de danos mecânicos em sementes, a partir do final da década de 1990. Atualmente, o teste tem sido utilizado em programas de controle de qualidade e também como ferramenta auxiliar nos estudos morfológicos de sementes de diferentes espécies.

A viabilidade da semente submetida ao comprimento de onda dos raios-X não é comprometida, devido às baixas doses de radiação aplicadas, permitindo a visualização das estruturas internas e a realização de testes adicionais com a mesma semente. Por isso, as pesquisas desenvolvidas nesse campo têm buscado relacionar a morfologia interna de sementes com a germinação e com a morfologia das plântulas.

O florescimento do algodão não é uniforme e, assim, a polinização, a fertilização e a maturação tampouco o são; consequentemente, sementes maduras podem apresentar variações estruturais significativas, incluindo a ocorrência de anormalidades que podem afetar a germinação e o vigor. Uma das variações morfológicas resultantes dessa condição e, provavelmente, relacionada ao desempenho da semente, é o grau de desenvolvimento do embrião. Pesquisa realizada na Universidade de São Paulo, em Piracicaba, confirmou a possibilidade de uso do teste de raios-X para determinar essa característica em sementes de algodão, expressa pela área da semente ocupada pelo embrião ou pelo espaço livre entre o embrião e o tegumento. Em pesquisas recentes realizadas em nível nacional e internacional, comprovou-se que é possível associar a morfologia interna da semente de algodão ao potencial de germinação, além de possibilitar a associação da ocorrência de danos mecânicos e injúrias causadas por insetos

em áreas vitais da semente ao potencial germinativo.

De acordo com pesquisa realizada no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano, há elevada correlação positiva e significativa entre sementes de algodão com área interna preenchida superior a 75%, identificadas pelo teste de raios-X e pelo desenvolvimento de plântulas normais, obtidas no teste de germinação.

Pela combinação da análise de imagem computadorizada com as técnicas de raios-X, tornou-se possível automatizar procedimentos que permitem a mensuração de áreas internas das sementes, permitindo, por exemplo, a obtenção de informações mais precisas sobre o grau de maturidade de sementes de algodão, com base na proporção da cavidade interna da semente ocupada pelo embrião. Pesquisadores da Universidade Estadual de Ohio, nos Estados Unidos, desenvolveram um software denominado Tomato Analyser (TA) para a avaliação semiautomática de características fenotípicas de frutos, enfatizando a possibilidade de utilizá-lo para avaliar características morfológicas de sementes. No entanto, o primeiro trabalho que demonstrou efetivamente seu potencial para essa finalidade, inclusive em sementes de algodão, foi realizado por pesquisadores brasileiros em 2010, na Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

Em imagens obtidas por meio de um equipamento de raios-X, digitalizadas e processadas em um computador, o TA pode definir parâmetros baseados na identificação dos limites externos de cada parte constituinte e sua relação, geralmente, com a região do perímetro de cada semente avaliada. Dessa forma, pode substituir a determinação de alguns atributos morfológicos, antes estimados subjetivamente, permitindo maior rapidez na análise morfológica e maior grau de consistência e repetitividade.

As sementes são examinadas individualmente (Figura 11), e o software é capaz de traçar, em cores diferentes, o perímetro externo da semente e do embrião. Após análise e avaliação de cada semente, o TA gera automaticamente números para os parâmetros analisados; o espaço livre entre o embrião e o tegumento também é identificado. Após análise e processamento da imagem e a realização dos cálculos pelo software, o arquivo de cada semente é salvo em uma pasta previamente identificada no computador. Tanto o arquivo do TA como o manual de instruções podem ser acessados gratuitamente no site: https://vanderknaaplab.uga.edu/tomato-analyzer/

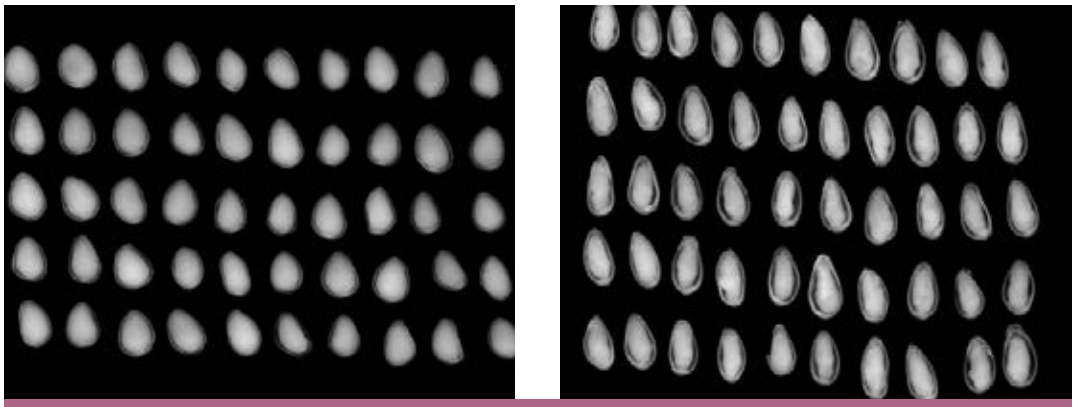


Figura 11. Imagens de dois lotes de sementes comerciais de diferentes cultivares analisados por raio-x, mostrando a diferença visual do preenchimento das sementes (Fonte: Rodrigo Franzon)

O software Quant, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa em 2002, para quantificar a severidade de doenças em folhas por meio de imagens digitais, também foi testado recentemente para a obtenção da porcentagem de espaços preenchidos e vazios de cada semente de algodão de cinco cultivares, visando relacioná-los com a classificação da plântula obtida em duas categorias: (1) normais (com raiz primária e plúmula desenvolvidas) e (2) anormais (uma ou as duas estruturas subdesenvolvidas). Concluiu-se que esse programa também pode ser usado como ferramenta auxiliar na análise de imagens do teste de raios-X, apresentando elevada correlação com o desenvolvimento de plântulas.

Análise de imagens de plântulas

O uso da análise de imagens também tem sido direcionado à avaliação de plântulas. Foi desenvolvido em 2001, na Universidade Estadual de Ohio, nos Estados Unidos, um sistema para indexar automaticamente o vigor de sementes a partir da análise computadorizada de imagens de plântulas, denominado Seed Vigor Imaging System (SVIS).

Após o processamento das imagens das plântulas no computador, é possível obter, simultaneamente, dados referentes ao comprimento da raiz primária, do hipocótilo e da plântula inteira, à relação raiz/hipocótilo e a parâmetros baseados na velocidade e na uniformidade de desenvolvimento, além do cálculo de um índice de vigor. Pesquisas com esse sistema têm sido desenvolvidas principalmente na Universidade Estadual de Ohio (EUA) e na Universidade de São Paulo, em Piracicaba, onde foi adaptado com sucesso para avaliar o potencial fisiológico de sementes de culturas como soja, milho, melão e algodão. A principal vantagem da utilização desse método, em comparação com as metodologias tradicionais dos testes de vigor que avaliam o desempenho de plântulas, consiste na maior rapidez na análise das plântulas e na obtenção dos resultados informatizados, representando significativa economia de tempo.

4.3. Qualidade genética

A utilização de biotecnologias na cultura do algodoeiro está em constante avanço. Atualmente já existem 25 opções de tecnologias de algodão transgênico liberadas para a comercialização pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (Tabela 1). Contudo, os cotonicultores fazem maior uso de cultivares com tecnologias B2RF e B3RF, da plataforma Bayer, e também de cultivares com tecnologia GL, GLT e GLTP, da plataforma BASF. Recentemente, foram lançadas as tecnologias B3XF e STP, da Bayer e Basf, respectivamente. A participação de mercado entre as tecnologias é relativamente flutuante ao longo das safras (vide capítulo de pragas entomológicas) e, a cada poucos anos, são lançadas novas tecnologias para mitigar os problemas com pragas e plantas daninhas, principalmente.

Toda biotecnologia inserida em plantas –e aqui trata-se especificamente do algodoeiro – passa por rigorosos testes antes de ser liberada comercialmente para uso, a fim de atestar sua inocuidade ao consumidor e ao meio ambiente; esses testes são realizados por órgãos governamentais competentes.

Além disso, também são conduzidos testes de Qualidade Genética, que se iniciam desde as linhagens ainda no processo de melhoramento genético até os lotes de sementes comerciais que serão vendidos aos produtores. Esses testes são de responsabilidade dos obtentores e multiplicadores de sementes.

Os testes genéticos mencionados são: Pureza Genética (PG) de *traits* e Presença Adventícia (PA) de *traits* não pretendidos. O teste de PG refere-se à porcentagem de plantas de uma amostra que apresentam os eventos pretendidos dentro da tecnologia do lote de sementes, que serve para comprovar se o limite mínimo exigido de plantas que tenham a biotecnologia é atendido segundo a biotecnologia e categoria de semente. Já o teste de PA refere-se à quantidade de plantas que contenham eventos não pretendidos dentro do lote de sementes de determinada biotecnologia.

A checagem de Pureza Genética é realizada pela utilização de metodologias precisas como a reação em cadeia da polimerase (PCR), uma técnica de biologia molecular que permite a análise do DNA de cada planta e/ou semente, a fim de verificar a ausência ou presença dos genes que compõem os eventos transgênicos. Estes testes genéticos podem ser realizados com base em proteína (ELISA e teste de tiras de fluxo lateral) e o teste com base em DNA (PCR e PCR-RT), desde que aprovados pelas detentoras das biotecnologias, e seguindo as recomendações do fabricante.

No processo de obtenção de sementes, tanto os programas de melhoramento genético como os multiplicadores de sementes são responsáveis pela qualidade genética das sementes transgênicas. Porém, existem fatores que podem favorecer a perda da qualidade genética no processo de produção de sementes, desde o plantio até a embalagem das sementes. Um campo de produção de sementes deve ser instalado respeitando as distâncias mínimas exigidas por lei entre diferentes biotecnologias e que podem variar de acordo com a cultura escolhida para o isolamento dos campos.

Segundo as normas estabelecidas para implantação de campo de sementes, podem ser utilizados isolamentos com o próprio algodão e, neste caso, a distância entre cultivares diferentes da mesma espécie deve ser de 250 metros, e quando se trata de espécies diferentes dentro do mesmo gênero, a distância deve ser de 800 metros. Porém, se caso sejam apenas cultivares diferentes dentro de *G. hirsutum*, pode-se utilizar uma barreira com cultura de maior altura do que o algodão, neste caso pode-se utilizar o milho, com uma faixa permitida de no mínimo 50 metros. Esses limites de isolamento para campos de produção fazem com que se tenha uma menor probabilidade de contaminação por pólen de plantas com biotecnologias diferentes, que podem então causar a presença adventícia de traits indesejáveis em lotes de sementes.

Além deste cuidado a ser tomado logo na implantação do campo, todo acompanhamento ao longo do desenvolvimento das plantas por meio de visitas técnicas para averiguação se há presença de plantas atípicas dentro dos campos ou de plantas daninhas, e sua erradicação é essencial.

O processo de colheita deve ser realizado respeitando os padrões de limpeza de todas as partes da colheitadeira, desde as unidades colhedoras, todo o caminho que o algodão percorre dentro de tubulações até os cestos coletores/compactadores de rolos. Também, todos os implementos agrícolas utilizados para transporte do algodão devem ser vistoriados, bem como todos os equipamentos de beneficiamento devem estar isentos de contaminantes antes do início de qualquer trabalho.

Estes são pontos de atenção, de maneira resumida, dentro do processo de obtenção de sementes, porém, é válido esclarecer que a qualidade genética pode ser facilmente não atendida se não forem compreendidos os processos envolvidos na produção de sementes.

Os limites de qualidade podem ser facilmente ultrapassados como resultado da mistura de sementes ou de cruzamentos não controlados entre plantas de diferentes biotecnologias, principalmente se não forem respeitadas as normas de produção de sementes, e pode ocorrer o descarte de lotes de sementes por não atender tal quesito de qualidade.

Portanto, os cuidados se iniciam desde o plantio com o posicionamento/alocação dos campos de sementes com devida cautela para escapar de zonas de risco de contaminação com o monitoramento das áreas vizinhas ao campo ou até mesmo o monitoramento de entrada de máquinas sem a limpeza adequada. De fato, o processo de multiplicação de sementes com qualidade deve ser realizado por instituições e empresas especializadas.

Tabela 1. Tecnologias de algodoeiro GM já liberadas para comercialização no Brasil pela CTNBio (Fonte: Brasil, 2025)

Nome Comercial	Eventos	Organismo Doador	Característica	Proteína	Reque-rente	Ano de aprova-ção	Parecer
Bollgard I	MON531	*Bacillus thurin-giensis*	Resistente a insetos	Cry1Ac	Monsanto	2005	513/05
Roundup Ready	MON1445	*Agrobacterium tumefaciens*	Tolerante a Herbicida	CP4-EPSPS	Monsanto	2008	1598/08
Liberty Link	LLCotton25	*Streptomyces viri-dochromogenes*	Tolerante a Herbicida	PAT	Bayer	2008	1521/08
BGRR	MON531 & MON1445	*Bacillus thurin-giensis/Agrobac-terium tumefa-ciens*	Tolerante a herbicida & resistência a insetos	Cry1Ac, CP4-EPSPS	Monsanto	2009	2051/09
Widestrike	281-24-236 & 3006-210-23	*Bacillus thurin-giensis/Strep-tomyces virido-chromogenes*	Tolerante a herbicida & resistência a insetos	Cry1Ac, Cry1F, (PAT)	Dow Agroscien-ces	2009	1757/09
BGII	MON15985	*Bacillus thurin-giensis*	Resistente a Insetos	Cry2Ab2, Cry1Ac	Monsanto	2009	1832/09
GlyTol	GHB614	*Zea mays*	Tolerante a herbicida	2mEPSPS	Bayer	2010	2754/10
TwinLink	T304-40 & GHB119	*Bacillus thurin-giensis/Strep-tomyces hygrosco-picus*	Resistente a insetos e Tolerante a herbicidas	Cry1Ab, Cry2Ae, PAT	Bayer	2011	2795/11
MON88913	MON88913	*Agrobacterium tumefaciens*	Tolerante a Herbicida	CP4-EPSPS	Monsanto	2011	2956/11
GlytolxTwinLink	GHB614 x T304-40 x GHB 119	*Zea may/Bacillus thuringiensis/ Streptomyces higroscopicus*	Tolerante a herbicida e reistência a insetos	Cry1Ab, Cry2Ae, PAT, 2mEPSPS	Bayer	2012	3286/12
GTxLL	GHB614 x LLCotton25	*Zea mays/Strep-tomyces virido-chromogenes*	Tolerante a Herbicida	2mEPSPS, PAT	Bayer	2012	3290/12
BGIIFlex	MON 15985 x MON 88913	*Bacillus thurin-giensis/Agrobac-terium tumefa-ciens*	Tolerante a Herbicida e Resis-tente a insetos	Cry1Ac, Cry2Ab2, CP4-EPSPS	Monsanto	2012	3365/12
BGIIIRRFlex	COT102xMON 15985 x MON 88913	*A. tumefaciens, B. thuringiensis, E.coli*	Tolerante a Herbicidas e resistente a insetos	Cry1Ac, Cry2Ab2, Vip3A, CP4-EPSPS	Monsanto	2016	5155/16
GlyTol®, Liberty-Link® e TwinLink Plus®	GHB614 x T304-40 x GHB119 x COT102	*Z.mays, B. thuringiensis, S. hygroscopicus*	Tolerande a herbicida e resistente a insetos	Cry1Ab, Cry2Ae, Vip3A(a), 2mEPSPS, PAT	Bayer	2017	5400/17
DGT	MON 88701	*Stenotrophomo-nas maltophilia, S. hygroscopicus*	Tolerância a herbicidas	DMO, PAT	Monsanto	2017	5429/17
Widestrike 3	DAS-21023-5 × DAS-24236-5 × SYN--IR102-7	*B. thuringiensis*	Resistência a insetos	Cry1Ac, Cry1F, Vip3A, (PAT)	Dow	2018	5955/18

Continua →

Tabela 1. Continuação

Nome Comercial	Eventos	Organismo Doador	Característica	Proteína	Reque-rente	Ano de aprova-ção	Parecer
Enlist	DAS81910	*Streptomyces viri-dochromogenes, Delftia acidovoran*	Tolerante a herbicidas	PAT, AAD-12	Dow	2018	6107/18
TwinLink Plus®	T304-40 x GHB 119 x COT102	*B. thuringiensis, S. hygroscopicus*	Tolerante a herbicida e resistente a insetos	Cry1Ab, Cry2Ae, Vip3A(a), PAT	BASF	2018	6130/18
RRFlexDGT	MON88913x-MON88701	*Stenotrophomo-nas maltophilia, A. tumefaciens, S. hygroscopicus*	Tolerante a herbicida e resistente a insetos	CP4-EPSPS, DMO, PAT	Monsanto	2018	6139/18
BGIIIRRFlexDGT	COT102 × MON 15985 × MON 88913 × MON 88701	*B. thuringiensis, S. hygroscopicus, Stenotrophomo-nas maltophilia, A. tumefaciens*	Tolerante a herbicida e resistente a insetos	Cry1Ac, Cry2Ab2, Vip3A, CP4-EPSPS, DMO, PAT	Monsanto	2018	6139 / 2018
Seletio TwinLink Plus	BCS--GHB811-4 x BCS--GHØØ4-7 x BCS--GHØØ5-8 x SYN-IR1Ø2-7	*Zea mays, B. thuringiensis, S. higroscopicus,*	Tolerancia a herbicida & resis-tência a insetos	Cry1Ab, Cry2Ae, Vip3A(a), 2mEPSPS, PAT, HPPD W336	BASF	2019	6405 / 2019
Widestrike 3 Enlist	DAS-21023-5 × DAS-24236-5 × SYN--IR102-7 × DAS-81910-7	*B. thuringiensis. A. tumefaciens, Delf-tia acidovorans*	Tolerancia a herbicida & resistência a insetos	Cry1Ac, Cry1F, Vip3A, PAT, AAD-12	Dow AgroS-ciences Industrial Ltda	2019	6657 /2019
VipCotton	COT102	*B. thuringiensis*	Resistência a insetos	Vip3A (a)	Syngenta Seeds Ltda	2021	RN32
Bollgard II	MON 15985	*B. thuringiensis*	Resisttência a certos insetos e pragas	Cry1Ac	Monsanto do Brasil Ltda	2022	8038 /2022
GLI	LLCotton25 x GBH811 (GLI)	*Streptomyces viri-dochromogenes, Zea mays*	Tolerância a herbicidas à base de glifosato e herbi-cidas inibidores	PAT, 2mEPSPS e HPPD W336	BASF S.A	2023	8540 / 2023

Referências bibliográficas

BAALBAKI, R.; ELIAS, S.; MARCOS-FILHO, J.; MCDONALD, M.B. **Seed vigor testing handbook**, AOSA, Ithaca, NY, USA. (Contribution to the Handbook on Seed Testing, 32). 2009.

BRASIL- Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). **Resolução normativa n°18**, de 23 de março de 2025. Brasília, DF, 2025.

MOORE, R.P. **Handbook on Tetrazolium Testing**. International Seed Testing Association, Zurich. 1985.

SAVOY, B.R. Cool Germination Test: Principles and Applications In Cotton. **Seed Technology**. 27 (1): 127-129. 2005.

Jean-Louis Bélot
IMAmt

Rodrigo Chimenez-Franzon
IMAmt

Patricia M. Coury de Andrade Vilela
IMAmt

CAPÍTULO 4.2

Escolha da variedade

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 por Vilela, Belot e Morello, atualizado na edição de 2014/15 pelos mesmos autores, novamente atualizado na edição de 2019/20 por Vilela e Belot e, nesta edição, por Belot, Vilela e Franzon.

Desde o início do cultivo do algodoeiro mecanizado em Mato Grosso, os trabalhos de melhoramento genético proporcionaram ganhos genéticos significativos, que possibilitaram a comercialização de variedades adaptadas ao clima, ao solo e ao sistema de produção do estado, resultando em alto potencial produtivo e qualidade de fibra. O algodão é cultivado em Mato Grosso sob condições tropicais úmidas, que requerem variedades com alta resistência e/ou tolerância às principais doenças foliares, como ramulose e mancha de ramulária, e também aos nematoides.

Assim, uma variedade é definida por um conjunto de características, tais como arquitetura da planta, duração do ciclo (precoce, intermediário e tardio), potencial produtivo, rendimento e qualidade de fibra, além de resistência/tolerância às principais doenças e nematoides.

Na escolha de uma variedade, o potencial produtivo é, geralmente, a principal característica utilizada. Ele indica o nível de produtividade que pode ser alcançado quando todos os fatores (água, luz, nutrientes, controle de pragas, doenças etc.) estiverem disponíveis em condições de lavoura. Porém, as condições de ambiente podem afetar significativamente a expressão desse potencial produtivo, assim como a qualidade da fibra, e cada variedade pode responder diferentemente em função do local e da época de plantio, o que é chamado de interação variedade x ambiente. A escolha correta da variedade é, portanto, de extrema importância. Em função da complexidade dessas interações, é fundamental para a sustentabilidade integral do sistema que o produtor opte por plantar mais de uma variedade, independentemente do sistema utilizado, podendo ser de safra, segunda safra e/ou adensado, a fim de minimizar o risco produtivo na propriedade.

1. Eventos transgênicos em variedades de algodão

As variedades são também o suporte para inserção de novas tecnologias transgênicas (*traits*) que conferem características particulares à planta. Essas biotecnologias são atualmente de dois tipos, conferindo propriedades de resistência a alguns herbicidas ou a insetos-praga do algodoeiro. A instituição regulatória desses processos no Brasil, que é a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), já liberou diversos eventos transgênicos para o algodoeiro (Tabela 1, Capítulo 4.1), e muitos deles estão disponíveis em variedades comerciais adaptadas às condições de Mato Grosso.

Visando à preservação da eficiência desses *traits* para resistência a herbicidas e inseticidas, é necessário respeitar certas regras de manejo em campo. No caso do uso de traits inseticidas, o produtor precisa plantar conjuntamente ao talhão transgênico algumas faixas com material convencional, chamadas de **refúgio**, constituídas de uma determinada porcentagem da superfície plantada com variedade convencional com manejo específico (para mais informação, ver www.planterefugio.com.br), conforme descrito no Capítulo 5.7 deste Manual. Respeitar essas regras é

de suma importância para a sustentabilidade dessas tecnologias, mantendo-as efetivas ao longo do tempo, o que é de interesse do produtor.

Essas biotecnologias têm sido incorporadas por meio de melhoramento genético convencional em variedades de diversos obtentores que atuam no Brasil, por meio de acordos de licenciamento dos diversos *traits* transgênicos.

Todas essas biotecnologias presentes no código genético da semente estão **protegidas por patentes**, o que leva à obrigação de pagamento de uma taxa tecnológica, na forma de *royalties*, para que se permita seu uso comercial por parte dos produtores, sendo proibida a produção e o uso de sementes próprias dessas variedades sem o recolhimento dessa taxa.

2. Variedades de algodão adaptadas

No Brasil, cinco empresas ou instituições de pesquisa, chamadas de obtentores, atuam para desenvolver novas variedades de algodão adaptadas a partir desse tipo de biotecnologia. São elas: BASF, que desenvolve as variedades FiberMax, TMG com as variedades TMG, Bayer com as variedades DeltaPine, IMAmt com as variedades IMA e Embrapa, com as variedades BRS. Essas empresas podem comercializar diretamente as sementes das suas variedades ou licenciá-las para que outras empresas produzam e comercializem as sementes.

Tais variedades são geralmente protegidas por Certificados de Obtenção Vegetal (COV), conforme previsto no acordo da UPOV (Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales), da qual o Brasil é membro e adotou a Convenção de 1978. Uma variedade protegida por COV não pode ser comercializada sem acordo contratual do obtentor. Porém, em virtude desse acordo da UPOV, qualquer produtor tem o direito de multiplicar uma variedade protegida e usar sua semente sem que necessite pedir autorização ao detentor do COV, desde que o faça **unicamente para uso próprio** e apenas no ano seguindo a aquisição e produção das sementes, sendo proibida a sua comercialização.

2.1. Caracterização das variedades

Cada variedade transgênica de algodão deve ser devidamente caracterizada para diversos fatores, tais como:

Ciclo: a priori, a definição do ciclo de uma cultivar é relativamente clara. Ele se refere ao tempo, em número de dias transcorridos entre o plantio/emergência e o ponto de colheita do algodão, ou entre sua emergência e os diversos estágios fenológicos. Existem outras maneiras de se caracterizar a precocidade de uma variedade, com o uso do sistema de Grau Dias (conforme exposto no Capítulo 3.1).

Na prática, a precocidade de uma variedade pode ser relativamente complexa de se avaliar. Isso ocorre porque a duração do ciclo depende significativamente das condições climáticas e de manejo. A temperatura é um elemento-chave, acelerando o ciclo. Porém, outros elementos podem também interferir drasticamente na duração do ciclo da variedade, como a capacidade de pegamento do baixeiro, o manejo de regulador de crescimento, a capacidade da planta de retomar o seu crescimento caso ela perca as primeiras posições, entre outros.

Uma variedade pode ser classificada como "Precoce", "Intermediária" ou "Tardia", porém, com os detalhes existentes dentro de cada grupo, sua classificação torna-se mais difícil de ser realizada.

Apesar de tudo, conhecer o ciclo da variedade é importante para o seu posicionamento na fazenda.

Potencial produtivo e adaptabilidade: o potencial produtivo é a capacidade de produção máxima em condições ideais de nutrição da planta. Ter uma variedade de alto potencial produtivo pode ser desejável, mas para isso é preciso verificar se, nos talhões onde ela será usada, existem fatores não otimizados que possam inibir a expressão desse potencial produtivo. A depender das circunstâncias, é melhor dar mais peso à adaptabilidade da variedade a diversas condições agroecológicas, por exemplo, quando existe grande variabilidade de ambientes dentro e entre os talhões da fazenda.

A produção final de uma lavoura é uma equação muito complexa, envolvendo o potencial genético do material em função do ciclo, o posicionamento da carga da planta em função da capacidade de retenção em cada posição frutífera, a capacidade da planta de emitir nós, entre outros aspectos. Tudo isso ocorre em interação com as condições agroecológicas e de manejo. Além disso, vale lembrar que as variedades de ciclo precoce geralmente

apresentam menos aptidão a se recuperar de estresses de final de ciclo.

Porém, de qual produtividade estamos falando? Sendo a fibra o produto de maior valor na produção do algodoeiro, é importante cada vez mais considerar a produtividade de fibra por hectare em vez de algodão em caroço. Então, o parâmetro de rendimento de fibra ou porcentagem de fibra (RF%) se torna muito importante; ele é geralmente bem definido entre as variedades, apesar do ambiente poder incidir significativamente sobre o nível deste parâmetro.

Para algumas variedades de rendimento de fibra relativamente baixo, inferior a 40%, como a IMA 5801B2RF, o manejo favorável ao ponteiro pode contribuir para elevar o rendimento de fibra até 39-40%, como constatado no estado da Bahia. O ponto negativo desse manejo é que ele irá baixar a maturidade da fibra, podendo elevar o índice de fibras curtas.

Variedades com índice RF% muito elevado, acima de 42%, são a priori interessantes para obter altas produtividades de fibra; porém, como iremos comentar adiante, algumas destas variedades podem apresentar problemas de fragilidade do tegumento do caroço, gerando contaminações.

Resistência e tolerância a fatores bióticos, como doenças e nematoides, e **abióticos** são fatores que permitem a uma variedade ter estabilidade produtiva.

Geralmente, as variedades atuais não são muito bem caracterizadas em relação à tolerância a certos fatores abióticos, como estresse hídrico, altas temperaturas e baixa luminosidade (ou sombreamento). Estes parâmetros são difíceis de avaliar até mesmo para os obtentores das variedades. Normalmente, são necessárias várias safras de cultivo em ambientes diversificados para que se possa começar a conhecer esses indicadores, que, por isso, não são bem definidos para os novos materiais que entram no mercado anualmente.

Não é este o caso da caracterização das cultivares em relação as doenças e nematoides. Esta caracterização é feita pelos próprios obtentores ou por diversas instituições independentes. É o caso do Departamento de Fitopatologia/Nematologia do IMAmt, que há 18 anos testa as cultivares comerciais disponíveis no mercado e publica os resultados anualmente na forma de Circulares Técnicas (https://imamt.org.br/circulares-tecnicas/).

Potencial de qualidade de fibra

Sendo a fibra o produto de maior valor da produção do algodão, para que ela seja comercializada com o valor de mercado sem sofrer deságios, é preciso haver parâmetros de qualidade avaliados pelas HVI das salas de classificação que atendem os mercados compradores.

O produtor precisa, portanto, ficar atento aos principais parâmetros de qualidade e aos valores abaixo dos quais a fibra irá receber deságio. É o caso do comprimento da fibra, que precisa ficar acima de 28,7 mm, da resistência, que deve estar acima de 28g/tex, e do Micronaire, que deve ficar entre 3,5 e 4,9. A dificuldade na escolha da variedade em relação à produção de uma fibra de qualidade ocorre também devido ao fato de que, geralmente, os obtentores caracterizam as variedades com médias de parâmetros HVI obtidos em fibra do terço médio das plantas nas suas redes de avaliação. Na prática, quando o produtor for usar um material em sua fazenda, ele irá produzir fardos de fibra com parâmetros HVI com dispersão ao redor desses valores médios. Assim, para produzir o mínimo possível de fardos com algum parâmetro fora dos valores limite para receber deságios, o produtor deverá escolher variedades com parâmetros significativamente acima desses valores.

Outro ponto-chave será o manejo a

campo e na algodoeira, que poderá afetar significativamente a qualidade final da fibra.

Em particular, a fim de mitigar uma das maiores reclamações da indústria em relação à fibra brasileira, que é o conteúdo em fibras curtas (SFC, ou Short Fiber Content, que equivale à porcentagem de fibras de comprimento inferior a meia polegada), o produtor deverá deixar de lado algumas variedades; ou, caso deseje plantá-las, ele deverá ter condições de mitigar a geração de fibras curtas a campo ou na algodoeira com um sistema de manejo adequado.

A fim de ajudar o produtor na escolha da variedade em relação à qualidade da fibra, o Departamento de Melhoramento Genético do Algodão do IMAmt compara e classifica as principais variedades comerciais em três categorias: potencialmente problemáticas, intermediárias e boas. Esses resultados também são publicados anualmente na forma de Circulares Técnicas (https://imamt.org.br/circulares-tecnicas/).

Potencial de qualidade do caroço

O caroço é um subproduto da cultura do algodão que pode representar até 10% do valor da produção. Não existem, por enquanto, parâmetros de qualidade do caroço (teor em óleo ou em proteínas) para nortear o comércio desse produto. Porém, em consequência da alta diversidade das variedades e dos valores de rendimento de fibra, sabemos que há uma diferença muito grande de rendimento em óleo para as indústrias de esmagamento. Assim, a indústria passa a acusar problemas relacionados à qualidade de certas cargas.

Outra consequência secundária do melhoramento genético para obtenção de variedades com altos rendimentos de fibra é a fragilização do tegumento do caroço. Esse problema aparece para certas variedades, provocando contaminação da fibra por pedaços de casca (Seed Coat Fragments) e por farelo da amêndoa do próprio caroço, provocando problemas nas fiações semelhantes aos provocados pela "pegajosidade" de origem entomológica.

As variedades comerciais estão sendo caracterizadas em relação à fragilidade de casca por meio de testes específicos. Caso o produtor queira usar as variedades potencialmente problemáticas para esse tipo de contaminação, ele deve se assegurar de que as condições de beneficiamento presentes na fazenda permitam mitigar esse problema (principalmente com redução da carga na algodoeira).

2.2. Posicionamento comercial

Cada empresa comercial, seja ela o obtentor ou o licenciador, deve estabelecer um posicionamento de mercado da cultivar a fim de ajudar o produtor na escolha da variedade (Figura 1). Isso equivale a fazer recomendações para que a variedade expresse da melhor forma possível o seu potencial, seja em relação à produção de fibra ou à qualidade, à época de plantio, à densidade de plantas por hectare, ao uso de reguladores de crescimento, entre outros aspectos influentes na decisão.

Figura 1. Exemplo de posicionamento comercial de uma cultivar: Dia de Campo IMAmt e parceiros 2024 (Fonte: Jean-L. Belot, 2024)

Existem mais de 400 unidades produtivas/fazendas de algodão em Mato Grosso, cada uma delas com condições edafoclimáticas específicas e com gerentes de campo usando sistemas de manejos diferentes, principalmente adubação e uso de reguladores de crescimento. Para sustentar o posicionamento de cada cultivar, é preciso obter e analisar amplos conjuntos de dados sobre o comportamento da cultivar.

O produtor deve sempre ter cautela antes de trocar as variedades que já utiliza, realizando testes iniciais em áreas pequenas e aumentando progressivamente estas amostras à medida que a nova variedade apresentar resultados interessantes. Nunca se deve esquecer que o resultado depende muito das condições climáticas do ano (interações entre a genética e o ambiente).

Outro ponto importante no momento da escolha da variedade é a necessidade de se levar em conta o tipo de beneficiamento disponível para a fazenda. Algumas variedades com fragilidade de casca serão prejudicadas caso os equipamentos sejam de alta velocidade e sem possibilidade de redução de carga.

Considerações sobre a escolha da variedade

- A escolha da variedade é uma decisão de cada produtor e deve ser definida de acordo com as condições agroecológicas de sua propriedade.
- O ciclo da cultivar é um dos elementos-chave na escolha do material, em função da época de plantio, previsões climáticas e de manejo.
- Sabe-se que o potencial produtivo é o primeiro critério de escolha, porém outras características da variedade, como a de tolerância as doenças e nematoides ou a biotecnologia que ela carrega, são também importantes.
- A qualidade da fibra definirá o valor do ingresso comercial, sendo, portanto, um elemento-chave da rentabilidade do cultivo.
- Parte do potencial de qualidade de fibra é definida pelo genótipo, ou seja, por meio da escolha da variedade; porém, as condições climáticas, de manejo a campo e no beneficiamento têm incidência significativa.

3. Variedades disponíveis para uso no Brasil

Levantamento realizado pela AMPA e pelo IMAmt mostra que, em 2025, existem mais de 60 variedades comerciais e pré-comerciais de algodão disponíveis no Brasil. A relação dessas variedades é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Principais variedades disponíveis para os produtores para a safra 2025/26 (Fonte: AMPA, 2025)

Variedades Comerciais e em Desenvolvimento		% Área MT Safra 2024/ 25	Variedades com menos de 1%	Variedades com menos de 1%
1	FM 911GLTP	17.85	FM 940GLT	IMA 3010B2RF
2	DP 1949 B3RF	10.02	FM 492TLP	IMA 4807B2RF
3	FM 978GLTP	7.39	FM 970GLTP RM	IMA 707B3XF
4	TMG 33B3RF	7.35	BS 2093GLTP	IMA 712B3XF
5	TMG 31B3RF	6.84	BS 2052GLTP	IMA 497B3XF
6	FM 912GLTP RM	6.21	BX 2104GLTP	TMG 50WS3
7	FM 944GL	4.92	FM 990STP	TMG 47B2RF
8	TMG 91WS3	4.71	BS 2323STP	TMG 38B3RF
9	TMG 51WS3	3.96	BS 2377STP	TMG 83B3XF
10	TMG 44B2RF	3.93	BS 2360STP	TMG 84B3XF
11	FM 945STP	3.63	DP 2058B3RF	TMG 88B3XF
12	TMG 22GLTP	3.50	DP 2063B3RF	TMG 2292B3XF
13	FM 974GLT	2.88	DP 2077B3RF	TMG 63XF
14	FM 906GLT	2.05	DP 2104B3RF	BRS 500B2RF
15	TMG 21GLTP	2.03	DP 2252B3XF	BRS 600B3RF
16	IMA 5801B2RF	1.89	DP 2297B3XF	BRS 700 FL B3RF
17	DP 2176B3RF	1.54	IMA 3764B2RF	BRS 800B3RF
18	IMA 5901B2RF	1.53	IMA 3408B2RF	DAG 2063B3RF
19	DP 2111B3RF	1.52	IMA 3493B2RF	TAURA B3XF

Essa tabela mostra que, em 2024/25, 73% da área plantada foi cultivada com 10 variedades e que a variedade mais plantada ocupa menos de 20% dessa área. Isso evidencia o aumento de concorrência no mercado de variedades de algodão e que, no futuro, dificilmente haverá uma situação de forte dominância de uma variedade, como era o caso há 10 ou 20 anos, quando as variedades FM 975WS e TMG 44B2RF ocupavam mais de 50% do mercado. Ademais, a vida útil das variedades é cada vez mais curta e o produtor muda mais facilmente de variedade.

Descrição das variedades

Para a apresentação das variedades comerciais e pré-comerciais, são listadas a seguir as empresas que comercializam os diversos materiais, que irão disponibilizar suas características principais e seu posicionamento técnico.

COMDEAGRO

Licenciada, comercializando as variedades do IMAmt, principalmente as variedades:

IMA 5801B2RF, IMA 5901B2RF, IMA 3764B2RF, IMA 243B2RF, IMA 3010B2RF, IMA 4807B2RF, IMA 707B3XF, IMA 712B3XF e IMA 497B3XF.

Contato: Antonio Neto, Gilson Renato Dobler, Genivaldo dos Santos.

Mais informações no site www.comdeagro.com.br ou nas redes sociais @comdeagromt (LinkedIn, Instagram, Facebook).

BAYER

Comercialização das variedades da marca DeltaPine©, principalmente as variedades:

DP 1949B3RF, DP 2111B3RF, DP 2176B3RF, DP 2252B3XF e DP 2297B3XF.

Mais informações no site www.agro.bayer.com.br/marcas/deltapine.

BASF

Comercialização das variedades da marca FiberMax©, principalmente as variedades:

FM 906GLT, FM 974GLT, FM 911GLTP, FM 912GLTP, FM 978GLTP, FM 945STP e FM 990STP.

Mais informações no site www.agriculture.basf.com nas redes sociais @basf_agro_br (Instagram, Facebook).

TMG

Comercialização das variedades da TMG, principalmente as variedades:

TMG 44B2RF, TMG 91WS3, TMG 31B3RF, TMG 33B3RF, TMG 38B3RF, TMG 63XF, TMG 83B3XF, TMG 84B3XF e TMG 88B3XF.

Mais informações no site www.tmg.agr.br/cultivares/algodao/ e nas redes sociais @tmgenetica (LinkedIn, Instagram, Facebook).

JH Sementes

Comercialização de variedades a Bayer e do IMAmt, principalmente as variedades:

DP 1949B3RF, DP 2176B3RF e IMA 3408B2RF.

Mais informações nas redes sociais @jhsementes (LinkedIn, Instagram, Facebook).

LYNTERA/ IST Cotton

Licenciada das variedades da Embrapa e da TMG, principalmente as variedades:

BRS 600B3RF, BRS 700 FL B3RF, BRS 800B3RF e LYN 244B3XF.

Mais informações nas redes sociais @lyntera (Instagram).

Agro Amazônia

Licenciada de algumas variedades da TMG, principalmente as variedades DAGMA:

DAG 2063B3RF e DAG 2278B3XF.

Mais informações no site www.agroamazonia.com/ ou no www.dagma.com.br/.

Girassol Agrícola

Licenciada de variedades da TMG e do IMAmt, principalmente as variedades:

GA 5802B2RF e GA 32B3RF.

Mais informações no site www.girassolagricola.com.br/ ou nas redes sociais @girassolagrícola (LinkedIn, Instagram, Facebook).

Petrovina Sementes

Licenciada de variedades da TMG e do IMAmt, principalmente as variedades:

IMA 3493B2RF, Petrovina 2058B3RF e Petrovina 2292B3XF.

Mais informações no site www.petrovinasementes.com.br/ ou nas redes sociais @petrovinasementes (LinkedIn, Instagram, Facebook).

Polato Sementes

Licenciada de variedades da TMG, principalmente as variedades:

ÂMBAR STP e TOPAZIO B3XF.

Mais informações no site www.polatosementes.com.br ou nas redes sociais @polatosementes (LinkedIn, Instagram, Facebook).

Sementes Tropical

Licenciada de variedades da TMG, principalmente as variedades:

IMA 3479B2RF, ST OPUS STP e ST ATUS B3XF.

Mais informações no site www.sementestropical.com.br ou nas redes sociais @sementestropical (LinkedIn, Instagram, Facebook).

CIA Seeds

Licenciada de algumas variedades da TMG, principalmente as variedades:

TAURA B3XF.

Mais informações no site www.ciaseeds.com ou nas redes sociais @ciaseeds (LinkedIn, Instagram, Facebook).

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: jeanbelot@imamt.org.br

Fernando Mendes Lamas
Embrapa Agropecuária Oeste

Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira
Embrapa Algodão

Ruy Seiji Yamaoka
IDR- Paraná
(in memoriam)

CAPÍTULO 4.3

Implantação da cultura

Capítulo publicado originalmente na edição 2012/13 do Manual de Boas Práticas, de autoria de Lamas e Yamaoka. Foi atualizado em 2014/15 pelos mesmos autores e, posteriormente, nas edições de 2019/20 e 2025, por Lamas, Ferreira e Yamaoka.

1. Sistema de produção

No Estado de Mato Grosso, existem dois sistemas de produção de algodão (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.), considerando-se a época de semeadura e a cultura antecessora. O primeiro caso é o cultivo do algodoeiro "safra", que é semeado durante o mês de dezembro até, no máximo, o início de janeiro, em área preparada de forma convencional, ou em semeadura direta sobre palhada de milheto ou outra planta de cobertura, ou simplesmente sobre os restos culturais do cultivo anterior. Normalmente, a dessecação da cultura cultivada para a produção de palha é feita de 15 a 20 dias antes da data planejada para a semeadura do algodoeiro. A área cultivada com esse sistema representa aproximadamente 8% da área total cultivada com o algodoeiro no Estado. No caso do algodoeiro de segunda safra, que corresponde a 92% da área cultivada, a semeadura é realizada entre janeiro e fevereiro, imediatamente após a colheita da soja. Nesse caso, a semeadura e o cultivo do algodoeiro são realizados sobre os restos culturais da soja, sem qualquer movimentação do solo, exceto na linha de semeadura. Entretanto, ao longo dos anos de adoção sucessiva desse sistema de cultivo, caracterizado pela baixa diversificação de plantas, geralmente faz-se necessário o uso de subsolador a cada três anos, visando solucionar momentaneamente problemas como a compactação do solo.

O cultivo do algodoeiro sobre os restos culturais da soja, no sistema soja-algodão, não é o Sistema Plantio Direto (SPD), o qual tem como premissas: (1) não revolvimento do solo; (2) rotação de culturas; e (3) manutenção do solo permanentemente coberto com palhada proveniente de restos culturais e/ou de plantas de cobertura/adubos verdes. As duas últimas premissas do SPD não são observadas quando se cultiva continuamente soja-algodão. Nesse modelo, não existe a prática da rotação de culturas, que é fundamental para a sustentabilidade do sistema de produção. A quantidade de palha deixada pela soja é muito baixa, algo em torno de 4 t ha^{-1}, fato este relacionado às características da espécie e das cultivares em uso. A palhada residual da soja, embora propicie boa cobertura inicial do solo (Figura 1), é rapidamente decomposta, deixando o solo descoberto durante boa parte do longo ciclo do algodoeiro. A rápida perda da palhada de soja sobre o solo deve-se à sua baixa relação carbono-nitrogênio (C/N), às disponibilidades adequadas de água e temperatura, e ao lento crescimento inicial do algodoeiro, que permite elevada radiação solar direta sobre a palhada. Embora, durante o ciclo do algodoeiro, haja elevada produção de matéria seca da parte aérea, após a colheita, os seus restos culturais fornecem aproximadamente 4 t ha^{-1} de matéria seca, para posterior semeadura da soja. Assim, além da pouca quantidade de palha residual de algodão, a baixa superfície específica do caule e dos ramos do algodoeiro propicia pouca cobertura e proteção do solo, sendo a soja, em sucessão, semeada em solo

praticamente descoberto (Figura 2), exceto quando o algodoeiro é um dos componentes de um sistema de produção mais diversificado, que, antes da soja, tenha integrado o milho ou alguma outra cultura comercial ou planta de cobertura.

O sistema plantio direto (SPD) ainda enfrenta resistências por parte dos produtores pelos seguintes motivos: 1) necessidade da rotação de culturas; 2) manter o solo com plantas verdes a maior parte do ano. Neste sistema, tem-se uma maior estabilidade de produção no tempo, devido às melhorias do solo tanto no aspecto físico, químico e biológico, proporcionando às plantas maior resiliência às adversidades climáticas.

No modelo soja-algodão, por conta da necessidade de semeadura imediata do algodão após a soja, em solo muitas vezes com teor de umidade elevado, desfavorável ao trânsito de máquinas e à semeadura, com alta propensão à mela, maior risco de déficit hídrico após o mês de abril e, consequentemente, maior probabilidade de redução do potencial produtivo, são necessários cuidados para minimizar riscos à produtividade e qualidade da fibra.

Para assegurar a diversificação e a sustentabilidade do sistema, recomenda-se, a cada dois anos, fazer o cultivo de milho consorciado com braquiária, por exemplo, para melhorar o aporte de biomassa (palha) na superfície e aprimorar a qualidade do solo ao longo do perfil. *Urochloa ruziziensis* é uma das espécies de braquiária mais cultivadas em consórcio com milho (Figura 3).

Figura 1. Palhada da soja antecedendo a semeadura do algodão em segunda safra (Fonte: IMAmt)

Figura 2. Soja cultivada sobre restos culturais do algodoeiro (Fonte: Fernando Mendes Lamas)

Figura 3. Milho consorciado com braquiária, após colheita (Fonte: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira)

Após a colheita do milho, antes da semeadura do algodoeiro, a braquiária continua o seu crescimento e, por conseguinte, a produção de biomassa aérea e radicular nas camadas mais profundas do solo, podendo ser pastejada no sistema integração lavoura-pecuária (Figura 4).

Outra opção para diversificar o sistema de produção soja-algodão é, a cada dois ou três anos, abrir mão da safra do algodão, cultivando-se, após a soja, uma planta de cobertura ou adubo verde que possa melhorar a qualidade do solo. Como exemplos, existem a *Crotalaria spectabilis* e Crotalaria ochroleuca, que possuem a característica de fixação biológica do nitrogênio da atmosfera, além de reduzirem os nematoides *Meloidogyne incognita* e *Rotylenchulus reniformis*. As duas espécies de crotalária mencionadas podem ser cultivadas de forma solteira ou consorciadas com braquiária.

Além de o solo estar coberto com palha, as raízes das plantas de cobertura, como as provenientes do cultivo consorciado do milho com braquiária (Figura 5) ou da braquiária consorciada com *C. spectabilis*, são da maior relevância quando se considera a melhoria do perfil do solo nos aspectos físico, químico e biológico.

Figura 4. Vista do sistema radicular de braquiária imediatamente antes da semeadura do algodoeiro em Ipiranga do Norte, MT (Fonte: Fernando Mendes Lamas)

Figura 5. Raízes de milho e braquiária em cultivo consorciado (Fonte: Embrapa)

O sistema de cultivo consorciado de milho com braquiária, conhecido como Sistema Santa Fé, além de disponibilizar alta quantidade de palha para a semeadura direta do algodão (Figuras 6 e 7), também reduz a erosão e auxilia no controle integrado de plantas daninhas, problema cada vez mais frequente nas lavouras de algodão, milho e soja do Cerrado brasileiro.

2. Época de semeadura

Dentre as espécies vegetais cultivadas, o algodoeiro é uma das mais exigentes em cuidados e práticas agronômicas adequadas, inclusive no que se refere à época de semeadura, a qual exerce influência sobre a quantidade e a qualidade da fibra produzida, à incidência de pragas e doenças e à duração de cada fase fenológica, consequentemente, sobre o ciclo e o manejo da planta.

Quando o algodoeiro for cultivado em segunda safra, após a colheita da soja, deve ser dada preferência às cultivares de soja superprecoce ou precoce, semeadas no início do período recomendado, após o vazio sanitário, para que a cultura do algodoeiro possa ser semeada em tempo, de modo que, durante o seu desenvolvimento reprodutivo ainda haja suficiente precipitação pluvial, pelo menos até 100 dias após a emergência.

Embora o vazio sanitário da soja para o Mato Grosso permita que essa cultura seja semeada no início de setembro, as chuvas irregulares ou ausentes no início do período chuvoso podem comprometer seriamente o estabelecimento e o potencial produtivo da lavoura de soja, tal como observado no ano agrícola 2023/2024. Assim, com o intuito de reduzir o risco e aumentar a segurança produtiva da soja, a alternativa é atrasar a semeadura da soja, o que, consequentemente, resulta em atraso na semeadura do algodoeiro de segunda safra em sucessão, diminuindo seu potencial produtivo.

Em trabalhos desenvolvidos em Goiás, com quatro cultivares em quatro épocas de semeadura (07/dez; 24/dez; 09/jan e 24/jan), ficou evidente a queda da produtividade de fibra com o atraso da época de semeadura para todas as cultivares (Figura 8). Resultados semelhantes também foram obtidos em diversos trabalhos de pesquisa desenvolvidos em diferentes regiões produtoras de Mato Grosso.

Figura 6. Palhada de milho associado à braquiária precedendo a semeadura direta do algodoeiro, em Ipiranga do Norte, MT (Fonte: Fernando Mendes Lamas)

Figura 7. Lavoura de algodoeiro cultivado sobre palhada de braquiária (Fonte: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira)

As características tecnológicas intrínsecas da fibra, como o comprimento, a uniformidade de comprimento e o índice micronaire, estão entre as mais afetadas negativamente pela época de semeadura. O índice micronaire tende a reduzir-se com o atraso na época de semeadura, especialmente quando ocorrem temperaturas noturnas inferiores a 17 °C.

A semeadura tardia do algodão TMG 44 B2RF em sistemas de produção de algodão safra sobre palhada de milheto, ou como algodão de segunda safra pós-feijão e pós-soja, – nestes dois últimos casos avançando o terceiro decêndio de janeiro e adentrando fevereiro – compromete a qualidade da fibra do terço superior das plantas, com comprimento de fibra menor do que 26,96 mm, resistência menor do que 28,25 gf/tex, chegando

ao extremo de 27,17 gf/tex, e índice de fibra curta (SFI) maior do que 10,5%. Os algodoeiros cultivados em primeira safra apresentam melhor qualidade média de fibra, considerando-se as duas posições de origem dos capulhos na planta, terço médio e ponteiro, em relação aos algodoeiros cultivados em segunda safra. Portanto, a pior qualidade de fibra do terço superior dos algodoeiros semeados mais tarde pode prejudicar a média da lavoura e resultar em deságio na comercialização.

Dentre os fatores que interferem na produtividade do algodoeiro e na qualidade da fibra, destaca-se a temperatura, sendo consideradas ideais as temperaturas médias diurnas e noturnas de 30 °C e 22 °C, respectivamente, para a obtenção de elevadas produtividades e de fibras com boa qualidade. O estresse térmico afeta a produtividade por meio de dois componentes principais da produção: o número e a massa de capulhos. Temperaturas noturnas menores que 22 °C interferem negativamente, por exemplo, no índice micronaire, resultando em fibras mais finas.

Indicação de época de semeadura

Considerando-se que o algodoeiro é cultivado no estado de Mato Grosso, em sua maior parte sem irrigação, ou seja, na dependência total da precipitação pluvial, este é um fator preponderante para a definição da época de semeadura. A estação chuvosa varia entre as regiões produtoras de algodão de Mato Grosso. Está concentrada de meados de outubro a meados de março no extremo Sul, na divisa com a Bolívia e o Mato Grosso do Sul; do final de outubro ao final de março nas regiões Sul e Leste; e entre o final de setembro e o final de abril nas regiões Norte e Noroeste. Com base nessas informações, fica evidente que para cada uma das regiões haverá uma época de semeadura em que a probabilidade de prejuízos por déficit hídrico será menor.

Além dos fatores climáticos que influenciam a época de semeadura da cultura do algodoeiro em Mato Grosso, há também uma legislação específica que regulamenta o período de vazio sanitário e de semeadura do algodoeiro no Estado. Trata-se de uma medida fitossanitária voltada ao controle do

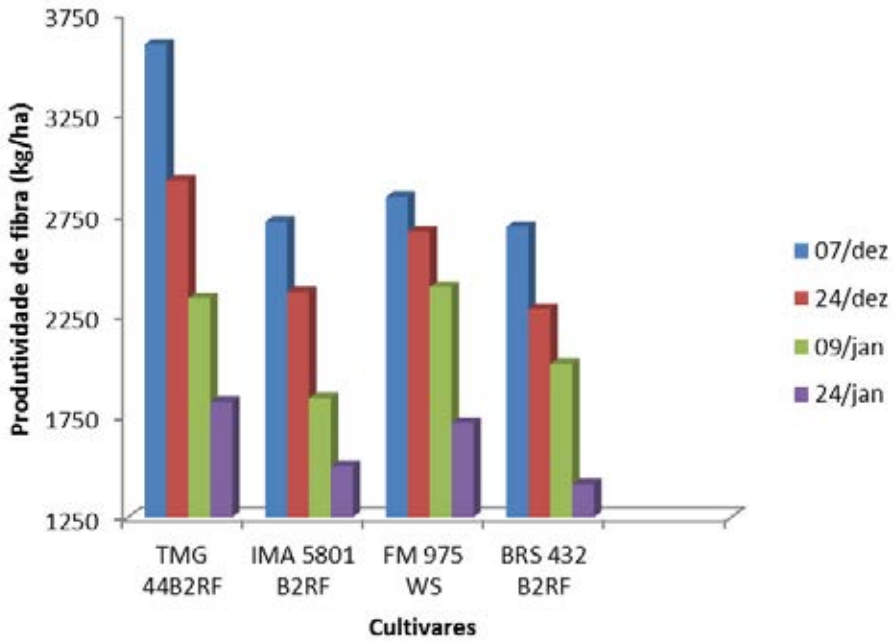


Figura 8. Produtividade da fibra de algodão em função da época de semeadura de cultivares de algodoeiro

bicudo-do-algodoeiro. De acordo com a instrução normativa nº 003/2024 do SEDEC-INDEA/MT, publicada no Diário Oficial do Estado de Mato Grosso em 30/09/2024, o período para a semeadura varia conforme a região do Estado, sendo de 01/12 a 28/02 ou de 15/12 a 28/02.

Considerando-se a disponibilidade hídrica, a semeadura do algodoeiro em Mato Grosso deve ocorrer até o final de janeiro. Cabe destacar que, na microrregião de Rondonópolis e Tesouro, em semeaduras realizadas em janeiro, é grande a probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na fase em que a cultura mais necessita de água, ou seja, a partir do início do florescimento até a maturação das maçãs.

De acordo com o zoneamento agrícola de risco climático, a época de semeadura é variável de acordo com o município e o tipo de solo. Assim, para os municípios do sul e leste de Mato Grosso, o algodoeiro pode ser semeado a partir do primeiro decêndio de dezembro até o primeiro decêndio de fevereiro, exceto para solos arenosos. Para a região do médio-norte, oeste e nordeste, a época de semeadura vai do terceiro decêndio de dezembro até o terceiro decêndio de fevereiro. Para solos arenosos, a semeadura deve ser limitada até o terceiro decêndio de janeiro. Esse período é estabelecido de forma a minimizar os riscos decorrentes de eventuais períodos de déficit hídrico, considerando o tipo de solo, o ciclo da cultivar e a região do Estado. Para solos arenosos, com baixa capacidade de armazenamento de água, a semeadura deve ser realizada o mais cedo possível, dentro do período recomendado.

O zoneamento agrícola de risco climático é estabelecido considerando a probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na fase crítica do desenvolvimento do algodoeiro, compreendida entre o início do florescimento (F1) e a formação das maçãs. Entretanto, deve-se considerar também que longos períodos de chuva, especialmente após o início do florescimento, podem interferir negativamente na produtividade do algodoeiro, em razão da baixa radiação solar e do maior abortamento e apodrecimento de estruturas reprodutivas, que incluem botões florais, maçãs e capulhos.

Para as regiões em que, durante os meses de janeiro, fevereiro e março, ocorrem chuvas com frequência regular, poderá haver problemas de baixa luminosidade, o que interferirá negativamente no crescimento e no desenvolvimento do algodoeiro e, possivelmente, na maturação dos frutos dos primeiros ramos, especialmente aqueles das primeiras posições. Nessas regiões a semeadura deve ser iniciada na segunda quinzena de dezembro, optando-se por espaçamento entre fileiras de, no mínimo, 0,90 cm e por menor densidade de plantas, seguindo-se um rigoroso programa de controle do crescimento com fitorreguladores.

No sistema de produção em que o algodoeiro é cultivado imediatamente após a colheita da soja, deve–se dar atenção ao ciclo da cultivar da soja, dando preferência àquelas com menor duração do ciclo (cultivares precoces).

No início do período de semeadura, deve-se utilizar preferencialmente cultivares de ciclo longo. Cultivares de ciclo curto devem ser reservadas para o encerramento do período de semeadura. No sistema de cultivo do algodão em segunda safra, recomenda-se iniciar a semeadura com cultivares de ciclo médio, desde que a semeadura ocorra mais próxima do início de janeiro.

Quando o algodoeiro é semeado no início do mês de fevereiro, os frutos do terço inferior das plantas – primeiros ramos – encontram condições climáticas mais adequadas, desde que as chuvas ocorram de forma suficiente até o final de abril e o solo, bem manejado, tenha boa capacidade de armazenamento de água. No entanto, os frutos do terço médio e do terço superior, muito provavelmente, não encontrarão condições favoráveis ao crescimento, especialmente devido ao déficit hídrico e às temperaturas mais baixas entre o final do outono e o início do inverno, o que poderá interferir negativamente na produtividade e na qualidade da fibra.

Com base no exposto, para a semeadura do algodoeiro, deve-se levar em consideração os seguintes pontos:

1. Respeitar o vazio sanitário, período em que não deve haver algodoeiro no campo, o que é estabelecido anualmente por meio de portaria da Sedec/Indea;
2. Iniciar a semeadura com cultivares de ciclo mais longo (Grupo III) e finalizar, preferencialmente, com cultivares de ciclo mais curto (Grupo II).
3. Realizar a semeadura do algodão de segunda safra, preferencialmente, na primeira quinzena de janeiro, até, no máximo, **31 de janeiro.**

3. Arranjo de plantas

O arranjo de plantas refere-se à forma com que uma população de plantas é distribuída em determinada área. Ele depende da densidade (número de plantas por metro) e do espaçamento (distância entre duas fileiras consecutivas). Esses dois fatores determinam a área disponível para o crescimento de cada planta.

A produtividade de um determinado agroecossistema depende de interações complexas entre as plantas individuais, comunidades de plantas e o meio. A população de plantas de algodoeiro ideal é aquela que proporciona maior produção por unidade de área, com garantia na qualidade da fibra. Além disso, o arranjo adequado de plantas corrobora o manejo integrado de plantas daninhas, pragas e doenças, e contribui para a melhor eficiência e qualidade da colheita mecanizada.

O crescimento e a produção das plantas são funções da assimilação de carbono via processo fotossintético. Assim, logicamente, o crescimento será determinado principalmente pela capacidade de fixação de CO_2, e por todos os outros fatores do meio que interferem na fisiologia da planta. A competição entre plantas se estabelece quando a intensidade de recrutamento de recursos do meio pelos competidores suplanta a capacidade do ambiente em fornecer aqueles recursos ou quando um dos competidores impede o acesso ao recurso por parte do outro competidor. Nesta última situação, inclui-se o efeito do sombreamento, que impede que a luz alcance as superfícies fotossintetizantes. Tanto os espaçamentos entre fileiras como a densidade de plantas interferem no microclima, principalmente na transmissão de luz no dossel, além do consumo de água e da penetração de inseticidas e fungicidas, influenciando na eficiência dos manejos fitossanitários.

Na cotonicultura, a adequada população de plantas é altamente relevante, considerando tanto o aspecto quantitativo quanto o qualitativo do produto a ser colhido. Contudo, a população de plantas adequada é função do ambiente, da cultivar, do sistema de produção, dentre outros aspectos.

3.1. Espaçamento e densidade

A produtividade do algodoeiro, dentre outros fatores, depende da população de plantas por unidade de área. Dentro de uma mesma área, quanto maior a população de plantas, maior será a competição entre indivíduos por água, luz e nutrientes. Assim, a população de plantas deve ser definida de modo que a competição pelos recursos do meio seja minimizada. Em qualquer situação, vai existir uma faixa populacional mais adequada, e não apenas "uma população" exata, em que a produtividade do algodão é máxima e não é alterada, caso outros fatores de produção não sejam limitantes. Essa faixa, por sua vez, depende do espaçamento entre fileiras e da densidade de plantas.

A arquitetura das plantas, a posição dos frutos nos ramos e o número de frutos por planta são influenciados pelo espaçamento entre fileiras e pela densidade de plantas. Em condições de alta população, há redução no número de frutos por planta; entretanto, o número de frutos por área praticamente não é alterado, o que leva ao equilíbrio da produtividade. Essa compensação dos componentes de produção do algodão ocorre até certo número de plantas por área, pois populações muito elevadas, dependendo da cultivar e da condição do ambiente, podem, sim, reduzir a produtividade, além de aumentar o gasto com sementes. Esse é um dos componentes do custo de produção que aumentou consideravelmente nos últimos anos, principalmente quando se tratam das geneticamente modificadas para resistência a herbicidas e lagartas.

Sempre que houve redução do espaçamento entre fileiras, reduziu-se a altura das plantas, o número de nós da haste principal, a biomassa foliar e vegetativa e o número de capulhos por planta. As atividades fisiológicas do algodoeiro, em especial a fotossíntese, são altamente influenciadas pelo arranjo de plantas, sendo menores em condições de população elevada e após o fechamento das entrelinhas, devido à limitação de penetração de luz ao longo do dossel vegetal. Sob essas condições, a perda de produção individual é superior ao ganho, o que se deve ao aumento do número de plantas por área e ao aumento da competição entre elas.

Assim, a manipulação do arranjo espacial das plantas, por meio de variações no espaçamento entre fileiras e na densidade de plantas, constitui uma estratégia para maximizar a produtividade física e a qualidade da fibra.

Os frutos localizados nas primeiras posições dos primeiros ramos frutíferos apresentam maior peso e produzem fibras de melhor qualidade sob o ponto de vista tecnológico. Com um arranjo de plantas adequado, é possível aumentar a retenção desses frutos nas primeiras posições.

3.2. Espaçamento entre fileiras

O espaçamento adequado é aquele em que há melhor aproveitamento do solo e da radiação solar, isto é, as distâncias entre fileiras e entre plantas que proporcionam, na mesma área, maiores produtividades. Em trabalhos comparando 7, 9, 11, 13 e 15 plantas/m^2, independentemente do espaçamento entre fileiras, a melhor população estimada, considerando-se a produtividade de fibra, foi de 11,5 plantas/m^2.

No Brasil, os espaçamentos entre fileiras mais utilizados são os de 0,76 m e 0,90 m. Os efeitos do espaçamento sobre a produtividade de fibra vão depender da cultivar, da fertilidade do solo, da época de semeadura, da temperatura, da disponibilidade de água e do manejo de regulador de crescimento. Trabalho desenvolvido em Mato Grosso do Sul com oito cultivares demonstrou a maior produtividade no espaçamento de 0,45 m em relação ao de 0,90 m, exceto para cultivares de porte alto. Em outros trabalhos, desenvolvidos durante três anos, em três locais, avaliando-se quatro espaçamentos entre fileiras (0,30 m, 0,60 m, 0,90 m e 1,20 m), quatro densidades (4, 8, 12 e 16 plantas/m) e quatro cultivares, concluiu-se que o efeito do espaçamento entre fileiras varia significativamente com a cultivar. Considerando-se apenas o aspecto quantitativo, verifica-se aumento da produtividade de fibra com a redução do espaçamento entre fileiras. Entretanto, esses resultados variam grandemente em função, principalmente, da cultivar e da densidade, tornando o gerenciamento do crescimento por meio de fitorreguladores muito mais rígido, visando equilibrar o crescimento do algodoeiro, especialmente nas cultivares de porte alto.

Nesse sentido, cultivares de porte alto, quando cultivadas em ambientes que favorecem o crescimento vegetativo e não são manejadas adequadamente, terão a quantidade de luz no terço inferior significativamente reduzida, o que interferirá negativamente na retenção de frutos.

Do ponto de vista prático, a definição do espaçamento a ser utilizado depende muito mais das máquinas e equipamentos disponíveis na propriedade para a realização das operações mecânicas, inclusive e principalmente a colheita. Nos últimos anos, face ao considerável aumento da área de produção de algodão em Mato Grosso, sem correspondente aumento no número de colheitadeiras, houve predomínio do espaçamento de 90 cm entre fileiras, inclusive no cultivo de algodão de segunda safra com semeadura tardia, em que dificilmente há o fechamento das entrelinhas pelas plantas de algodão.

De modo geral, existe uma ampla variação nos espaçamentos entre fileiras usados na cotonicultura mundial, como o *ultra narrow row* (UNR) ou ultraestreito – espaçamento de 0,19 m a 0,38 m; o *narrow row* (NR) ou adensado - espaçamento de 0,38 m a 0,45 m; e o convencional – espaçamento superior a 0,76 m. Entretanto, considerando-se a realidade da cotonicultura empresarial brasileira e as condições do Cerrado mato-grossense, os espaçamentos entre fileiras mais indicados são aqueles entre 0,76 m e 0,90 m. Em regiões com altos índices de precipitação pluvial, como ocorre na região Oeste de Mato Grosso, recomenda-se espaçamento de no mínimo 0,90 m entre fileiras e densidade de plantas de até 9 plantas/m, o que equivale à população máxima aproximada de 100.000 plantas/ha. Se a cultivar for de porte alto para o cultivo em safra, a população máxima pode ser de 90.000 plantas/ha. Os atuais obtentores das cultivares, na sua maioria, recomendam espaçamento entre fileiras variando de 0,76 m a 0,90 m.

3.3. Densidade

A densidade refere-se ao número de plantas por metro de fileira. Cabe destacar que, mais importante que o número de plantas por metro, é a distribuição homogênea das plantas, ou seja, a regularidade entre plantas dentro da linha de semeadura. O algodoeiro é uma espécie com relativa capacidade de ajustar-se a eventuais falhas, dependendo da sua magnitude, o que se deve à sua elevada plasticidade morfológica. A densidade de semeadura ideal é aquela que alia a máxima utilização dos recursos ambientais à mínima competição entre as plantas por tais recursos. Por isso, a distribuição uniforme de plantas na área é tão importante. A má distribuição das plantas pode gerar o domínio de umas sobre as outras, por conta do efeito de competição entre elas. A generalização de falhas, resultantes da baixa qualidade das sementes, de problemas na semeadura mecanizada ou de problemas edafoclimáticos ou fitossanitários, pode atrasar ou dificultar o total preenchimento da área, favorecer o desenvolvimento de plantas daninhas e reduzir a produtividade da cultura.

Em diversos estudos realizados sobre o desenvolvimento de plantas, foi observado que a altura final do algodoeiro diminuiu com o aumento da população de plantas por área. Na maioria dos trabalhos, com o aumento da população de plantas, verifica-se redução na altura final e aumento da altura de inserção do primeiro ramo frutífero.

Em outros estudos agronômicos, verificou-se que o aumento da população aumentou o índice de área foliar (IAF) do algodoeiro, diminuindo o diâmetro do caule por conta do estiolamento das plantas. O aumento da densidade de plantas e, por consequência, da população de plantas quando não se altera o espaçamento entre as fileiras, torna os algodoeiros mais suscetíveis ao excesso de chuvas e à baixa luminosidade; ou seja, longos períodos de chuva tendem a reduzir a intensidade luminosa, o que favorece o abortamento de estruturas reprodutivas, sobretudo as do baixeiro. Tais condições costumam ser observadas principalmente em lavouras cultivadas em primeira safra, mas também podem acontecer no cultivo de segunda safra (Figura 9), como visto em abril de 2024 em regiões de Mato Grosso. Independentemente do espaçamento e da densidade, o número de ramos vegetativos não se altera com o aumento da população de plantas por área, enquanto que o número de ramos frutíferos e o número de internódios diminuem.

Agronomicamente, a densidade de algodoeiros afeta diversos fatores que podem interferir na produtividade. O número de capulhos por planta é inversamente proporcional à densidade de plantas; ou seja, quanto maior a densidade de plantas, menor é o número de capulhos por planta e vice-versa. Além disso, outro componente de produção do algodoeiro que também oscila em função da densidade de plantas é a massa de um capulho, embora em menor intensidade do que o número de capulhos por planta.

Em alguns trabalhos, observou-se que o rendimento de pluma, a massa de um capulho e o número de estruturas por metro não sofreram influência quando a densidade variou entre três e doze plantas por metro; somente uma variedade de porte baixo e ciclo mais precoce respondeu positivamente ao aumento de densidade para produtividade de fibra. Em outros estudos, verificou-se que as produtividades do algodoeiro não foram diferentes entre os espaçamentos de 0,45 m e 0,90 m e com as densidades de 6 e 10 plantas m^{-1}.

A densidade adequada de plantas é função também da cultivar. Na Figura 10, demonstra-se que, fixando-se o espaçamento entre fileiras e variando a densidade, a produtividade de fibra variou entre as cultivares e densidades, com tendência de queda da produtividade

com o aumento da densidade. Portanto, como a semente tem um peso relativamente alto no custo de produção do algodão (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2019), representando 12% do custo variável, devem ser tomados alguns cuidados com a quantidade de sementes a ser utilizada, evitando-se principalmente populações demasiadamente altas, ou seja, mais de 110.000 plantas ha^{-1}, considerando-se o espaçamento entre fileiras de 0,90 m.

Geralmente, as características intrínsecas da fibra são pouco influenciadas pela densidade, enquanto a porcentagem de fibra tende a ser menor nas maiores densidades. Condições de altas populações quase sempre resultam em baixos valores para o índice micronaire.

Figura 9. Baixo pegamento de frutos no baixeiro do algodoeiro cultivado em segunda safra, sob condições de alta densidade de plantas e elevadas frequência e intensidade de chuvas durante a fase reprodutiva (Fonte: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira)

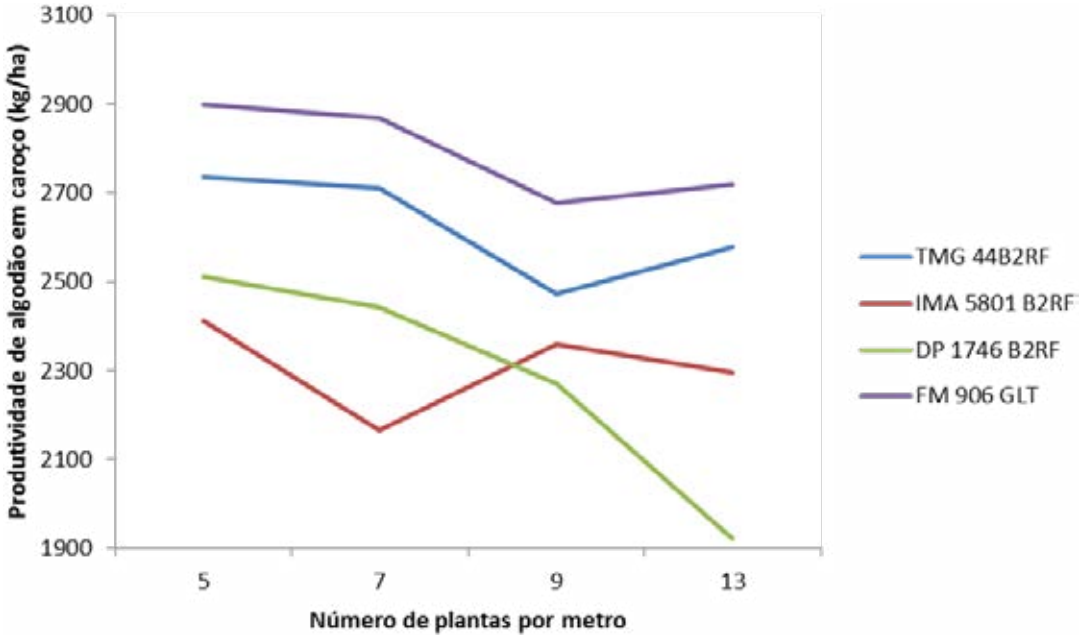


Figura 10. Efeito da densidade de plantas sobre a produtividade de fibra em diferentes cultivares de algodoeiro (Fonte: IGA, 2018)

No conjunto de informações para cultivares disponíveis, recomenda-se o espaçamento entre fileiras de 0,76 m a 0,90 m, com densidade de 6-8 plantas por m^{-1}. Para plantas de porte mais alto, a densidade não deve ser superior a 8 plantas por m^{-1}.

4. Profundidade de semeadura

A germinação das sementes do algodoeiro é do tipo hipógea, ou seja, os cotilédones vêm à superfície quando da emergência. Assim, deve-se ter cuidado em relação à profundidade de semeadura, que não deve ser superior a 5 cm. A profundidade de semeadura varia também em função da capacidade de absorção de água do solo. Para solos arenosos e com baixa capacidade de retenção de água, a profundidade de semeadura deve ser superior à de solos argilosos. Já com adequada disponibilidade de água, temperatura dentro dos limites exigidos, profundidade de semeadura não superior a 5 cm e não havendo formação de crostas na superfície do solo, as sementes do algodoeiro germinam entre 4 e 6 dias após a semeadura.

Para que ocorra germinação e emergência, dois fatores são fundamentais: temperatura e umidade. A temperatura ideal para a germinação varia entre 25 e 30ºC. Quanto à umidade, para início do processo de germinação, as sementes absorvem entre 10% e 20% de seu peso de água; e o completo processo de germinação se dá com a emergência da radícula, momento em que as sementes absorvem de 2 a 3 vezes do seu peso em água.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: fernando.lamas@embrapa.br

Boletim técnico de Resultados. Instituto Goiano de Agricultura, Montividiu-GO, ano 1, n.1, nov. 2018.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CONDUÇÃO DA LAVOURA

Como atender as exigências da planta e protegê-la dos bioagressores

Uma vez a lavoura implantada, todas as operações de manejo do cultivo visam a fornecer à planta condições ideais para ela produzir uma fibra de qualidade. Fertilização, regulação da altura da planta, proteção do algodoeiro das agressões externas como plantas daninhas, doenças, pragas e nematoides fazem parte das ferramentas que os técnicos das fazendas precisam dominar. Todas envolvem conhecimento profundo da planta dentro do sistema e da biologia dos diversos bioagressores e vão mobilizar muitos insumos e equipamentos nas fazendas, a fim de poder usar deles no momento oportuno. As tecnologias de aplicação dos agroquímicos são às vezes tão importantes quanto a escolha dos ingredientes ativos usados. Depois da colheita, a destruição de soqueira é uma operação de suma importância para reduzir a pressão de pragas no novo ciclo de cultivo, operação cada vez mais complicada por conta do uso das biotecnologias de resistência aos herbicidas, como o glifosato.

Leandro Zancanaro
Origens Parcerias Agrícolas Ltda

Evandro A. Minato
Origens Parcerias Agrícolas Ltda

Claudinei Kappes
NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica

CAPÍTULO 5.1

Correção do solo e adubação da cultura

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 por Zancanaro & Kappes. Atualizado na edição de 2014/15 pelos mesmos autores e, nesta edição de 2025, atualizado por Zancanaro, Minato e Kappes.

Introdução

O algodoeiro herbáceo possui alto potencial produtivo. Entretanto, para que esse potencial seja atingido, são indispensáveis condições adequadas de solo. Normalmente, a parte química do solo é a mais valorizada por quem está no campo. Isso porque, em geral, os primeiros solos explorados pela agricultura eram ácidos e pobres em nutrientes, fazendo com que os resultados das correções químicas fossem facilmente visualizados no campo. Porém, para alcançar altas produtividades de forma sustentável, não basta focar apenas nos aspectos químicos. É indispensável que o solo também tenha boas condições físicas e biológicas. Essas, por sua vez, demoram mais tempo para mostrar resultados e nem sempre estão ligadas diretamente à aplicação de insumos. Como exemplo, ao iniciar o estudo da viabilidade da implantação de uma lavoura de algodão em uma área, as primeiras condições de solo a considerar são ter solos profundos e bem drenados.

A cultura do algodão possui um sistema radicular pouco denso, sendo sensível à compactação, à baixa oxigenação e à acidez do solo. Além disso, a lavoura de algodão exige altos investimentos em fertilizantes, uma vez que a cultura apresenta menor eficiência no aproveitamento dos nutrientes devido ao seu sistema radicular pouco robusto. Entretanto, é importante destacar que o algodoeiro não é considerado uma cultura esgotante do solo, já que a quantidade de nutrientes exportada pela fibra e pelas sementes é relativamente baixa quando comparada a outras culturas comerciais de larga escala. Dessa forma, o cultivo do algodoeiro costuma deixar um resíduo positivo na fertilidade química do solo, beneficiando os cultivos seguintes. É comum observar aumentos de produtividade em lavouras de soja e milho cultivadas após o algodão, mesmo sem aumento nas doses de fertilizantes aplicadas nessas culturas.

Ao realizar o planejamento da adubação das culturas, é muito comum a utilização dos resultados referentes às quantidades de nutrientes absorvidos e exportados pelas culturas. Há variações entre as fontes bibliográficas disponíveis. Nestes levantamentos, é comum encontrar as referências citando as quantidades absorvidas e exportadas de nutrientes proporcionais a 1.000 kg de produção do produto comercializado. É uma maneira prática e útil no dia a dia. Porém, há também trabalhos demonstrando que o aumento da quantidade de nutrientes absorvidos e exportados não é proporcional ao aumento na produção (Tabela 1).

Na definição das estratégias de adubação e nutrição de uma lavoura comercial, a biologia, a química e a fisiologia vegetal têm, muitas vezes, maior influência do que cálculos puramente matemáticos. Em solos corrigidos e com adequados teores de nutrientes, a produtividade final obtida depende de múltiplos fatores, e a correlação entre a quantidade de nutrientes absorvidos e exportados sofre

diversas interferências. Um exemplo disso ocorre em lavouras de algodão com maior crescimento vegetativo, ou seja, com maior produção de massa verde. Por diversos motivos, essas plantas podem acumular mais nutrientes ao longo do ciclo, mas isso não é garantia de maior produtividade. Isso se deve ao fato de que fatores como abortamento de estruturas reprodutivas, apodrecimento, doenças e ataque de pragas podem comprometer a produtividade, muitas vezes como consequência de alta umidade e baixa incidência de luz no interior do dossel da planta. A cultura do algodão apresenta maior retenção de estruturas reprodutivas quando as condições são favoráveis: boa luminosidade no interior do dossel, disponibilidade adequada de água e temperaturas dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da planta.

Outra questão importante é ressaltar que o potencial produtivo teórico do algodão é muito alto; porém, o que se colhe é muito menor. Durante a condução de uma lavoura de algodão para a obtenção de altas produtividades, associa-se, na maioria das vezes, à correção do solo, à adubação e à nutrição da cultura. Para obter altas produtividades é fundamental ter solos corrigidos, adubação e nutrição adequadas, mas a resposta produtiva a estas práticas não é linear. Na prática, as altas produtividades de algodão em lavouras com solos corrigidos, cultura bem adubada e nutrida têm correlação elevada com a redução das perdas de estruturas reprodutivas, e não apenas com a quantidade de insumos aplicada.

A lei dos incrementos decrescentes quanto à correção do solo, adubação e nutrição é fundamental para fazer o planejamento de investimentos, custeio, receitas e margem financeira em uma lavoura, inclusive de algodão. Hoje, há muitas linhas de pensamento quanto às estratégias de correção do solo e nutrição focadas na cultura do algodão. Porém, os fundamentos da correção do solo, adubação e nutrição vegetal continuam sendo muito atuais, mesmo para o algodoeiro.

Tabela 1. Quantidades de nutrientes absorvidas e exportadas em relação à produtividade, na Austrália (Fonte: adaptado de Rochester, 2007, citado por Rosolem & Bogiani, 2014)

Nutriente	Produção de pluma (kg/ha)								
	1.000	1.800	2.400	1.000		1.800		2.400	
	Absorção			Exportação					
	kg/ha			kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Nitrogênio	63	175	290	42	66	91	52	133	46
Fósforo	13	27	41	10	82	19	69	25	60
Potássio	77	167	250	16	21	28	17	38	15
Enxofre	10	39	62	4	42	8	21	11	18
Cálcio	71	94	155	2	3	3	3	3	2
Magnésio	16	36	63	7	45	12	34	16	25
Ferro	0,23	0,82	1,62	0,09	40	0,33	17	0,18	11
Manganês	0,15	0,35	0,65	0,01	5	0,01	3	0,01	2
Boro	0,08	0,32	0,56	0,02	22	0,07	13	0,06	11
Cobre	0,03	0,05	0,08	0,01	51	0,02	38	0,25	31
Zinco	0,06	0,12	0,20	0,06	99	0,09	73	0,12	61

Cuidados na interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes

Todo profissional técnico deve estar ciente de que, ao utilizar as tabelas de interpretações dos resultados das análises de solo e as tabelas de recomendações, é necessário compreender que:

– Os resultados contidos em um laudo de

análise de solo dos laboratórios são apresentados na forma numérica, que somente adquirem significado quando devidamente interpretados, considerando as metodologias utilizadas e as calibrações dos resultados obtidos para cada metodologia analítica utilizada. Os valores numéricos, interpretados isoladamente, não representam nada.

– Os resultados presentes em uma análise de solo representam a média de todos os pontos coletados, ou seja, não significam que todo o campo esteja nas condições referentes à interpretação dos resultados das análises.
– É fundamental que o usuário das análises de solo considere a metodologia de análise utilizada pelo laboratório. É igualmente essencial que o laboratório execute e comunique, na íntegra, as metodologias de análise empregadas. Essa comunicação deve constar nos laudos emitidos pelos laboratórios, os quais não devem alterar a metodologia.
– Para cada metodologia oficial, foram realizados trabalhos de pesquisa aprofundados, envolvendo estudos de seleção de métodos, correlação entre o extraído pelo método e o absorvido pelas culturas, além da calibração dos resultados por meio de trabalhos complexos a campo, envolvendo muitos locais ao longo de vários anos.
– Sem a calibração dos resultados das metodologias previamente selecionadas e correlacionadas, os resultados dos laudos das análises de solo não representam valor algum. Logo, se houver alterações ou as chamadas "adaptações", por qualquer motivo, a interpretação dos resultados.
– Os resultados das análises de solo não podem ser convertidos em quantidades de nutrientes disponíveis no solo por meio de procedimentos matemáticos.
– As tabelas de interpretações e recomendações de adubação oficiais refletem o resumo de vários trabalhos de pesquisa e representam o melhor ajuste desses resultados a campo, e devem ser utilizadas como referência, podendo haver variações em torno dos valores apresentados nas tabelas ou regressões.
– Nos estudos de calibração dos teores no solo, são estabelecidos os níveis de potencial produtivo relativo da(s) cultura(s), nas condições em que o solo se encontra. Através desses níveis e da correta interpretação dos resultados das análises de solo, é possível estimar a probabilidade de resposta às práticas de correção do solo, adubação e nutrição das culturas. É fundamental que o usuário da análise de solo compreenda o significado, em cada recomendação oficial, dos níveis "muito baixo", "baixo", "médio", "adequado", "alto", "muito alto", que variam conforme a recomendação oficial utilizada. Sem considerar isto, não é possível fazer uma correta interpretação dos resultados das análises de solo.
– O fato de que a correta interpretação considera os níveis dos nutrientes no solo e não teores absolutos, associado à sensibilidade de extração/determinação de cada parâmetro pelas metodologias devidamente estudadas, impede que os laboratórios usem, de forma deliberada e sem critérios, casas decimais à revelia. Isso induz à interpretação equivocada dos resultados das análises de solo, que não

deve ser matemática, mas sim muito mais qualitativa.

– É comum que usuários sem a devida formação na área de solos critiquem as tabelas de interpretação e recomendação oficiais por apresentarem intervalos "muito largos" entre o teor inferior e superior de cada nível de interpretação, principalmente quando o solo se encontra em níveis médios, adequados ou altos. Essas pessoas desconhecem a ciência do solo, a começar por uma lei muito básica neste tema, a lei dos incrementos decrescentes. A resposta das plantas quanto em termos de produtividade não é linear em relação aos resultados das análises de solo.
– É fundamental que o usuário das análises de solo associe todos os resultados com o que o campo demonstra quanto ao desenvolvimento e rendimento das culturas. O campo é "soberano". As análises de solo são feitas para estimar a condição química do solo em que as plantas da(s) safra(s) seguinte(s) encontrarão. No entanto, as safras anteriores já integraram plenamente essas condições. Como mencionado anteriormente, todos os valores das análises de solo (quando as amostras são devidamente coletadas e analisadas) são relativos, sendo obrigatório considerar estes como referências. Estar ciente disso é fundamental, pois o sistema de produção adotado ao longo dos anos afeta diretamente a dinâmica da acidez e dos nutrientes no solo, o que, por sua vez, afeta a disponibilidade de nutrientes às plantas. Sistemas mais eficientes respondem menos aos teores absolutos do solo e permitem maior produtividade com os mesmos níveis no solo e a mesma adubação, ou até possibilitam maior produção em níveis inferiores aos das tabelas oficiais. É necessário ter uma visão sistêmica da produção vegetal.
– Os bons sistemas de produção melhoram a eficiência de uso dos nutrientes com o tempo de condução, inviabilizando a existência de uma calibração para cada situação.
– Em solos com condições químicas que atendam às demandas das plantas, Nicolodi *et al.* (2008) escreveram: "em sistema de plantio direto bem conduzido, o sistema de produção e o tempo de condução deste sistema têm maior impacto que os valores numéricos das análises de solo isoladas".

1. Correção da acidez do solo

Por que corrigir a acidez do solo?

A condição de acidez do solo afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes, mas também suas condições biológicas e físicas. Contudo, neste capítulo será enfatizada a condição química do solo (Figura 1). A acidez do solo impacta a produtividade das culturas, por influenciar a disponibilidade de nutrientes e afetar diretamente o volume de solo efetivamente explorado pelas raízes das plantas. Quanto maior o volume de solo explorado pelas raízes, maior será o acesso das plantas à água e aos nutrientes.

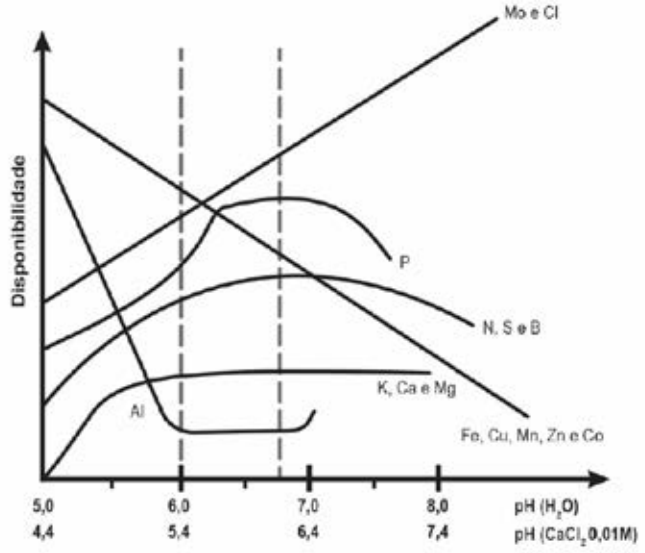


Figura 1. Relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes e do alumínio no solo (Fonte: Adaptado de Malavolta, 1980)

Os solos, no mundo inteiro, variam quanto à condição de acidez devido aos diferentes materiais de origem e processos de formação ao longo de milhares de anos. Em várias regiões, há solos com acidez elevada que limitam o desenvolvimento das culturas, o que justifica a necessidade de realização da calagem.

A calagem, portanto, pode ser definida como a prática de correção da acidez do solo, com o objetivo de proporcionar melhores condições às culturas para expressarem o seu potencial produtivo, aumentar a eficiência de uso da água e dos nutrientes presentes no solo ou dos fertilizantes aplicados, além de aumentar a produção de biomassa vegetal, principalmente de raízes. Com isso, ao longo do tempo, a calagem permite também melhorias nas condições biológicas e físicas do solo.

Entre as culturas cultivadas comercialmente em grande escala no Mato Grosso, o algodão é o mais sensível à acidez do solo, seguido pelo milho e pela soja. Dentro do sistema de produção, deve-se considerar, no planejamento agrícola, a cultura mais sensível e, consequentemente, mais responsiva à correção do solo. No entanto, assim como foi relatado no item Cuidados necessários ao interpretar os resultados das análises de solo, a resposta à calagem também obedece à lei dos incrementos decrescentes. Solos ácidos limitam o desenvolvimento das culturas, mas o excesso de correção da acidez também pode resultar em limitações. O algodoeiro é uma planta que menos demonstra, visualmente, os danos causados pelo excesso de correção da acidez, embora isso possa resultar na necessidade de complementações foliares. Esse fato, associado ao elevado potencial produtivo do algodoeiro, ao custo elevado da cultura e à maior receita por unidade de área (quando se atingem boas produtividades), faz com que sejam feitos investimentos além da resposta real da cultura.

A realização da calagem em solos ácidos tem como objetivo corrigir sua acidez, por meio do uso de corretivos como o calcário agrícola (o mais comum), que contém em sua composição carbonato de cálcio e de magnésio em proporções variadas, conforme a rocha utilizada. Existem outros corretivos de acidez que também podem ser utilizados. A caracterização dos corretivos de acidez do solo é fundamental para a adequada elaboração das estratégias de correção da acidez do solo. Cada corretivo tem suas particularidades. Para maior detalhamento, é necessário recorrer à literatura especializada sobre o tema.

Na Figura 1, observa-se que quanto mais ácido é o solo, maior é a concentração de alumínio trocável, que, em níveis elevados, é limitante ao crescimento das raízes e, por consequência, limita consideravelmente a produção vegetal das culturas. Ao realizar a calagem, a acidez do solo é reduzida – representada pela elevação do pH –, diminuindo a concentração do alumínio trocável.

Os solos ácidos do Cerrado brasileiro apresentam baixos teores de cálcio e magnésio, sendo a calagem, como já comentado, uma prática que permite aumentar os teores destes nutrientes (Figura 1). Entre muitas funções do cálcio na planta, destacam-se sua influência direta no crescimento de raízes e meristemas, além da regulação da permeabilidade das membranas das células. Já o magnésio, entre várias funções, é o componente central da clorofila, e sua deficiência limita a fotossíntese e o desenvolvimento da planta.

Solos ácidos afetam a disponibilidade de fósforo, potássio, nitrogênio, enxofre e molibdênio. O boro também tem a sua dinâmica afetada pela acidez do solo e pela calagem. Já a disponibilidade de zinco, cobre, manganês e ferro aumenta quanto maior a acidez do solo. Assim, a correção excessiva da

acidez pode induzir, em solos pobres nestes nutrientes, à redução da disponibilidade, chegando até a deficiência. Entre estes três últimos micronutrientes, o manganês é o que apresenta deficiência mais frequentemente observada a campo.

Neste momento, é importante destacar que, em solos ácidos com níveis muito altos de manganês, assim como ocorre com o alumínio, pode haver toxidez desses nutrientes às plantas. Esta condição é encontrada em parte dos solos do Sul do Brasil, de origem basáltica. Para alguns autores, esse é um dos motivos que justificam a correção da acidez em níveis mais elevados nessa região. Porém, em Mato Grosso, também existem manchas de solo que são semelhantes ao que é encontrado no Sul do Brasil, apresentando altos níveis de zinco e cobre. Solos distintos exigem e permitem estratégias diferenciadas.

Reações das partículas do calcário agrícola no solo

Os corretivos de acidez do solo mais utilizados no campo são compostos por carbonato de cálcio e magnésio, denominados calcários agrícolas. A correta caracterização é fundamental para compreender as reações de dissolução das partículas que compõem este corretivo, especialmente devido à sua baixa solubilidade em água. A reação das partículas de calcário no solo — e, consequentemente, a correção da acidez — depende dos seguintes fatores:

i. Umidade do solo: sem umidade do solo não ocorre reação de dissolução das partículas de calcário, nem as reações de neutralização da acidez livre do solo;
ii. Acidez do solo: quanto mais ácido o solo, maior é a reatividade das partículas de calcário. Assim, é possível afirmar que a reação das partículas de calcário a campo não ocorre de forma linear. À medida que o pH aumenta, a reatividade das partículas do calcário diminui, principalmente se não houver renovação do contato entre as partículas de calcário e o solo. Sem acidez, a dissolução das partículas de calcário é reduzida;
iii. Área superficial específica das partículas: quanto mais finas forem as partículas de calcário, maior será sua reatividade. Contudo, também maior será a intensidade de correção da acidez do solo logo após a aplicação;
iv. Influência da incorporação do calcário no solo: em consequência do item anterior, o calcário agrícola apresenta maior dissolução quando misturado e incorporado adequadamente ao solo ácido. Quanto maior o contato com o solo, maior é a reatividade das partículas de calcário. Quanto mais frequente for o revolvimento desse solo após a aplicação, maior será a reação do calcário e maior será a proporção de solo com correção efetiva da acidez. Ou seja, o calcário aplicado em superfície no sistema de plantio direto apresenta menor reatividade, fato que é potencializado quando, ao longo dos anos, são realizadas sucessivas aplicações de calcário em superfície.
v. Textura do solo: solos argilosos apresentam maior intensidade de dissolução das partículas de calcário em comparação aos solos arenosos. Para maiores detalhes, recomenda-se consultar literatura específica.

Todos esses fatores permitem uma melhor compreensão do que ocorre quanto à correção efetiva da acidez do solo em lavouras comerciais. É necessário utilizar a ciência, comprovada por metodologias científicas em estudos específicos, para o correto entendimento do que acontece no campo. A teoria da reação das partículas de calcário no solo está muito bem estabelecida. Porém, no campo, muitas vezes, as condições diferem daquelas utilizadas nos experimentos de pesquisa. Ou seja, a discussão sobre a correção da acidez do solo não pode ser reduzida apenas ao debate sobre as doses aplicadas.

Efeito do calcário em profundidade

O calcário aplicado ao solo apresenta efeito lento em profundidade. Esse efeito é mais demorado quanto menor for a reação das partículas do calcário e menor a dose aplicada. Mesmo em doses elevadas, para que ocorram melhorias significativas em profundidades abaixo de 10 cm da camada onde o calcário foi efetivamente aplicado, podem ser necessários vários anos. A definição deste tempo de forma pontual deve ser evitada, pois há muitos fatores envolvidos. Desta forma, a conclusão é: se, dentro de cada

sistema de produção, campo ou zona de manejo, a condição de acidez estiver limitando de forma acentuada a produtividade, a aplicação em superfície não é a melhor opção. Nesse contexto, caso se opte pela incorporação do corretivo, é fundamental definir como essa incorporação será realizada de forma eficaz na profundidade desejada. A simples discussão sobre as dimensões ou especificações dos equipamentos utilizados não é suficiente para garantir uma distribuição homogênea do corretivo no perfil do solo. É importante compreender que a profundidade de corte dos equipamentos de preparo não garante, por si só, que o corretivo tenha sido homogeneizado até esse nível. A eficiência da incorporação depende de diversos fatores, como tipo de solo, umidade, velocidade de operação, tipo de implemento e manejo anterior da área.

A que níveis devo corrigir a acidez do solo?

Em lavouras comerciais, com solos inicialmente ácidos e pobres em nutrientes, é necessário fazer a correção destas limitações. Para isso, são feitos os investimentos em correção do solo e adubações ao longo de vários anos de cultivo, de forma repetida. A correção da acidez e a adição do fósforo no solo apresentam efeito residual elevado no solo. Mas, afinal, em solos ácidos, até que nível a acidez deve ser corrigida?

No início da exploração agrícola dos solos do Cerrado, o sistema de cultivo predominante era o denominado "convencional", caracterizado pelo revolvimento anual do solo. Com o passar dos anos e a intensificação dos cultivos, a adoção do sistema de plantio direto tornou-se uma realidade. O que isso tem a ver com a discussão sobre a correção da acidez do solo? Tecnicamente, quanto maior a diversificação de culturas em um sistema de produção, melhor. Após a correção química, o sistema de produção adotado ao longo do tempo passa a ser um dos fatores que mais interferem na produtividade das culturas. O sistema de produção pode ser entendido como a sequência de culturas cultivadas ao longo do tempo.

Pesquisas de campo de longa duração (ou seja, com mais de 10 anos) em solos com algum histórico de correção mostram que a qualidade dos sistemas de produção adotados proporciona maior tolerância à acidez, permitindo, mesmo nestas condições, a obtenção de altas produtividades. Há lavouras comerciais em Mato Grosso que comprovam esse fato. Porém, em uma atividade econômica de risco como é a agricultura, não há razão para trabalhar nos limites inferiores da correção do solo. Assim, é consenso que a calagem deve atender à cultura mais exigente em relação à correção da acidez dentro do sistema de produção.

Considerando o algodão como a cultura principal para o cotonicultor – e sendo ela uma cultura bastante responsiva à correção da acidez –, adota-se comumente a profundidade de 0 a 20 cm como referência para o diagnóstico e manejo dessa acidez. Estudos de calibração realizados por instituições de pesquisa confiáveis, conduzidos no passado em solos do bioma Cerrado, servem de base para essa recomendação. Esses trabalhos indicam que, para essa condição, um valor de 60% de saturação por bases na camada de 0 a 20 cm é uma referência técnica adequada para se atingir produtividades satisfatórias na cultura do algodão.

Há relatos de resposta quanto à produtividade do algodão em lavouras comerciais atribuídas à elevação a níveis superiores ao citado anteriormente. Os argumentos mais utilizados são relacionados às novas cultivares de algodão (mais exigentes nutricionalmente) e à busca por altas produtividades. Esses argumentos são frequen-

temente reforçados pelo alto valor econômico da cultura, o que viabiliza investimentos mais elevados em correção do solo, mesmo assumindo o risco de possíveis excessos, que, se ocorrerem, podem ser amenizados por outras práticas de manejo. Assim, é fundamental considerar os conhecimentos científicos e associá-los ao que se observa no campo, para melhor compreender o que ocorre nas lavouras.

Neste momento, é importante ressaltar que, ao longo do tempo, o efeito do calcário em profundidade é maior quando os níveis de correção efetiva na camada de 0 a 20 cm de profundidade forem mais elevados. Ou seja, quanto melhor corrigida estiver a camada superficial do solo, maior será o potencial de movimentação dos produtos da reação do calcário para camadas mais profundas, contribuindo para melhorias no perfil do solo. Na agricultura, muitas vezes, o que se colhe hoje é resultado de todas as práticas de manejo adotadas ao longo de muitos anos.

Em solos ácidos, em condições que limitam o crescimento radicular em profundidade, a correção em camadas mais profundas que 0 a 20 cm é recomendada. Essa estratégia tem importância ainda maior em regiões com ocorrência de deficiência hídrica. No final do ciclo do algodão segunda safra após soja (sistema de produção predominante no cultivo do algodão em Mato Grosso), é certo que haverá déficit hídrico. O que não se sabe é a sua intensidade.

Quanto maior for a profundidade do solo a ser corrigida em relação à acidez, é necessário ajustar a quantidade de corretivo proporcionalmente à profundidade e aos resultados obtidos nas análises dessas camadas mais profundas.

A seguir, apresenta-se o critério de recomendação de calagem mais utilizado no Brasil: o critério de saturação por bases.

$$NC\ (t/ha): (V2-V1) * CTC * PRNT\ (\%)/100$$

Onde: V2 = Saturação por bases desejada na profundidade de 0 a 20 cm;

V1 = Saturação por bases inicial na profundidade de 0 a 20 cm;

CTC = Capacidade de Troca de Cátions na profundidade de 0 a 20 cm;

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total (%) do corretivo.

Em solos de textura arenosa e/ou com CTC baixa, para muitos profissionais da área, o método de saturação por bases pode subestimar a necessidade de calcário. Nesses casos, pode-se utilizar o método de neutralização do alumínio trocável, associado ao aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis.

$$NC\ (t/ha): X - (Ca + Mg) + 2 * Al$$

Onde: X = níveis desejados de Ca + Mg no solo. Na literatura, é comum o índice de 2. Porém, há relatos frequentes da necessidade de utilizar níveis maiores, sobretudo para o algodão. Essa "metodologia" carece de calibrações, mesmo sendo muito antiga na literatura.

Por muitos motivos, inclusive já comentados anteriormente, o valor calculado a ser atingido nas recomendações citadas acima, por exemplo, dificilmente é obtido. Esse fato é conhecido há muito tempo, e os produtores já realizam esse ajuste da dose a ser aplicada há muitos anos. Todo esse cenário acaba fazendo com que as discussões no campo se concentrem mais nas doses a serem aplicadas do que nos critérios técnico-científicos que fundamentam as recomendações de calagem propriamente ditas.

Qual calcário utilizar?

Deve-se utilizar o calcário dolomítico quando o teor de magnésio no solo for inferior a 0,7 a 1,0 $cmol_c/dm^3$ dependendo da textura do solo, sendo 0,7 $cmol_c/dm^3$ para solos arenosos e 1,0 $cmol_c/dm^3$ para solos argilosos. É necessário considerar que a prática de calagem é realizada considerando com base no efeito residual ao longo do tempo. Portanto, quando for realizada, é fundamental levar em conta a necessidade da calagem por vários anos, inclusive considerando os teores de magnésio no solo para definir o tipo de calcário.

Há muitos anos, mas com maior intensidade nos tempos atuais, muitos profissionais comentam sobre as estratégias de correção do solo utilizando a relação entre nutrientes, em especial cálcio e magnésio no solo, ou a porcentagem de cálcio, magnésio e potássio na CTC do solo, para definir a quantidade de calcário e a escolha do tipo de calcário. No geral, não há comprovação científica quanto às correlações entre esses parâmetros e o desempenho das culturas. Essa falta de correlação também

está relacionada ao entendimento do que ocorre durante todo o processo de suprimento de nutrientes do solo até as raízes e à cinética de absorção desses nutrientes pelas raízes.

Recomendação de gessagem

A aplicação de gesso agrícola tem como objetivo aumentar os teores de cálcio e enxofre e diminuir a saturação por alumínio nas camadas de solo mais profundas, onde o calcário tem efeito limitado devido às limitações de incorporação e movimentação, proporcionando um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular em profundidade (Figura 2).

Para o diagnóstico e a recomendação de gessagem, é obrigatória a realização de amostragem de solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade.

A seguir, são apresentados alguns critérios para a recomendação da gessagem considerando a camada de solo de 20 a 40 cm de profundidade:

a. Segundo Sousa *et al.* (2005):
   - Teor de Ca < 0,5 $cmol_c / dm^{-3}$, e/ou;
   - Teor de Al > 0,5 $cmol_c / dm^{-3}$, e ou;
   - Saturação por alumínio na CTC efetiva (m%) > 20%.
   - Cálculo da dose de gesso: 5 kg/ha de gesso por gramas de argila por quilograma de solo, o que equivale a 50 kg/ha de gesso por ponto porcentual de argila do solo.
   - Necessidade de gesso (kg/ha) = 50 x teor de argila (%).
b. Segundo Caires & Guimarães (2018):
   - Elevar a saturação por Ca trocável a 60% na CTC efetiva do solo na camada de solo de 20 a 40 cm de profundidade quando for menor que 54%;

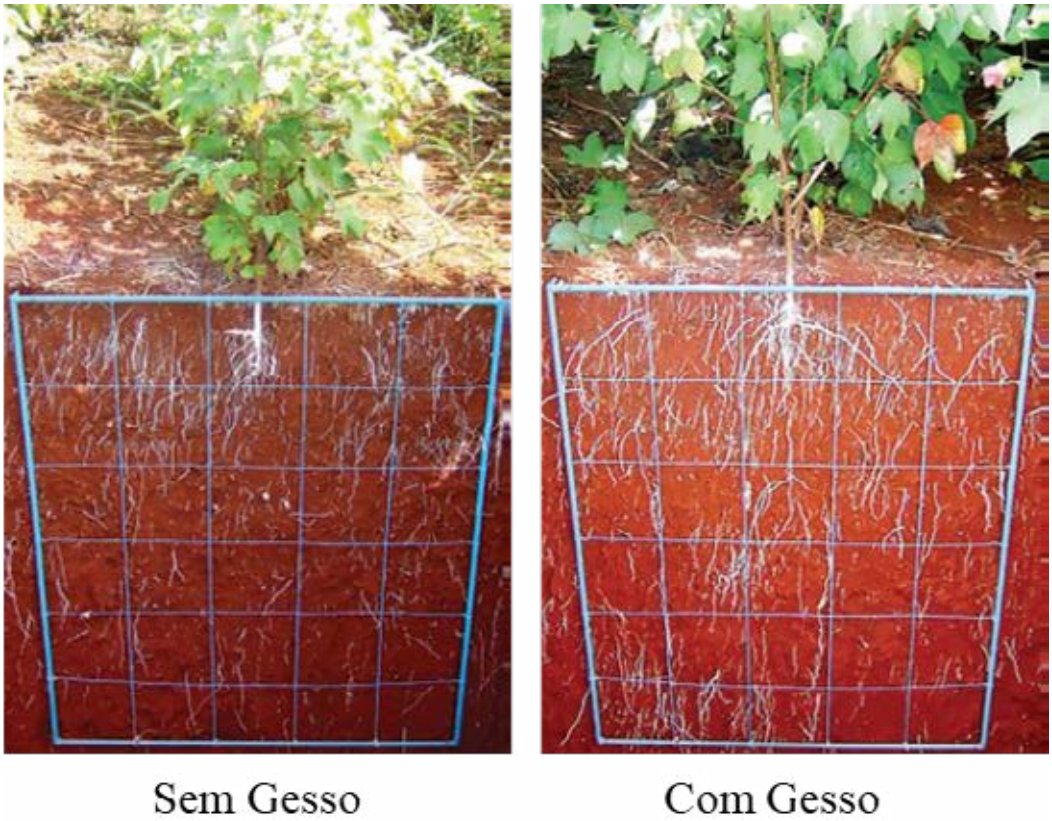


Figura 2. Desenvolvimento de raízes de plantas de algodão em profundidade na ausência e na presença de gesso por ocasião da floração plena, no sistema de plantio direto (cada quadrícula mede 15 cm x 15 cm) (Fonte: Sousa *et al.*, 2008)

- Necessidade de gesso (t/ha) = (0,6 x CTC efetiva – cálcio trocável no solo em $cmol_c$ / dm^{-3}) x 6,4.

Em solos muito ácidos em profundidade, quanto maior a dose de gesso agrícola aplicada, maior tende a ser o seu efeito em camadas mais profundas. No entanto, é importante destacar que doses elevadas de gesso podem induzir deficiência de Mg nas culturas, especialmente quando os teores desse nutriente no solo encontram-se baixos ou muito próximos ao nível crítico. Além disso, o custo do insumo na propriedade, que depende, entre outros fatores, da distância entre a lavoura e a fonte do gesso, deve ser levado em consideração na decisão sobre a utilização de doses altas de gesso.

2. Interpretação dos resultados das análises de solo e manejo de nutrientes na cultura do algodão

A seguir, são apresentados vários tópicos quanto ao manejo de nutrientes na cultura do algodão, com foco aplicado. O assunto é muito extenso, e há ciência profunda que fundamenta todo o manejo de nutrientes na cultura. Porém, o ajuste final só pode ser feito por pessoas devidamente habilitadas e com visão sistêmica de todo o processo produtivo. Não há como discutir tudo em um único material descritivo nem apresentar de forma pontual recomendações prontas. Fazer isso é desconsiderar a agronomia e quem conhece esta cultura no campo de fato.

Para discussões mais aprofundadas, é necessário consultar literatura específica. Para discussões aplicadas, sugere-se o material publicado por Borin *et al.* (2014), no Comunicado Técnico 375 da Embrapa (Adubação do Algodoeiro no Ambiente de Cerrado).

Nitrogênio

- Nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do algodão.
- A disponibilidade das culturas é muito dependente da matéria orgânica e de todas as práticas que afetam o acúmulo/manutenção/redução dos teores da matéria orgânica, além da condição da acidez do solo e da profundidade de solo explorada pelas raízes.
- Para lavouras comerciais não é possível determinar os teores de nitrogênio no solo de forma confiável para gerar uma recomendação de adubação como existe para a acidez e demais nutrientes.
- A recomendação da adubação nitrogenada é feita considerando o conhecimento da área, o desenvolvimento das culturas anteriores, os resultados das análises de solo (principalmente o parâmetro de matéria orgânica do solo) de forma integrada ao histórico de cultivo de cada campo, cultura antecessora, sistema de cultivo, incluindo tempo de adoção do sistema plantio direto, associado ao potencial produtivo dos ambientes de produção de cada campo e experiência do profissional que vai fazer a recomendação.
- No que diz respeito aos fertilizantes nitrogenados, existem diversas fontes no mercado, cada uma delas com características distintas. Fontes como o sulfato de amônio e o nitrato de amônio não estão sujeitas a perdas por volatilização da amônia. Por outro lado, quando se utiliza ureia, podem ocorrer perdas significativas por volatilização, dependendo de fatores como a umidade do solo, temperatura, umidade do ar, ocorrência de chuvas antes ou logo após a aplicação e palhada. O uso de ureia com aditivos específicos, como inibidores da enzima urease, pode reduzir parte dessas perdas, aumentando a eficiência do aproveitamento do nitrogênio pela cultura.
- O nitrogênio é um nutriente suscetível a perda em profundidade, conhecida como lixiviação do nitrato, que ocorre em decorrência de chuvas volumosas, especialmente em solos de textura arenosa. Esse fato reforça a importância de sistemas radiculares profundos, capazes de explorar maior volume de solo e, consequentemente, aumentar a eficiência no aproveitamento dos nutrientes.
- Outra possibilidade de perda de nutrientes, inclusive de nitrogênio, é por meio do escorrimento superficial, especialmente em situações com chuvas intensas, declividade acentuada ou solo desprotegido, sobretudo

em áreas que recebem aplicação a lanço do fertilizante.

- As condições físicas do solo também influenciam a disponibilidade de nitrogênio para as culturas, podendo inclusive favorecer perdas por desnitrificação, especialmente em solos compactados, onde há baixa aeração e acúmulo de água (condição anaeróbica).
- Devido à possibilidade de ocorrência de lixiviação e escorrimento superficial, associada à curva de absorção de nitrogênio ao longo do ciclo da cultura e ao estímulo ao crescimento vegetativo do algodoeiro proporcionado pela adubação nitrogenada, é recomendada a realização do parcelamento da adubação nitrogenada.
- Em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, a resposta à quantidade de nitrogênio aplicado e seu parcelamento tende a ser proporcionalmente maior. Em solos com impedimentos químicos em profundidade, ou que limitam o crescimento radicular, também se faz necessário ajustar o parcelamento, visando uma melhor sincronização entre a oferta de nitrogênio e a capacidade de absorção da planta.
- A deficiência de nitrogênio provoca clorose, ou seja, perda da intensidade da cor verde em toda a planta, devido à redução na síntese de clorofila (Figura 3). Por ser um nutriente móvel dentro da planta, os primeiros sintomas de amarelecimento surgem nas folhas mais velhas, localizadas no baixeiro. A deficiência de nitrogênio compromete o crescimento do algodoeiro, reduzindo o número e o comprimento dos internódios e, consequentemente, o número de ramos vegetativos e reprodutivos. À medida que a deficiência se agrava, as folhas adquirem coloração bronzeada, secam e caem precocemente. Adicionalmente, observa-se queda anormal de botões florais, flores e frutos novos, o que compromete diretamente a produtividade e a qualidade da fibra.
- Nitrogênio em excesso pode induzir o crescimento vegetativo excessivo, especialmente em áreas com alta população de plantas, aumentando a demanda por reguladores de crescimento. Esse crescimento excessivo favorece a perda de estruturas reprodutivas nas partes inferiores das plantas e prolonga o ciclo da cultura, aumentando a dependência da formação do ponteiro, cuja produção está diretamente relacionada à disponibilidade de umidade no solo. O alongamento do ciclo pode expor a lavoura, em determinadas regiões, à ocorrência de temperaturas mais baixas no final do ciclo, além de favorecer o desenvolvimento de doenças e dificultar o manejo de insetos-praga.
- Outros fatores como cultivares, épocas de semeadura, distribuição das chuvas, população, temperatura, apresentam interações entre si no desenvolvimento do algodoeiro e, consequentemente, nas quantidades aplicadas e parcelamento do nitrogênio. Além disso, estes fatores interagem diretamente no manejo do regulador de crescimento. Parte destas interações é discutida no trabalho de Galdi *et al.* (2022).

Elaborar recomendações oficiais quanto ao manejo de nutrientes de cul-

turas, em especial a do algodão, é complexo, justificando a ausência de recomendações recentes quanto à definição das quantidades de nitrogênio a aplicar em lavouras de algodão. Devido à complexidade envolvida, não há como ter uma recomendação para todas as situações a campo. O "ajuste fino" do manejo de nitrogênio nesta cultura deve ser feito por quem está acompanhando a lavoura e conhece as características locais do campo e do solo, as condições meteorológicas, cultivares, etc.

Na Tabela 2, é apresentada uma sugestão de quantidades de nitrogênio a aplicar no sulco de semeadura e em cobertura, em função da expectativa de produtividade de algodão em caroço. Percebe-se que a sugestão apresentada carece de informações comentadas acima. Os próprios autores (Borin *et al.*, 2014) fazem estas considerações. As quantidades sugeridas são mais apropriadas para solos de textura média a argilosa. Para solos de textura arenosa, se forem cultivados com algodão, na maioria das vezes é necessário trabalhar com doses maiores, além da estratégia do parcelamento.

Figura 3. Deficiência de nitrogênio em algodoeiro (plantas à esquerda) em comparação a algodoeiros com adubação nitrogenada (plantas à direita) (Fonte: Gilvan Barbosa Ferreira)

Tabela 2. Sugestões de doses de nitrogênio a se aplicar, em função da expectativa de produtividade de algodão em caroço (Fonte: Carvalho *et al.*; 2011)

Expectativa de produtividade[1]	N na semeadura	N em cobertura
	kg/ha	
Até 3.000	15 a 20	60 a 80[2]
4.000	15 a 20	80 a 100
5.000[3]	15 a 20	100 a 120
6.000[3]	15 a 20	120 a 140

[1] Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores talhões da propriedade, para condição similar de solo, cultivar e manejo. [2] Os maiores valores correspondem às áreas com alto potencial de resposta a N: solos com baixo teor de matéria orgânica (M.O.); primeiros anos de plantio direto, cuja cultura antecessora ao algodão é uma gramínea. Os menores valores são para áreas com baixo potencial de resposta: rotação de culturas com leguminosa (soja ou cultura de cobertura); solos com vários anos de SPD e alto teor de M.O.; cultivos sucessivos com algodão. [3] É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, bem distribuídos nos primeiros 160 dias do ciclo da cultura.

Fósforo

- Os solos de Cerrados são naturalmente deficientes em fósforo e apresentam alta adsorção do elemento aplicado, exigindo práticas de correções prévias.
- A dinâmica do fósforo no solo está intensamente relacionada à mineralogia do solo e com sua acidez. Um dos motivos da realização da calagem é dar condições para haver maior disponibilidade de fósforo presente no solo às culturas, garantindo maior eficiência do fósforo aplicado. Para os interessados, consultar o trabalho de Silva *et al.* (1987) sobre a cultura do algodão. Trabalho antigo, mas muito atual.
- O fósforo em solos deficientes é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nas adubações, caracterizando as adubações de correções, embora seja extraído em menores quantidades pelas culturas, em comparação ao nitrogênio e ao potássio. Em solos com níveis elevados, a quantidade de fósforo aplicada suficiente para altas produtividades reduz significativamente

(adubação de reposição a manutenção conforme o caso, e em determinados cenários, eventualmente sem fertilização fosfatada).

– Em solos do Cerrado brasileiro e em boa parte dos solos do Brasil, a aplicação localizada do fósforo no sulco de semeadura aumenta o contato do nutriente com o sistema radicular, o que resulta em maior eficiência.
– A recuperação do fósforo fornecido nas adubações pelas culturas é muito baixa quando em solos muito deficientes de fósforo e nas estratégias de correção do fósforo. Esse comportamento do fósforo é consequência de diversas reações químicas no solo que afetam a sua disponibilidade para as plantas. A recuperação do fósforo aplicado é afetada pelo sistema de produção adotado ao longo dos anos. Após vários anos de cultivo e investimentos realizados, o sistema plantio direto, quando bem conduzido, proporciona melhoria significativa na eficiência do aproveitamento do fósforo aplicado e do fósforo presente no solo. A duração e a qualidade dos sistemas de produção influenciam diretamente a resposta das culturas à adubação fosfatada, mesmo quando os teores de fósforo no solo são numericamente semelhantes.
– O efeito mais evidente da deficiência de fósforo é a redução geral no crescimento da planta (Figura 4). A deficiência de fósforo reduz a fotossíntese, o acúmulo e a translocação dos carboidratos para as maçãs do algodoeiro. Como resultado, as plantas se desenvolvem muito lentamente, as folhas mais velhas ficam avermelhadas (como consequência do acúmulo de antocianina) e com manchas ferruginosas nas bordas, evoluindo para o secamento. Além disso, pode haver o avermelhamento do caule. Em situação de deficiência muito severa, há queda de botões florais, redução do tamanho das maçãs e baixa retenção dos frutos. Independentemente da forma como os sintomas são expressos durante o ciclo da cultura, o resultado é a redução da produtividade.

Figura 4. Deficiência de fósforo no algodoeiro (efeito na folha e sobre o desenvolvimento de plantas) (Fonte: Claudinei Kappes)

A interpretação dos resultados de análise de solo para fósforo, na região do Cerrado, é apresentada na Tabela 3, considerando-se o extrator Mehlich-1.

Tabela 3. Rendimento potencial e interpretação da análise de solo para o P extraído pelo método de Mehlich-1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistema de sequeiro com culturas anuais no Cerrado (Fonte: Souza e Lobato (2004), com adaptações)

Teor de argila	Rendimento potencial da cultura (%)				
	0-40	41-60	61-80	81-90	> 90
	Interpretação dos teores de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	mg/dm³				
< 16	0,0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16-35	0,0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36-60	0,0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0,0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

Com base nas pesquisas desenvolvidas no Cerrado, na Tabela 4 são apresentadas sugestões para a adubação de manutenção do algodoeiro na região, em função da expectativa de produtividade.

Tabela 4. Sugestões de adubação fosfatada de manutenção do algodoeiro cultivado no Cerrado, em função da expectativa de produtividade e da interpretação da análise do solo (Fonte: Carvalho *et al.*; 2011)

Expectativa de produtividade[1]	Teor de fósforo no solo (ver Tabela 2)	
	Adequado	Alto[4]
kg/ha	kg/ha de P_2O_5[3]	
Até 3.000	60	30
4.000	90	45
5.000[2]	110	55
6.000[2]	135	70

[1] Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores talhões da propriedade, para condição similar de solo, cultivar e manejo. [2] É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em condições de sequeiro nos locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, razoavelmente bem distribuída durante o ciclo da cultura. [3] Doses estimadas considerando que o algodoeiro extrai cerca de 20 a 25 kg/ha de P_2O_5 para cada 1.000 kg de algodão em caroços produzidos. [4] Nível alto de fósforo no solo, no qual a adubação pode ser reduzida ou até suprimida por uma safra, em anos de elevada relação de preços insumo/produto.

Potássio

– O potássio é o segundo nutriente absorvido em maior quantidade pelo algodoeiro. Além do desenvolvimento, o potássio afeta a produtividade e a qualidade da fibra. A quantidade de potássio exportada pela cultura do algodão é relativamente pequena (Tabela 1), se comparada com a cultura de soja, que pode superar os 20 kg/ha de K_2O por tonelada de grãos produzida. A amostragem de solo após a colheita do algodão, frequentemente, subestima os teores de potássio no solo, uma vez que este nutriente fica imobilizado momentaneamente nos restos culturais.

- Na maioria dos solos de Cerrado, a reserva de potássio não é suficiente para suprir a quantidade extraída pelas culturas por longo período. Portanto, é essencial que o seu suprimento às plantas seja feito por meio da adubação.
- Em solos muito arenosos, com menor teor de matéria orgânica e, por consequência, menor CTC, é comum ocorrerem sintomas de deficiência de potássio. Nestes ambientes, a experiência do profissional responsável é fundamental para os ajustes para cada situação, incluindo doses e parcelamentos.
- Recomenda-se fazer o parcelamento da aplicação de potássio na cultura do algodão, devido a perdas de lixiviação em profundidade. Quanto ao potássio, mais do que investir em quantidades elevadas e no parcelamento da aplicação de potássio, acima de tudo, torna-se obrigatório o investimento no uso de culturas que contribuam para a ciclagem de potássio dentro do sistema de produção, como, por exemplo, o milheto e a braquiária.
- A deficiência tradicional de potássio, em pré-florescimento, é caracterizada pela clorose internerval das folhas do baixeiro, seguida de necrose nas margens e queda (Figura 5); como consequência, há o encurtamento do ciclo, a má formação de capulhos, a redução da produtividade e da qualidade das fibras.
- Atualmente, com aumento das produtividades potenciais das cultivares de algodão, em lavouras com alto teto produtivo e/ou em ambientes que não garantam um aporte de potássio suficiente, é frequente, no período final da formação das maçãs do denominado "ponteiro", haver no final do ciclo sintomas de deficiência de potássio nas folhas superiores (Figura 6). Em lavouras comerciais, conseguir separar exatamente os sintomas de nutrientes, ainda mais no final do ciclo, como neste caso, é complexo. Quando sintomas de deficiência de potássio comprometem a formação do ponteiro, é um indicativo forte de necessidade de fazer ajustes quanto à programação / planejamento do manejo do potássio no sistema de produção. Nunca vai haver uma tabela de recomendação que contemple todas as situações. Além, de que há muitos outros fatores que interferem na disponibilidade de nutrientes que não são possíveis contemplar nas tabelas de recomendação.
- Um tema muito discutido quanto ao planejamento da cultura do algodão, assim como na cultura do milho, é a relação de nitrogênio e potássio nas adubações. Fixar relações entre nutrientes em estratégias de adubação é desconsiderar a ciência do solo. Motivo principal desta afirmação, é o fato de as plantas absorverem nutrientes do solo, e do fertilizante propriamente dito.

Figura 5. Deficiência de potássio no algodoeiro (folhas mais velhas - "baixeiro" das plantas) (Fonte: Claudinei Kappes)

Figura 6. Algodoeiro com deficiência tardia de potássio devido à demanda na formação das estruturas reprodutivas (A) e sem deficiência de potássio (B) (Fonte: Semler & Almeida, 2019)

Tabela 5. Interpretação da análise de solo para potássio no Cerrado, de acordo com a CTC do solo, e em Minas Gerais, visando a recomendação de adubação de culturas anuais (Fonte: [1]Alvarez V. (1999); [2]Vilela *et al.* (2004), com adaptações)

Estado/Região	Interpretação					
	CTC a pH 7,0	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado/Bom	Alto/Muito bom
	($cmol_c/dm^3$)	Teor de K no solo (mg/dm^3)			Extrator $Mehlich^{-1}$	
Minas Gerais[1]		< 16	16 a 40	41 a 70	71 a 120	> 120
Cerrado[2]	< 4,0	-	< 16	16 a 30	31 a 40	> 40
	> 4,0	-	< 26	26 a 50	51 a 80	> 80

Na Tabela 6, é apresentada uma sugestão de adubação com potássio para o Cerrado, em função dos teores de K no solo e da produtividade esperada de algodão em caroço.

Experiências a campo, em solos de textura arenosa, têm demonstrado que, em solos com teores de potássio muito baixos, especialmente os arenosos, mesmo com a aplicação das maiores doses apresentadas na Tabela 6, é comum haver deficiência de potássio no final do ciclo do algodoeiro. Estes ambientes são de risco elevado. Porém, para alcançar produtividade, é necessário garantir rentabilidade, estabilidade produtiva e melhoria contínua do ambiente ao longo dos anos.

O potássio apresenta boa eficiência quando aplicado em superfície, sem incorporação, devido à sua mobilidade no solo. No entanto, sempre é importante salientar o cuidado especial ao realizar a adubação potássica no sulco de semeadura do algodoeiro. Aplicações de quantidades elevadas de cloreto de potássio podem, devido ao seu alto índice salino (116), comprometer o desenvolvimento inicial do sistema radicular e, consequentemente, da planta. Precauções também devem ser tomadas quanto ao seu posicionamento em relação à semente: o fertilizante potássico deve ser aplicado abaixo e ao lado da semente – torno de 5,0 cm. Do contrário, quando posicionado muito próximo à semente, o fertilizante potássico pode gerar um efeito salino muito forte no solo, comprometendo a germinação, emergência e o desenvolvimento inicial da radícula e das plantas (Figura 7). Os cuidados com o posicionamento do cloreto de potássio devem ser redobrados em solos arenosos, pois o seu menor efeito tampão, capacidade limitada de retenção de água e manutenção de umidade intensificam o estresse salino e, consequentemente, exercem maior efeito negativo sobre a germinação das sementes e o desenvolvimento das plântulas.

Tabela 6. Sugestão de adubação potássica do algodoeiro no Cerrado, em função dos teores disponíveis no solo e da produtividade esperada de algodão em caroço (Fonte: Carvalho *et al.*, 2011)

Produtividade esperada[1]	Teor de K no solo, mg/dm³ (camada de 0-20 cm)				
	< 25[2]	26 - 50[2]	51- 80	81-120	> 120[4]
kg/ha	kg/ha de K_2O				
Até 3.000	130	100	80	60	30
4.000	150 a 170	120 a 140	100 a 120	80	40
5.000[2]	170 a 190	140 a 160	120 a 140	100	50
6.000[2]	190 a 210	160 a 180	140 a 160	120	60

[1] Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada nos melhores talhões da propriedade, para condição similar de solo, cultivar e manejo. [2] Nesses níveis de K no solo, as doses sugeridas incluem a adubação corretiva mais a adubação de manutenção (considerando-se o teor adequado de K para o algodão na faixa de 80 a 120 mg/dm³). [3] É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, razoavelmente bem distribuídos durante o ciclo da cultura. [4] Nível alto de potássio no solo, acima do qual a adubação pode ser reduzida ou até suprimida por uma safra, em anos de elevada relação de preços insumo/produto.

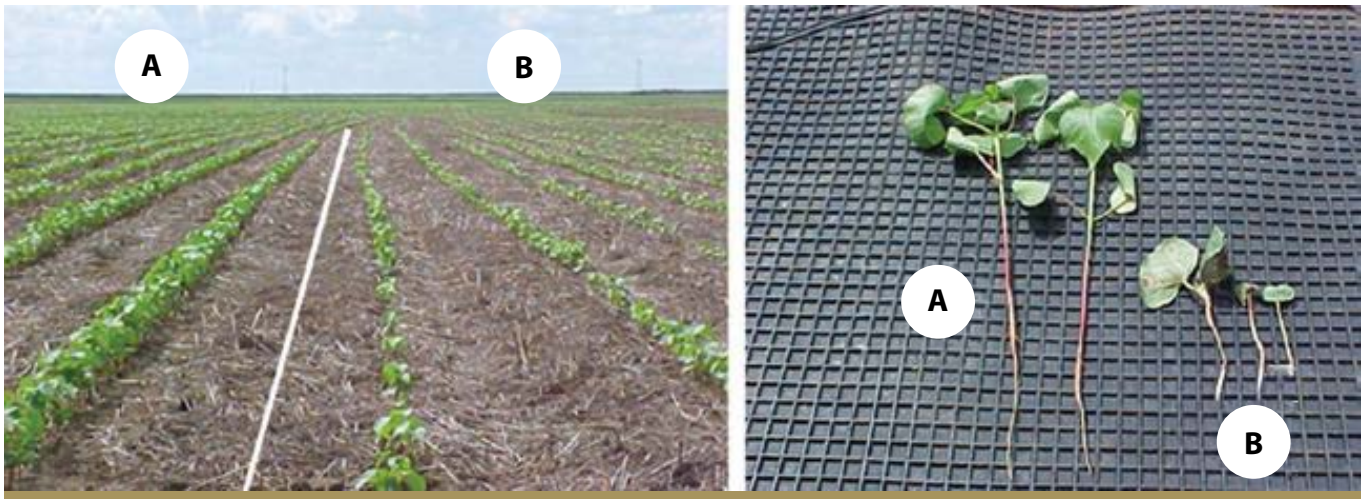


Figura 7. Plantas de algodão afetadas pelo posicionamento do cloreto de potássio no sulco de semeadura em relação à semente: (A) sem potássio no sulco; (B) com potássio no sulco (Fonte: Fundação MT, 2004)

De maneira geral, não se recomenda aplicar quantidades superiores a 40-50 kg/ha de K_2O no sulco de semeadura do algodoeiro. Contudo, mais importante que a dose, é a distância em que o fertilizante será posicionado em relação à semente. Para aplicações via haste sulcadora ("botinha"), em que o fertilizante potássico poderá ser posicionado a 10 cm de profundidade, é possível trabalhar com doses superiores a 50 kg/ha de K_2O sem gerar prejuízos no estabelecimento e desenvolvimento inicial do sistema radicular e das plântulas (Figura 8).

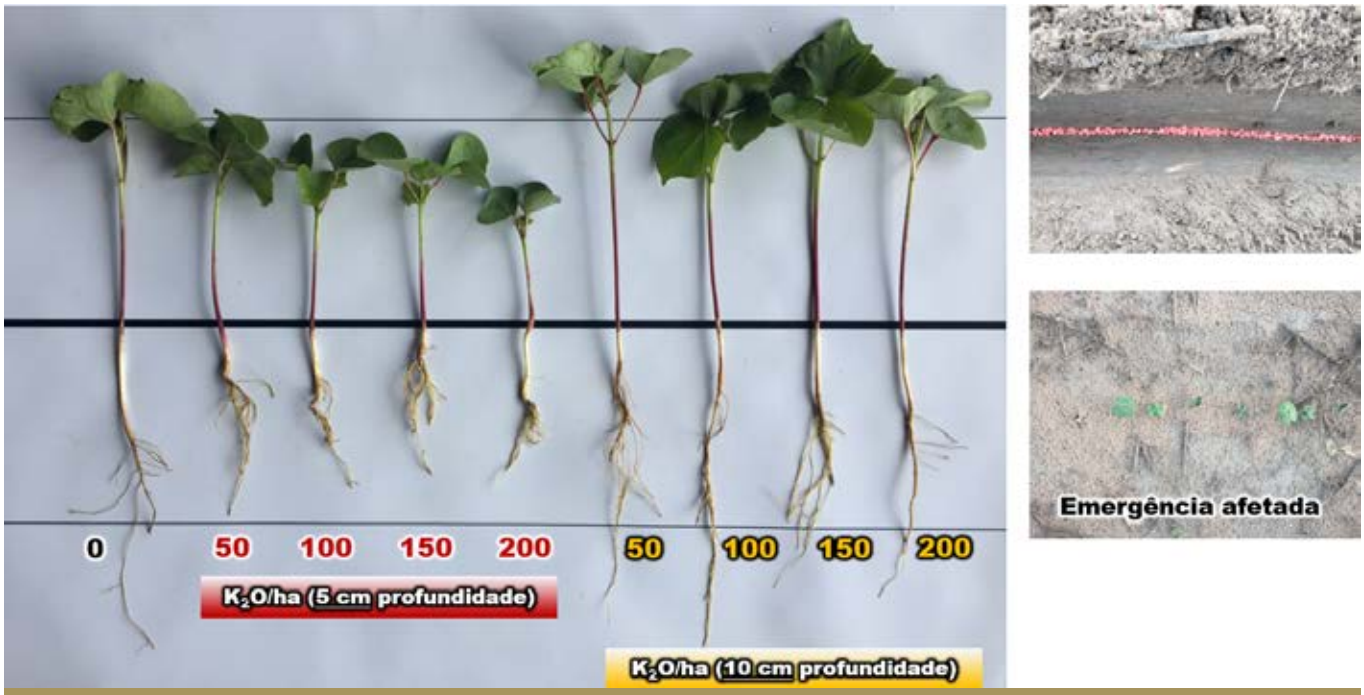


Figura 8. Plântulas de algodão em resposta a doses de potássio (K_2O) via cloreto de potássio depositado a 5 e a 10 cm de profundidade no sulco em solo arenoso (Fonte: Claudinei Kappes (2022) - dados não publicados)

Enxofre

- A dinâmica do enxofre no solo tem muita semelhança com a dinâmica do nitrogênio, ou seja, está diretamente relacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo, principal fonte de nitrogênio e enxofre do solo para as culturas. De modo geral, solos com maior teor de matéria orgânica tendem a responder menos a enxofre. Devido à estreita relação entre a textura do solo e o teor de matéria orgânica, na maioria das vezes, solos argilosos tendem a responder menos ao enxofre do que solos arenosos.
- As plantas absorvem enxofre na forma de sulfato (SO_4^{-2}). Por se tratar de um ânion, o SO_4^{-2} não é adsorvido nas cargas negativas das camadas superficiais do solo, tendendo a acumular em profundidade, abaixo de 20 cm. Portanto, se as raízes do algodão não estiverem explorando o solo em profundidade, seja devido à acidez ou ao impedimento físico do solo, poderá haver deficiência de enxofre, mesmo havendo teores elevados de enxofre em profundidade.
- Realizar amostragem do solo em profundidade além da camada de 0 a 20 cm, a fim de contribuir para o diagnóstico quanto ao manejo da adubação com enxofre.
- Com a deficiência de enxofre, a fotossíntese é reduzida, afetando a produtividade e a qualidade da fibra. As plantas deficientes em enxofre têm crescimento reduzido, emitem poucos ramos vegetativos e reprodutivos e apresentam folhas no ponteiro de cor verde-amarelada (Figura 9). Esse sintoma de deficiência se assemelha ao do nitrogênio, porém, por causa da baixa mobilidade no floema, ele aparece inicialmente no ponteiro (Figura 10), enquanto o sintoma de deficiência do nitrogênio aparece no baixeiro.
- Atualmente, o relato de respostas da cultura do algodão a doses de enxofre maiores é frequente, principalmente em solos com textura arenosa e média. Muitas hipóteses são possíveis de serem levantadas: cultivares mais exigentes e/ou mais responsivas, maior potencial produtivo, menores teores de matéria orgânica no solo, correção do solo em profundidade limitando o crescimento radicular, e degradação da matéria orgânica devido aos sistemas de cultivo pobre adotados ao longo dos anos.

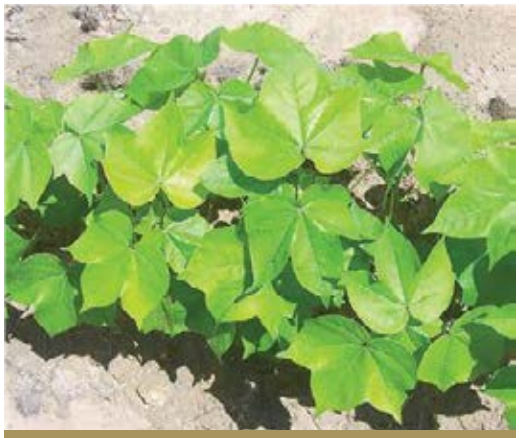


Figura 9. Clorose verde-limão típica de deficiência de enxofre no algodoeiro (Fonte: Gilvan Barbosa Ferreira)

Figura 10. Deficiência de enxofre no algodoeiro (perda da coloração verde nas folhas mais novas) (Fonte: Leandro Zancanaro)

Micronutrientes

Segundo Carvalho *et al*. (2011), as pesquisas realizadas com micronutrientes na cultura do algodoeiro nas diversas regiões produtoras do Brasil, sendo as mais recentes no Cerrado, mostram que: i) são frequentes as respostas a boro; ii) as respostas a zinco são raras e ocorrem em áreas de Cerrado recém-incorporadas ao processo produtivo ou em solos pobres nesse nutriente, cultivados sucessivamente sem adubação de zinco; iii) eventualmente, ocorre resposta ao manganês via pulverização foliar, em solos com pH (em água) acima de 6,3; iv) a adubação corretiva com zinco e cobre é uma estratégia eficiente para suprir a necessidade desses nutrientes para a cultura, apresentando efeito residual de pelo menos quatro anos.

A disponibilidade de boro do solo para as plantas também tem uma relação direta com a matéria orgânica do solo, e a dinâmica do boro no solo também é diretamente afetada pela textura do solo devido ao processo de adsorção do boro aos coloides do solo. O efeito residual do boro no solo tem relação direta também com a textura do solo. Solos argilosos, que normalmente apresentam maiores teores de matéria orgânica, também apresentam maior adsorção do boro, logo, apresentam maior efeito residual do boro aplicado. Em solos do bioma Cerrado cultivados há vários anos, quando submetidos ao primeiro ano de cultivo, quando em solos deficientes em boro, é comum adotar adubações de boro até quantidades de 2 a 4 kg/ha de boro. No entanto, os trabalhos de pesquisa de longa duração demonstram que a aplicação anual de boro em cada safra, com doses menores (1 a 2 kg/ha/ano, conforme textura), é um manejo recomendado. Em solos arenosos, a aplicação de doses elevadas pode representar riscos de toxicidade, sendo mais comum em culturas como a soja e menos no algodão. Nestes solos, o parcelamento do boro aplicado é uma estratégia recomendada. Quanto à resposta e dinâmica do boro em solos argilosos na cultura do algodão, e ao efeito de boro em solos arenosos, há trabalhos da Fundação MT e Iagro/Aprosoja, como referências, respectivamente.

Recomenda-se adubação com boro quando o teor de B no solo, extraído pelo método de água quente, for menor que 0,6 mg/dm^3. Porém, deve-se ter cuidado na interpretação dos resultados das análises de solo, pois existe muita variabilidade dos resultados entre os laboratórios.

Autores relatam que, em virtude da baixa mobilidade do boro na planta, os primeiros sintomas ocorrem nas partes jovens, nos tecidos de condução e nos órgãos de propagação. Os sintomas de deficiência mais comuns no campo são: amarelecimento das folhas do ponteiro; no período de florescimento/frutificação aparecem anéis concêntricos verde-escuros nos pecíolos (Figura 11) e nas hastes, com necrose interna da medula. À medida que a carência aumenta, esses anéis surgem nos ramos e na haste principal. A deficiência de boro, quando severa, provoca a morte da gema apical e o surgimento anormal de brotos novos (superbrotamento da planta). Baixos teores no tecido durante o florescimento podem inviabilizar a germinação do grão de pólen, impedindo a fecundação dos óvulos e a formação das sementes, e, por consequência, das fibras advindas delas.

A correção em excesso da condição de acidez do solo pode induzir a deficiência de micronutrientes, zinco, cobre e manganês. Sendo este último o que mostra sintoma visual de visívelização mais fácil.

Para os micronutrientes zinco, cobre e boro, quando os solos são deficientes, a aplicação via solo é o recomendado. Para o manganês, a aplicação por meio da adubação foliar é a mais recomendada. Nestas situações, para zinco e cobre, a adubação corretiva é recomendada nas quantidades de 4 e 2 kg/ha, respectivamente. A adubação corretiva para manganês e boro em solos arenosos não é recomendada. Em solos argilosos, o boro apresenta efeito residual. Porém, de modo geral, para a cultura do algodão, a frequência anual de aplicação de boro, especialmente em solos arenosos, é recomendada. Em áreas de cultivo sucessivo de algodão, por segurança, também. Embora em solos cultivados seguidamente com algodão, possa haver baixa resposta ao boro aplicado.

A correção excessiva da condição de acidez do solo aumenta a probabilidade de respostas à adubação foliar dos micronutrientes manganês, cobre e zinco, quando há deficiência. Neste último cenário, a frequência de aplicações foliares é um aspecto importante a considerar.

Para micronutrientes como zinco, cobre, manganês e boro, o diagnóstico foliar para avaliação da condição nutricional é uma ferramenta recomendada, desde que respeitados os critérios de amostragem específica e metodologias oficiais. A interpretação dos resultados das análises foliares também segue os mesmos princípios da interpretação dos resultados das análises de solo. Um aspecto importante é que há carência de estudos de calibração dos resultados das análises foliares para a cultura do algodão, considerando as condições de solo, as cultivares e os tetos produtivos da cultura do algodão cultivada no Centro-Oeste e Nordeste brasileiros.

3. Adubação de sistema e a cultura do algodoeiro

Devido à acidez elevada e à deficiência de nutrientes, na abertura das áreas sob o bioma de Cerrado para o uso agrícola, há necessidade de investimentos elevados e onerosos por vários anos para realizar a correção do solo, a fim de permitir que as culturas possam absorver nutrientes suficientes para expressarem o seu potencial produtivo em cada ambiente específico. Nesta situação de deficiência, caso não seja feita a correção do solo, a produtividade da cultura é reduzida. Nesse contexto, há necessidade de realizar a correção do solo e praticar adubação focada nas exigências de cada cultura, individualmente, conforme a sequência de culturas dentro do sistema de produção.

Com os investimentos em correção do solo realizados ao longo do tempo, ocorre a denominada correção gradual dos solos; estes passam a apresentar condições com níveis de nutrientes médios, adequados a altos (Figura 12). À medida que ocorre essa melhoria na capacidade do solo de fornecer nutrientes às culturas que compõem o sistema de produção, diminui-se a resposta das plantas às práticas de adubações corretivas e adubações propriamente ditas. A tal ponto que, quando o profissional da área técnica interpretar os resultados da análise do solo, sendo níveis adequados ou altos, está afirmando que aquele solo apresenta condições para fornecer a quantidade de nutrientes necessária para que as culturas expressem o seu potencial produtivo, ou seja, menor a dependência da fertilização e também do modo de aplicação.

Figura 11. Deficiência de boro caracterizada pela presença de anéis escuros no pecíolo das folhas do algodoeiro (Fonte: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira)

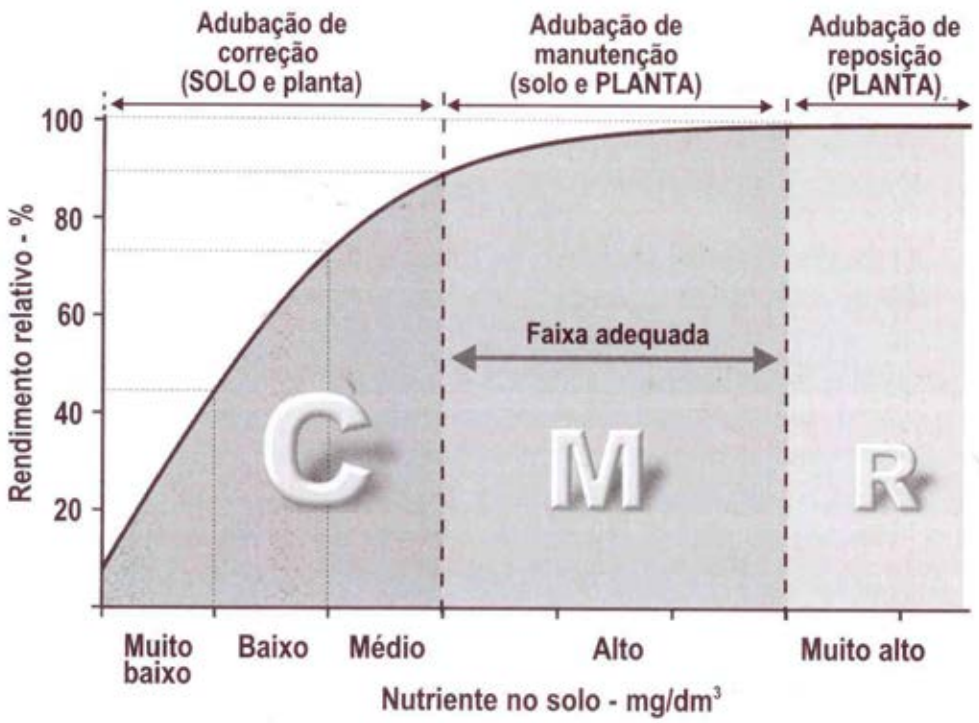


Figura 12. Relação entre o rendimento relativo das culturas como variável do teor de nutriente no solo e as indicações de adubação para cada faixa de teor no solo (Fonte: extraído de CQFS-RS/SC (2004), a partir de Gianello & Wiethöler, 2004)

Dessa maneira, quando a interpretação dos resultados das análises de solo acusar níveis adequados a altos, a adoção da estratégia de adubação de manutenção (para níveis adequados/altos) ou de reposição (níveis altos) é recomendada. As denominações desses níveis e o seu significado variam conforme o trabalho de calibração publicado.

A adubação de manutenção considera a quantidade de nutrientes exportados, a eficiência de utilização dos nutrientes pelas culturas e as perdas de nutrientes dentro do sistema de produção. Os últimos fatores variam conforme o sistema de produção adotado ao longo do tempo e de acordo com o nutriente. A adubação de reposição considera mais especificamente a quantidade de nutrientes exportados.

Portanto, em solos com níveis adequados ou altos, a adubação pode ser focada na quantidade de nutrientes exportados pelo sistema de produção adotado, considerando o período de um ano, como o ano agrícola, por exemplo. A partir desses níveis de nutrientes no solo, a resposta das plantas é menos dependente do modo de aplicação dos fertilizantes, possibilitando a adoção de várias estratégias de adubações sem comprometer a produtividade a curto, médio e longo prazo. Entre as estratégias possíveis, está a aplicação da quantidade total de nutrientes destinada ao cultivo das duas/três culturas dentro do sistema de produção apenas na cultura mais exigente, conforme os nutrientes e o solo. A cultura do algodão é mais exigente, menos eficiente na absorção de nutrientes e mais responsiva do que a soja, sendo que esta última é caracterizada por ser eficiente no aproveitamento do residual das adubações das culturas anteriores.

Em solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica, resultando em baixos valores de CTC, apresentam, de modo geral ,menor disponibilidade de nitrogênio, potássio, enxofre e boro às culturas, sendo esses nutrientes muito suscetíveis à lixiviação, com menor efeito residual das adubações anteriores. Logo, a antecipação da aplicação desses nutrientes nesses ambientes, mesmo em solos cultivados há vários anos, pode representar maior risco de haver sintomas de deficiência nas culturas ao longo do ciclo, como no algodão.

Em ambas as estratégias (adubação de manutenção e de reposição), está incluído o conceito de quanto maior a produtividade obtida, maior deve ser a adubação realizada ao longo dos anos,

mas também estabelece os critérios. Essas duas estratégias são muito válidas para nutrientes como o fósforo e o potássio (este, em solos argilosos, com maior CTC). Para nutrientes como o nitrogênio e o enxofre, há a necessidade de se considerar outros aspectos. O nitrogênio aplicado apresenta baixo residual das adubações anteriores, assim como o enxofre em solos arenosos.

Para muitos profissionais da área técnica e produtores, a prática de aplicar a quantidade de nutrientes para todas as culturas que são cultivadas no mesmo ano agrícola dentro do sistema de produção, em uma única cultura, mais exigente, menos eficiente ou mais responsiva, é denominada adubação de sistema. Entretanto, não devemos confundir adubação de sistema com a antecipação da adubação, que visa em muitos casos otimizar o rendimento operacional em relação aos critérios agronômicos.

Sob uma visão mais sistêmica, a adubação de sistema consiste em gerenciar a adubação dentro de sistemas de produção com rotação de culturas previamente estabelecida, considerando as características do solo e das culturas envolvidas. O objetivo é aumentar não só a produtividade individual de cada cultura, mas do todo, intensificando o aporte de carbono, a ciclagem de nutrientes e, consequentemente, o aumento da eficiência produtiva.

Referências bibliográficas

ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5a aproximação. Viçosa, CFSEMG, p.43-60. 1999.

BORIN, A.L.D.C.; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S. Adubação do Algodoeiro no Ambiente de Cerrado. **Comunicado Técnico** n° 375. Embrapa, Campina Grande-PB. 2014. 8pp. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1012109/1/COT375.pdf

CAIRES, E.F.; GUIMARÃES, A.M. A Novel Phosphogypsum Application Recommendation Method under Continuous No-Till Management in Brazil. **Agr. Journ**. 110 (5):1987- 1995. 2018.

CARVALHO, M.C.S.; FERREIRA, G.B.; STAUT, L.A. Nutrição calagem e adubação do algodoeiro. In: Freire EC (Ed.) **Algodão no cerrado do Brasil**. Aparecida de Goiânia, Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. p.677-752. 2011.

GALDI, L.V.; CORDEIRO, C.F.; SILVA, B.S.; TORRE, E.J.R.L.; ECHER, F.R.; Interactive effects of increase plant density, cultivars and N rates in environment with different cotton yield recovery potential. **Industrial Crops & Products**; 176. 2022 https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114394

GIANELLO, C.; WIETHÖLTER, S. Novo sistema de adubação para as culturas de grãos nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do solo, 5. **Resumos expandidos**, Florianópolis: SBCS-NRS, 2004. CDROM (Citado em CQFS-RS/SC; Manual de Adubação e de calagem. Coordenador geral WIETHÖLTER, S.; Porto Alegre- RS, 2004)

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2735- 2744. 2008.

ROSOLEM, C.A.; BOGIANI, J.C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. In: ECHER, F.R. (ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: IMAmt, 2014. (Boletim de P&D, 1), cap. 4, p. 103-121.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; HIROCE, R.; QUAGGIO, J.A. A calagem na reação do algodoeiro à adubação com superfosfato simples. **Bragantia**, Piracicaba, v. 46, p. 381-396, 1987.

SOUZA, D.G.S.; REIN. T.A.; ALBRECH, J.C. Resposta a Gesso pela Cultura do Algodão Cultivado em Sistema de Plantio Direto em um Latossolo de Cerrado. **Resumo**; IX Simpósio Nacional Cerrado. 12 a 17 Outubro 2008. Brasília-DF. 8pp.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, D.M.G., LOBATO, E.; REIN, T. A. Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados. Planaltina. EMBRAPA-CPAC, 2005. 20 p. (EMBRAPA-CPAC. **Circular Técnica**, 32).

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, p. 169-184. 2004.

Guilherme Gomes Rolim
IMAmt

CAPÍTULO 5.2

Importância da tecnologia de aplicação para a cotonicultura

Este capítulo, publicado na edição de 2025, substitui o capítulo "Tecnologia de aplicação para a cultura do algodão", publicado originalmente pelo Prof. Ulisses Antuniassi na edição de 2012/13 e atualizado nas edições de 2014/15 e 2019/20.

Introdução

O cultivo do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae) é responsável pela oferta da principal fibra natural utilizada no mundo. No cenário mundial, o Brasil se mantém como o primeiro exportador, sendo que, para a safra 2024/25, a estimativa foi de 3,97 milhões de toneladas de fibra. O algodão é uma das principais *commodities* cultivadas no país, com uma área plantada, na safra 2024/25, de 2,085 milhões de hectares e produção total de 3,93 milhões de toneladas de pluma (Conab, 2025). Toda essa força agrícola impulsiona a indústria têxtil nacional, que é estimada em R$ 389,9 bilhões e gera mais de 1,33 milhão de empregos diretos.

O algodão brasileiro é predominantemente cultivado nos estados de Mato Grosso, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e outros estados do Nordeste, caracterizando-se pelo uso intensivo de alta tecnologia, topografia e clima que favorecem o desenvolvimento da cultura, bem como a facilidade de plantio e colheita mecanizada.

No entanto, as mesmas condições edafoclimáticas que favorecem o desenvolvimento da cotonicultura também propiciam condições ideais para o desenvolvimento e multiplicação de aproximadamente 250 espécies de insetos e ácaros, das quais cerca de 60 espécies se destacam pela capacidade de ocasionar danos diretos e/ou indiretos, atingindo o status de praga em algumas das fases de desenvolvimento da cultura. Além da grande diversidade de artrópodes que atacam o algodoeiro, ainda há doenças e plantas daninhas que também necessitam de aplicações sucessivas para serem controladas, o que eleva significativamente o número de "entradas" para a realização de tratamentos fitossanitários.

O elevado número de aplicações está diretamente relacionado a fatores inerentes à própria praga, como no caso do bicudo-do-algodoeiro. Esse inseto apresenta o comportamento de se abrigar nas estruturas vegetativas e reprodutivas da planta, o que dificulta o contato direto com os produtos aplicados. Como consequência, ocorre a redução da eficiência de controle, seja pela dificuldade de alcance do alvo, pela realização de aplicações em condições inadequadas ou pelo uso de tamanhos de gota incompatíveis com a necessidade do alvo.

1. Tecnologia de aplicação

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é um dos aspectos mais relevantes em um programa de manejo para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Ela pode ser definida como o conjunto de táticas que visam garantir a aplicação correta do produto, na quantidade necessária, de forma que atinja o alvo no momento adequado, evitando a contaminação de áreas adjacentes. Para isso, é fundamental compreender as características do alvo, selecionar o tamanho de gota apropriado e considerar as condições atmosféricas ideais no momento da aplicação. Esses fatores são essenciais para a escolha do equipamento, do tipo de ponta e da faixa

de aplicação mais adequados, assegurando uma operação ambientalmente segura, economicamente viável e agronomicamente eficiente.

1.1. Alvo

O sucesso ou fracasso de uma aplicação está diretamente relacionado à capacidade de garantir a maior retenção do ingrediente ativo no alvo biológico. Em outras palavras, quanto mais produto alcançar o corpo do inseto ou se depositar sobre a superfície foliar (ficando disponível para penetração na planta), maiores serão as chances de eficiência. Embora isso pareça óbvio, na prática muitas vezes não é considerado no momento da aplicação.

Outro aspecto essencial é a definição clara do alvo. Nos problemas entomológicos, o alvo pode ser o próprio inseto ou as partes da planta que ele utiliza para alimentação e/ou abrigo. Ao definir o inseto como alvo, torna-se fundamental compreender sua distribuição na cultura, os locais de maior ocorrência na planta, seus hábitos comportamentais e qual fase do seu ciclo biológico é mais vulnerável ao produto que será utilizado. No entanto, nem sempre é tão fácil atingir diretamente o inseto e, muitas vezes, o produto é aplicado na massa foliar, causando a contaminação através do caminhamento e/ou alimentação, o que torna a folha o alvo das aplicações.

A FOLHA COMO UM ALVO

A maior parte das aplicações fitossanitárias tem como alvo a massa foliar das plantas, seja para proteger a lavoura contra pragas e doenças ou para controlar plantas daninhas. De forma geral, as folhas costumam ser tratadas apenas como um substrato passivo, no qual basta depositar determinada quantidade de produto de maneira relativamente uniforme para garantir o controle desejado.

Figura 1. Visualização da deposição de gotas em folha de algodão (uso de traçador fluorescente)

Entretanto, essa visão simplificada é uma das principais causas de erros e insucessos em tratamentos fitossanitários, pois características foliares, como densidade e tipo de tricomas (simples ou compostos) (Figura 1), maior ou menor cerosidade da folha e pH podem influenciar significativamente a forma como o produto permanece na superfície foliar, sua absorção ou sua eficácia no controle de pragas, patógenos e plantas daninhas.

No caso do algodoeiro, as características que mais influenciam na permanência e eficiência dos produtos depositados são a cerosidade, que aumenta em plantas sob estresse hídrico e dificulta o espalhamento de gotas, reduzindo assim a cobertura e a absorção de produtos, e o elevado pH, que está diretamente ligado à degradação de produtos como organofosforados e carbamatos, bem como à redução da viabilidade de fungos e vírus.

1.2. Tamanho da gota

Após conhecer o alvo e suas características, o segundo passo é determinar o tamanho ideal de gota para o seu controle e, ao mesmo tempo, o tamanho de gota mais eficiente que pode ser produzido. Nesse ponto, é comum surgir uma dúvida: qual a diferença entre a gota ideal e a gota mais eficiente?

Para compreender essa questão, é necessário entender as dimensões deste universo. O diâmetro das gotas é medido em micrômetros (µm), correspondendo à milésima parte de um milímetro. Para se ter uma ideia, uma gota de 100 µm tem aproximadamente o mesmo diâmetro de um fio de cabelo humano.

Voltando à questão, por exemplo, o tamanho de gota ideal para o controle do bicudo-do-algodoeiro seria, em média, de 63 µm de diâmetro. No entanto, gotas com essas dimensões são difíceis de serem produzidas, mais instáveis e suscetíveis à deriva e à evaporação. Por outro lado, gotas de 100 a 140 µm, embora não sejam consideradas "ideais" para atingir diretamente o inseto, são mais fáceis de produzir e controlar, além de apresentarem menor vulnerabilidade às condições ambientais. Essas gotas ainda possuem a capacidade de penetrar no dossel da cultura e se depositar nos locais de maior trânsito do inseto, contaminando-o de forma indireta ao entrar em contato com esses depósitos. No entanto, essa contaminação será mais ou menos eficiente dependendo do "tempo de vida da gota".

TEMPO DE VIDA DA GOTA

Uma gota é considerada "viva" enquanto permanece em estado líquido, pois nessa condição a transferência do produto para o alvo é mais eficiente. Durante a evaporação, o ingrediente ativo se acumula nas bordas da gota, o que reduz a área de contato com a folha e, consequentemente, a penetração (Figura 2).

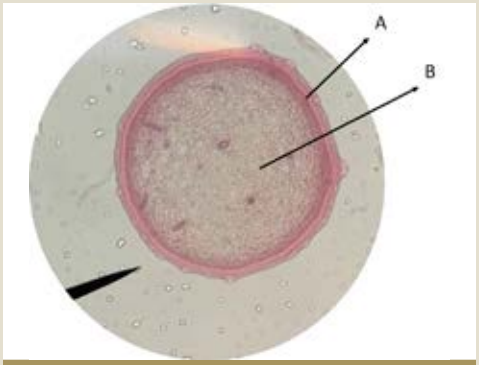


Figura 2. Resíduo seco deixado após evaporação de uma gota. (A) acúmulo de princípio ativo na borda; (B) baixa deposição de princípio ativo no interior da gota

Além disso, esse acúmulo deixa parte do produto mais exposto à degradação ou à lixiviação, prejudicando principalmente produtos que precisam ser translocados para atingir seu alvo, como os neonicotinoides usados no controle de ninfas de mosca branca. Já para produtos cuja ação ocorre principalmente pelo contato com o inseto, manter a gota líquida aumenta a chance de adesão ao corpo do inseto durante seu deslocamento sobre o substrato contaminado, elevando assim a eficácia do controle e a mortalidade da praga (Figura 3). Desta forma, o uso de adjuvantes ou óleos que retardem a evaporação é muito importante e ajuda a melhorar a eficiência de uma aplicação.

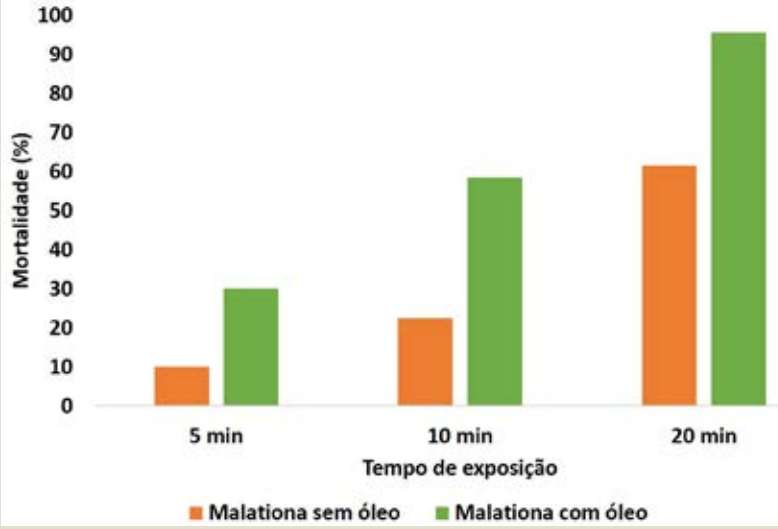


Figura 3. Mortalidade do bicudo-do-algodoeiro em função do tempo de exposição ao princípio ativo Malationa, com e sem óleo. (Soares, M.R.S., 2025)

1.3. Condições atmosféricas

Quando as condições meteorológicas não atingem os níveis mínimos exigidos para uma técnica de aplicação específica, podem ocorrer desde a distribuição inadequada do produto até a perda total da aplicação. Por isso, a observação de fatores como temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, estabilidade atmosférica e episódios de inversão térmica é fundamental para garantir uma aplicação segura e eficiente.

Assim, uma aplicação eficiente não se resume a gerar grande quantidade de gotas e depositá-las sobre a planta, mas, sim, compreender como essa massa de gotas interage com o ambiente e com o alvo biológico.

FATORES METEOROLÓGICOS LIGADOS À APLICAÇÃO

Temperatura - A temperatura da massa de ar influencia diretamente a capacidade de evaporação das gotas de uma neblina, especialmente em condições de baixa umidade relativa. Na prática, a temperatura é medida à sombra e a uma altura aproximada de 1 metro do solo. Um fenômeno muito importante para qualquer tipo de aplicação, terrestre ou aérea, é a formação de correntes convectivas pelo agrupamento de bolhas de ar quente que se desprendem do solo, carregando defensivos agrícolas na forma de vapor e depositando-os a grandes distâncias quando tendem a cair devido à redução da temperatura. Segundo a regulamentação do Ministério da Agricultura, a temperatura máxima permitida para aplicações com veículo água é de 30 °C.

Vento - De maneira geral, não se deve operar com ventos inferiores a 2 km/h ou superiores a 15 km/h. No caso das aplicações aéreas, além da velocidade, deve-se observar a direção do vento, sendo que o ideal é aplicar com o vento perpendicular ao sentido do voo, ou seja, soprando lateralmente à aplicação e facilitando a distribuição do produto aplicado.

Umidade Relativa do Ar - Assim como a temperatura, a umidade relativa (UR) representa a medição de um fenômeno atmosférico que é a capacidade que toda massa de ar tem de conter água em forma de vapor. Nas pulverizações, a UR, como a temperatura, é medida a 1 (um) metro de altura, à sombra, evitando-se locais úmidos como poças d'água e pátio de abastecimento. A UR mínima para aplicações aéreas com veículo água é de 50%.

Estabilidade atmosférica - O ar normalmente se move na horizontal, mas quando esse fluxo muda, a atmosfera pode ser estável, resistindo ao movimento vertical, ou instável, favorecendo turbulências. A estabilidade depende da temperatura, pois o ar quente é mais leve e sobe, enquanto o frio é mais pesado e desce. Esse comportamento influencia desde os solavancos nos voos até a aplicação aérea de defensivos agrícolas. A variação da temperatura com a altitude é chamada de gradiente térmico, que mostra o quanto a atmosfera resiste ao movimento vertical, recebendo o nome de Gradiente Térmico Ambiental (GTA) quando medido em um local específico.

INVERSÃO TÉRMICA

A temperatura do ar geralmente diminui com a altitude, e essa variação é chamada de gradiente térmico, que em média equivale a 1 °C a cada 100 metros. Quando esse padrão se inverte e uma camada de ar quente fica sobre o ar frio, ocorre a **INVERSÃO TÉRMICA**, fenômeno mais comum nas camadas baixas da atmosfera, próximas ao solo. Nessas situações, quase sempre com pouco ou nenhum vento, as gotas de pulverização demoram mais a cair e podem ser levadas para fora da área aplicada, causando perdas e contaminação de locais vizinhos. Como a maioria das inversões acontece à noite e nas primeiras horas da manhã, é preciso ter cautela ao aplicar defensivos nesses períodos, principalmente quando o vento está fraco ou ausente. Dados preliminares expostos na figura abaixo demonstram o fenômeno da inversão térmica durante o dia 04 de abril de 2025 (Figura 4).

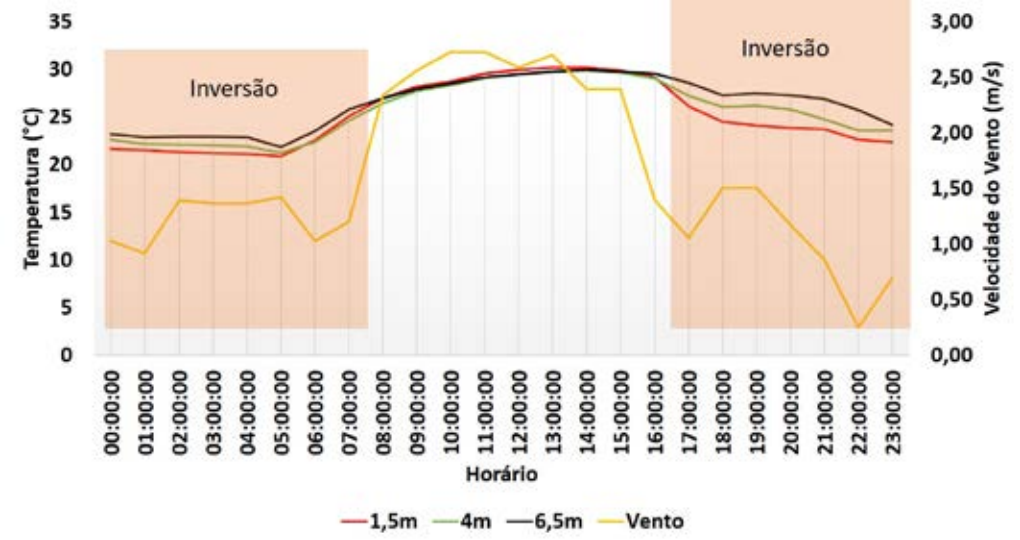


Figura 4. Registro de inversão térmica durante a noite, início da manhã e final da tarde, principalmente quando o vento está abaixo de 2 m/s

2. Modalidades de Aplicação

2.1. Aplicação terrestre

A aplicação terrestre de produtos fitossanitários é amplamente adotada em todas as culturas. Isso se deve, principalmente, à familiaridade com o equipamento e à relativa facilidade de operação dos tratores quando comparada às aplicações com uso de aviões. Junto a isso, avanços tecnológicos, como o uso de sistemas mais modernos auxiliados por GPS – capazes de realizar o desligamento de seções da barra em pontos pré-determinados sem vegetação-alvo (bicos de plantio), evitando desperdícios –, bem como o uso de sistemas de controle por ponta capazes de efetuar aplicações em taxa variável de reguladores de crescimento (levando em consideração mapas de crescimento das plantas gerados por amostragem a campo), além da versatilidade de pontas de pulverização ou ou de tipos de equipamentos, como bicos rotativos e pontas com uso de eletrostática, são fatores que contribuem para a permanência e ampla utilização da aplicação com barra.

Porém, mesmo com os avanços tecnológicos em relação a pontas, sensores e sistemas de automação das operações, alguns cuidados devem

ser tomados antes da aplicação, como: manter o equipamento em condições adequadas de uso, por meio de aferições e calibrações periódicas dos sensores e bombas, detecção e estancamento de vazamentos, desobstrução de pontas entupidas e substituição de pontas com desgaste excessivo, com o intuito de preservar a uniformidade da distribuição da aplicação ao longo da barra.

Durante a aplicação, deve-se observar alguns parâmetros que podem comprometer a deposição, como: velocidades excessivas, que, dependendo do terreno, podem fazer com que a barra de aplicação oscile muito, podendo causar desde danos mecânicos até má distribuição da aplicação, devido à variação da distância entre as pontas de aplicação e a cultura (Figura 5A). Velocidades muito altas também podem elevar demais a pressão nas pontas, gerando, muitas vezes, gotas muito pequenas, formando o que no campo se conhece como "véu de noiva" (Figura 5B), devido à suspensão das gotas que, dependendo da condição meteorológica no momento da aplicação, podem permanecer suspensas e derivar por longas distâncias ou evaporar, sem atingir o alvo.

2.2. Aplicação aérea

As aplicações realizadas por aeronaves geralmente são mais eficientes do que aquelas realizadas por equipamentos terrestres. Isso ocorre devido a questões logísticas e técnicas. Logisticamente, a aplicação aérea de produtos para o controle de pragas ou doenças é mais eficiente, pois consegue tratar, no mesmo intervalo de tempo, cinco a quinze vezes mais área do que um equipamento terrestre. As aplicações terrestres são realizadas, de maneira geral, com volumes que variam de 65 a 200 L/ha (havendo algumas exceções que variam de 9 a 30 L/ha), utilizando mais água e demandando toda uma onerosa logística para transporte e abastecimento dos pulverizadores. Em contrapartida, as aplicações aéreas são realizadas com volumes que variam de 2 L (sem utilização de água) a 30 L/ha e, consequentemente, demandam uma menor logística de reabastecimento.

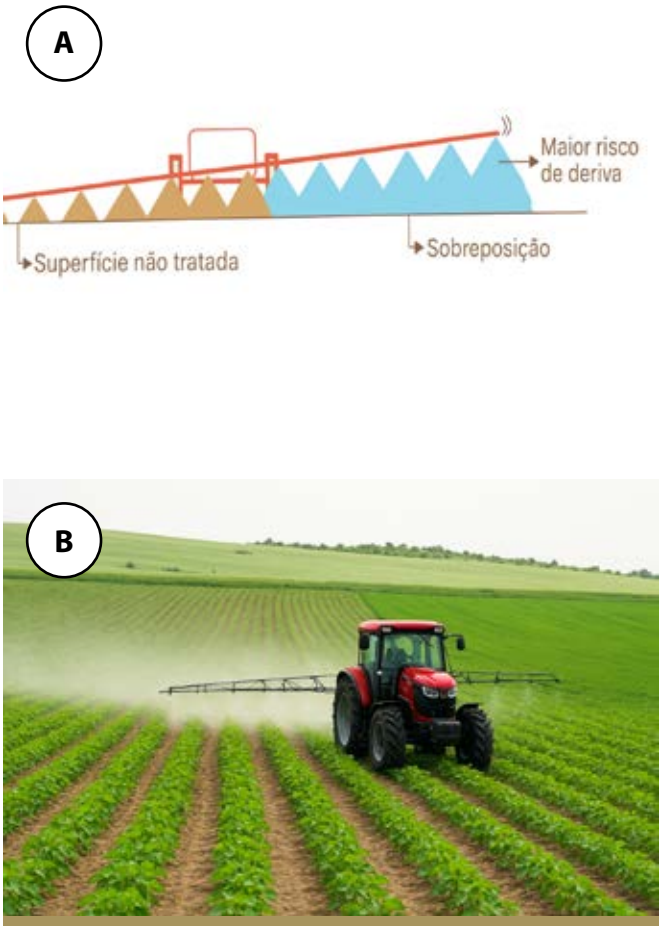


Figura 5. (A) Efeito da instabilidade da barra no plano vertical durante a pulverização (Adaptado de Minguela & Da Cunha, 2010); (B) Suspensão de gotas pequenas durante aplicação a campo, fenômeno conhecido popularmente como "véu de noiva" (Fonte: Adaptado de https://agriq.com.br/pulverizacao-agricola/)

Em caráter técnico, as intervenções aéreas são mais eficazes por permitirem a redução dos intervalos de reentrada na área, requisito essencial nas "baterias" de aplicações utilizadas no controle do bicudo-do-algodoeiro. Além disso, a utilização de volumes menores possibilita a formação de gotas com maior concentração de ingrediente ativo e facilita a produção de gotas menores, capazes de penetrar melhor no dossel da cultura, proporcionando maior eficiência de controle. No entanto, para usufruir de toda essa eficiência, é necessária a observação de alguns parâmetros, tanto na máquina (aeronave) quanto na aplicação em si.

BOAS PRÁTICAS PARA A REALIZAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO EFICIENTE

Posicionamento dos atomizadores: Deve-se realizar a distribuição correta dos atomizadores ao longo da barra de aplicação, evitando a influência dos vórtices de ponta de asa, bem como dos gerados pela ponta de hélice. Além disso, é importante observar que não se deve posicionar atomizadores logo atrás do pneu da aeronave, onde o equipamento poderá ser atingido por detritos ou lama e/ou sofrer interferência da turbulência gerada pelo atrito do pneu com o ar (Figura 6).

Figura 6. Atomizador com presença de lama por estar posicionado de forma errada (Fonte: Guilherme Rolim)

Temperaturas muito elevadas: Evitar aplicações em horários muito quentes, pois, mesmo usando adjuvantes e óleos que retardam a evaporação das gotas, períodos do dia muito quentes geralmente apresentam bolsões de ar quente que sobem de forma violenta, causando variações na direção e velocidade do vento, o que pode prejudicar a distribuição da aplicação.

Calibração específica conforme volume utilizado: Para cada volume de calda a ser aplicado, há uma calibração específica, com vazão, rotação dos atomizadores e malha ideais para atingir o tamanho de gota e a faixa efetiva desejados. Desta forma, ao realizar as calibrações, é importante fazê-las para os volumes de calda mais comumente praticados na unidade de produção, evitando falhas como a observada na Figura 7, onde há uma redução da faixa efetiva quando se realiza uma aplicação de 1,5 L/ha em um equipamento calibrado para fazer 1 L/ha.

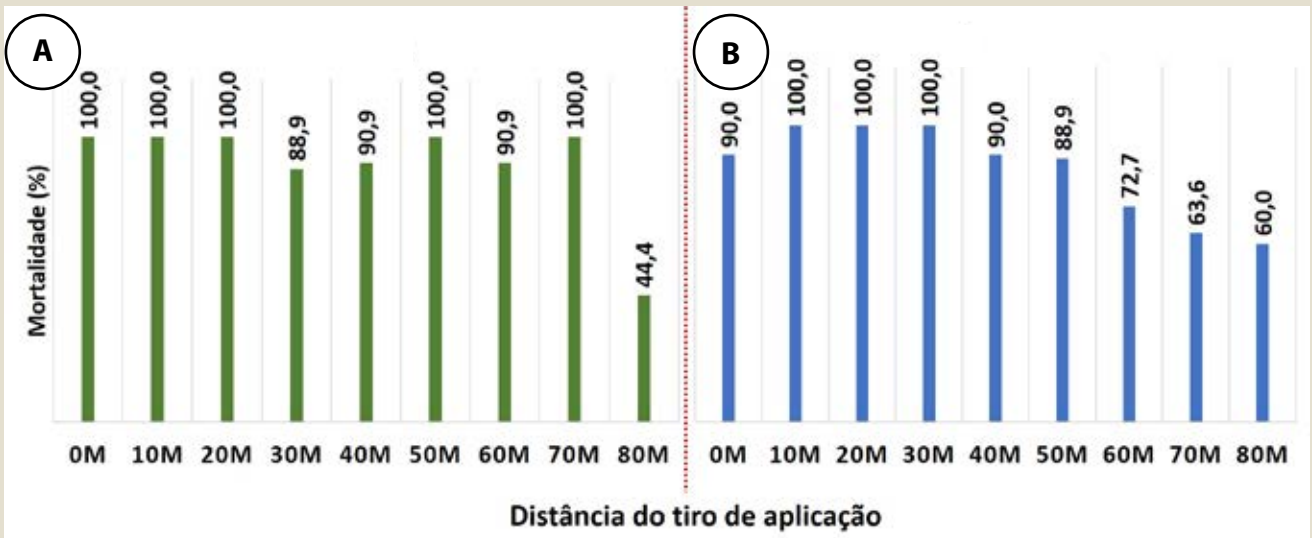


Figura 7. (A) Mortalidade do bicudo-do-algodoeiro dentro da faixa de aplicação usando aeronave calibrada para 1 L/ha; (B) Mortalidade do bicudo-do-algodoeiro dentro da faixa de aplicação usando aeronave calibrada para 1 L/ha, porém aplicando 1,5 L/ha

Aplicações próximas a obstáculos: Devido à segurança e restrições operacionais, as aplicações em talhões cortados por linhas de energia ou que fazem fronteira com matas ou edificações devem ser acompanhadas de perto, pois, ao desviar para evitar um desses obstáculos, a aplicação pode ficar comprometida nesses pontos, devido à deposição baixa e irregular, causando falhas no controle (Figura 8). Sendo recomendada, em muitos casos, a reaplicação nesses pontos com equipamento terrestre ou drone.

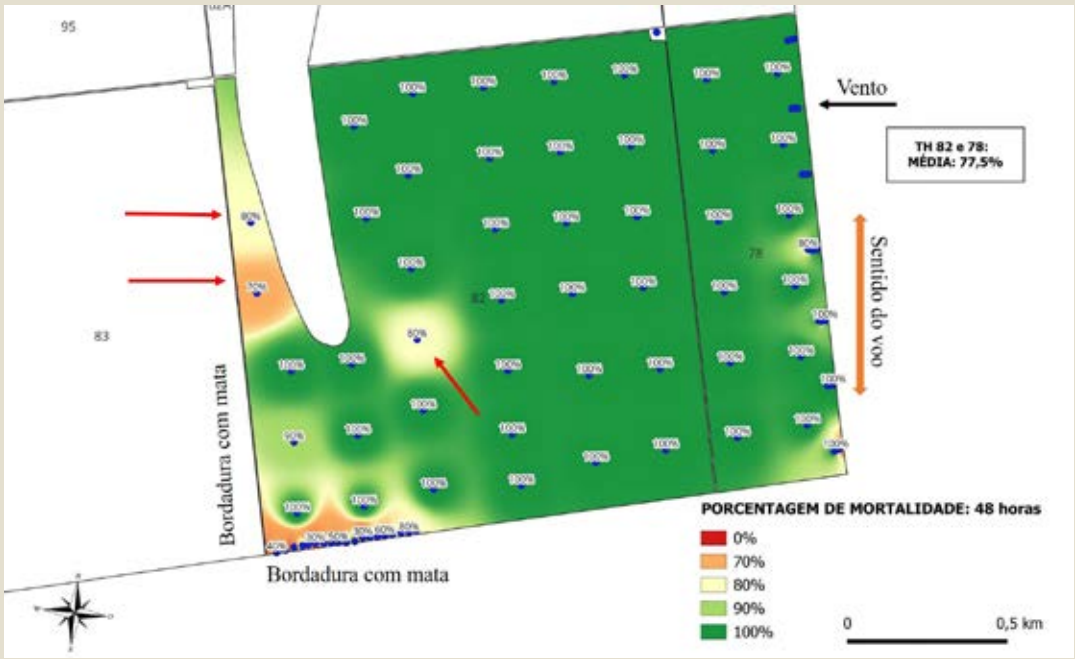


Figura 8. Baixa mortalidade do bicudo-do-algodoeiro confinados em armadilhas posicionadas na borda do talhão com a mata (ponto de arremetida da aeronave) (Fonte: Antenor Pereira do Amaral Neto)

Inversão térmica: Não realizar aplicações durante períodos de inversão térmica, pois, durante esse fenômeno, gotas pequenas demoram mais para se depositar e são frequentemente carregadas para fora da área alvo.

2.3. Aplicação com drone

A pulverização com drones tem se consolidado como uma tecnologia inovadora no setor agrícola, principalmente pela capacidade de reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência e a precisão das aplicações. Diferentemente dos métodos convencionais, os drones possibilitam uma aplicação localizada, direcionando o produto exatamente onde é necessário, o que contribui para a redução do desperdício e para o uso mais racional dos insumos agrícolas (Figura 9).

No estado de Mato Grosso, por exemplo, muitas unidades produtoras têm investido nessa tecnologia, especialmente para operações em áreas de bordadura próximas a fragmentos de mata, locais onde a aplicação aérea por aviões ou terrestre, por tratores, apresenta baixa eficiência ou até inviabilidade. Nesses cenários, o drone oferece maior flexibilidade operacional, por possibilitar acesso a áreas de difícil alcance.

No entanto, mesmo com o avanço tecnológico e o surgimento de drones mais modernos, com maior capacidade de carga e velocidade de aplicação, ainda existem desafios importantes, como a autonomia das baterias, a necessidade de mão de obra qualificada e, principalmente, a falta de conhecimento técnico sobre parâmetros fundamentais: velocidade de voo, altura de operação e volume por hectare, que ainda demandam muitas pesquisas, principalmente por serem muito particulares acada modelo de drone. Por isso, antes de iniciar o uso desse tipo de equipamento, é essencial que as equipes passem por treinamentos, participem de testes práticos e realizem aferições em campo para avaliar a qualidade da aplicação. Essas etapas ajudam a desenvolver senso crítico e fornecem suporte técnico para a tomada de decisão durante a pulverização.

Figura 9. Drone agrícola DJI T40 realizando aplicação (Fonte: José Vitor Vaz)

PONTOS IMPORTANTES PARA A REALIZAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO SEGURA E EFICIENTE COM DRONE

Treinamento das equipes: As equipes devem ser treinadas não apenas para aprender a dar comandos e pilotar a máquina, mas também sobre a importância da observação dos parâmetros meteorológicos, como temperatura, umidade relativa e, principalmente, velocidade e direção do vento. Também é importante ter conhecimento básico sobre a teoria da gota, bem como sobre o alvo que se pretende atingir com a aplicação.

Vento: A velocidade e direção do vento influenciam diretamente a distribuição da aplicação. Caso haja pouco vento e este sopre quase que paralelamente ao sentido do voo (soprando de frente ou por trás do drone), mesmo em uma aplicação com gotas finas, a aplicação tem grande chance de ficar comprometida devido à má distribuição dentro da faixa de operação (Figura 10). Desta forma, recomenda-se que as aplicações sejam realizadas com vento (respeitando os limites já conhecidos) soprando lateralmente no sentido da aplicação.

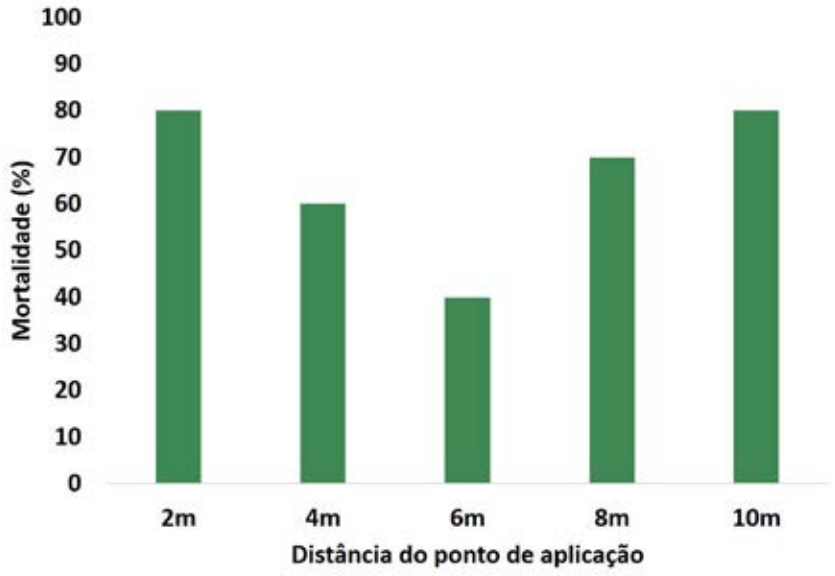


Figura 10. Variação da mortalidade dentro de uma faixa de aplicação devido à baixíssima incidência de vento (bicudos confinados em gaiolas)

Tamanho de gota *versus* faixa de deposição: Um erro que ocorre com frequência é tentar operar a mesma faixa de aplicação com diferentes tamanhos de gota. É importante lembrar que, quanto maior a gota, mais pesada ela é e, consequentemente, "cai" mais próxima do ponto de emissão. Por isso, há sempre relatos de aplicações que ficam muito boas e outras que apresentam "faixas sem controle", principalmente quando se realizam pulverizações com herbicida. Isso ocorre devido à manutenção de uma faixa padrão que funciona bem quando se aplicam gotas de 100 a 250 µm, geralmente usadas nos tratamentos com inseticida, mas que não é uma realidade quando se opera com gotas de 380 a 500 µm, usualmente praticadas nas aplicações com herbicidas. Desta forma, a recomendação é sempre fazer um ajuste da faixa, baseado em um teste de aferição a campo.

Aferição a campo: Independente do equipamento usado para aplicação, alguns métodos podem ser usados para aferir se a faixa estipulada está realmente sendo praticada a campo.

Para um efeito visual podem ser usados corantes, papel hidrossensível, traçadores fluorescentes, lâminas de vidro (usadas para medir deposição oleosa) ou o próprio alvo biológico, como, por exemplo, confinar insetos em gaiolas e contabilizar a mortalidade dentro de uma faixa de aplicação (Figura 11).

Figura 11. Métodos práticos de aferição da deposição a campo

Referências bibliográficas

ADEGAS, F.S.; GAZZIERO, D.L.P. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: **Tecnologia de produção da Soja**. Londrina: Embrapa Soja. 2020. 347p.

CASTILLEJO-GONZÁLEZ, I.L., GARCÍA-TORRES, L., PEÑA, J.M. The use of drones in agriculture: A bibliometric analysis. **Sensors**, 20: 2042. 2020.

CONAB (Companhia Nacional do Abastecimento). **Acompanhamento da Safra Brasileira – Monitoramento Agrícola 2024/25 – Décimo Primeiro Levantamento** – Agosto/2025. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, p. 123. 2025.

CUNHA, J.P.R.; TEIXEIRA, M.M. Escolha de bico para pulverização. **Cultivar Máquinas**, n.18, p. 1519. 2003.

FERREIRA, M.C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em cana-de-açúcar. In: **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Agronômica Ceres, v.1, p. 293-303. 2006.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. New York: Longman, 1982, 336 p.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**, Jaboticabal: Funep. 1990. 139p.

MINGUELA, J.V.; CUNHA, J.P.A.R. **Manual de aplicação de produtos fitosanitarios**. 1ª ed. Viçosa,: Aprenda Fácil, p. 588, 2010.

SUJII, E.R.; LÖVEI, G.L.; SÉTAMOU, M.; SILVIE, P.; FERNANDES, M.G.; DUBOIS, G.S.J.; ALMEIDA, R.P. Non-target and biodiversity impacts on non-target herbivorous pests, p. 133-154. In A. Hilbeck, D.A. Andow & E.M.G. Fontes, (eds.), **Environmental risk assessment of genetically modified organisms**, volume 2: methodologies for assessing Bt cotton in Brazil. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 400p.

THE BUREAU OF METEOROLOGY. **Atmospheric stability and the aerological diagram**. Disponível em: https://www.bom.gov.au/aviation/data/education/atmospheric-stability-aero-diagram.pdf. Acesso em: 03 Junho 2025.

YOUNG, S.Y.; YEARIAN, W.C.; KIM, K.S. Effect of dew from cotton and soybean foliage on activity of Heliothis nuclear polyhedrosis virus. **Journal of Invertebrate Pathology**, 29 (1), 105-111. 1977.

Marcos Vilela de M. Monteiro
MV Defesa Vegetal Ltda

CAPÍTULO 5.3

Sistemas avançados de aplicação UBV, BVO e SAM

Capítulo publicado originalmente na edição de 2019/20, e atualizado para a edição de 2025.

1. Estudo dos alvos (pragas, doenças e plantas daninhas)

As pragas, doenças e plantas daninhas que atacam os vegetais cultivados sempre foram motivo de preocupação da humanidade e, em algumas situações, provocaram e provocam calamidades de grande proporção trazendo fome e destruição quando ocorrem em caráter epidêmico.

Apenas a *Helicoverpa armigera* causou, no Brasil, danos de bilhões de dólares na safra 2013/2014.

Considera-se "alvo" a praga, doença ou erva daninha causadora dos danos materiais, assim como o microambiente no qual ela nasce, se desenvolve e se move. Os tratamentos fitossanitários evoluíram com os modernos defensivos, máquinas e tecnologias, como também os estudos das características das neblinas utilizadas e os alvos a serem atingidos.

Já existem informações sobre o desempenho dos diferentes tipos de neblina em relação a um determinado alvo na literatura e algumas universidades brasileiras estão fazendo pesquisas neste campo.

O primeiro passo para se ter sucesso em um tratamento fitossanitário é conhecer as características biológicas, morfológicas, fisiológicas, estruturais e epidemiológicas dos alvos. O conhecimento dessas características é fundamental para o sucesso de um tratamento fitossanitário. Grande parte dos insucessos se deve ao fato de que as neblinas aplicadas não possuem as gotas com maior eficiência biológica ou não atingem os alvos, por falta de conhecimento em tecnologia de aplicação por parte dos técnicos e operadores envolvidos, ou por deficiência dos equipamentos utilizados, ou ainda devido a aplicações realizadas em condições meteorológicas inadequadas.

1.1. Características das pragas

As pragas que atacam os vegetais são do reino animal e, em sua maioria, pertencem aos ramos Insecta ou Aracnídea (insetos ou ácaros), que aumentam a sua população de forma epidêmica devido à falta de controle por parte dos inimigos naturais.

Estes agentes de controle são destruídos pelo homem por práticas culturais mal orientadas, como o uso do fogo, a aplicação indiscriminada de inseticidas não seletivos e o cultivo de espécies vegetais que são hospedeiras naturais de pragas das culturas.

As moléculas desenvolvidas para eliminar os insetos têm também o potencial de matar uma grande gama de outros animais, inclusive o próprio ser humano, que também pertence ao reino animal.

Até o momento, mais de 800.000 espécies de insetos e cerca de 30.000 espécies de ácaros são conhecidas pelo homem, sendo, portanto, muito alto o potencial das ameaças fitossanitárias.

Esses organismos apresentam uma capacidade extraordinária de se multiplicar, devido à grande quantidade de ovos que podem gerar em curtos períodos. Por exemplo, uma mosca-branca põe 200 ovos e a helicoverpa, 3.000 ovos em um ciclo que varia de 30 a 45 dias.

Os insetos se adaptam a condições adversas de alimentação, clima e também aos tratamentos químicos por meio de resistência genética aos inseticidas.

Os estágios de infestação de uma praga são: infestação inicial – ocorrência de focos iniciais; disseminação; infestação generalizada; ponto de dano; e comprometimento da produção.

A evolução de uma infestação depende dos seguintes fatores: predisposição do hospedeiro; maior ou menor resistência das plantas; ocorrência do agente causal, que pode ser monitorada por levantamentos entomológicos e armadilhas; e condições climáticas favoráveis, como temperatura e umidade.

Seletividade: Algumas espécies de insetos e ácaros parasitam obrigatoriamente certas culturas econômicas, motivo pelo qual seus nomes comuns estão associados àquela determinada cultura, como a lagarta-rosada do algodoeiro, o ácaro-da-ferrugem dos citrus, a lagarta-do-cartucho do milho, entre outros.

Entretanto, a *Helicoverpa armigera* parasita mais de 200 espécies vegetais diferentes.

Adaptabilidade: Nos insetos, é grande e rápida; insetos que não são considerados pragas de culturas econômicas atualmente podem se tornar sérios problemas em poucos anos. Mais de 150 espécies de insetos parasitas de culturas em países próximos do Brasil são consideradas ameaças fitossanitárias à nossa agricultura.

Na realidade, o ser humano está perdendo a batalha para o controle das pragas dos vegetais, usando cada vez mais defensivos e obtendo resultados cada vez menos eficientes, restando como única alternativa a adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP), que reúne um conjunto de técnicas de grande eficiência no controle dos insetos.

O curto tempo de exposição das pragas aos produtos químicos diminui a eficiência desse tipo de controle, principalmente quando são usados sistemas de aplicação com baixos rendimentos operacionais.

É o caso do bicudo do algodoeiro, que só é atingido pelos tratamentos químicos na fase adulta, quando se movimenta na planta ou em sua proximidade para se alimentar ou reproduzir.

1.2. Características das doenças

As doenças dos vegetais são processos de infecção dos tecidos vegetais provocados por fungos, bactérias e vírus.

Enquanto as pragas pertencem ao reino animal, os agentes causadores de doenças pertencem ao reino vegetal, sendo considerados vegetais inferiores.

Os insetos medem de milímetros a centímetros de comprimento e, em alguns estágios de seu desenvolvimento, possuem mobilidade, podendo ser facilmente atingidos por uma neblina de pulverização ou por gotas contendo inseticidas depositadas nos alvos, que são os "microambientes" onde eles se movimentam e se contaminam.

Os fungos e bactérias têm tamanhos que variam de 5 a 20 micra (1 micra = 1 milésimo de milímetro) e não se movimentam, exceto por ação de mecanismos naturais como chuva, vento, orvalho, insetos, máquinas, animais ou homem.

Os fungos, por sua vez, só penetram nas folhas através dos estômatos, que são células diferenciadas, sendo 85% delas situadas na página inferior. O processo de germinação se inicia somente quando há um filme de água na superfície da folha por algumas horas, onde eles se encontram, e nas temperaturas mais adequadas para aquela espécie.

Os estágios de ataque de uma doença são: esporulação, disseminação, penetração e colonização.

Esporulação: É o estágio de liberação dos esporos pelas páginas superior ou inferior das folhas, ocorrendo por meio das "pústulas". Uma pústula da ferrugem do café pode liberar, em um ciclo (15-20 dias), cerca de 120 a 150 mil esporos. Já uma pústula da ferrugem da soja libera, em um ciclo (6 a 10 dias), cerca de 12 a 14 mil esporos.

Disseminação: Após liberados, os esporos são transportados pelo vento, orvalho, chuvas e pelos vetores naturais, incluindo o homem, e se depositam na página superior ou inferior das folhas. Se a folha estiver tratada com um fungicida de contato, o esporo se contaminaria e morreria no momento da germinação, que ocorre quando há um filme de água por um determinado número de horas, a uma temperatura adequada.

O fungicida deve estar presente na folha em uma quantidade mínima necessária para matar o esporo, que corresponde à quantidade recomendada pelos especialistas – não em quilos de produto comercial por hectare, mas em microgramas por centímetro quadrado depositados no alvo. Com o passar dos dias, o orvalho dilui os

fungicidas e diminui sua concentração no alvo até reduzir totalmente sua eficiência (uma noite de orvalho equivale a uma aplicação de 1.000 a 5.000 litros de água por hectare).

Penetração: Se o esporo tiver água suficiente na superfície da folha, ele começará o processo de germinação, emitindo um longo tubo de membrana bem fina à procura de um estômato para penetrar na folha. Nesse estágio, ele é extremamente vulnerável aos fungicidas de contato, porque o tubo germinativo é grande e sua membrana é permeável, facilitando a penetração do fungicida.

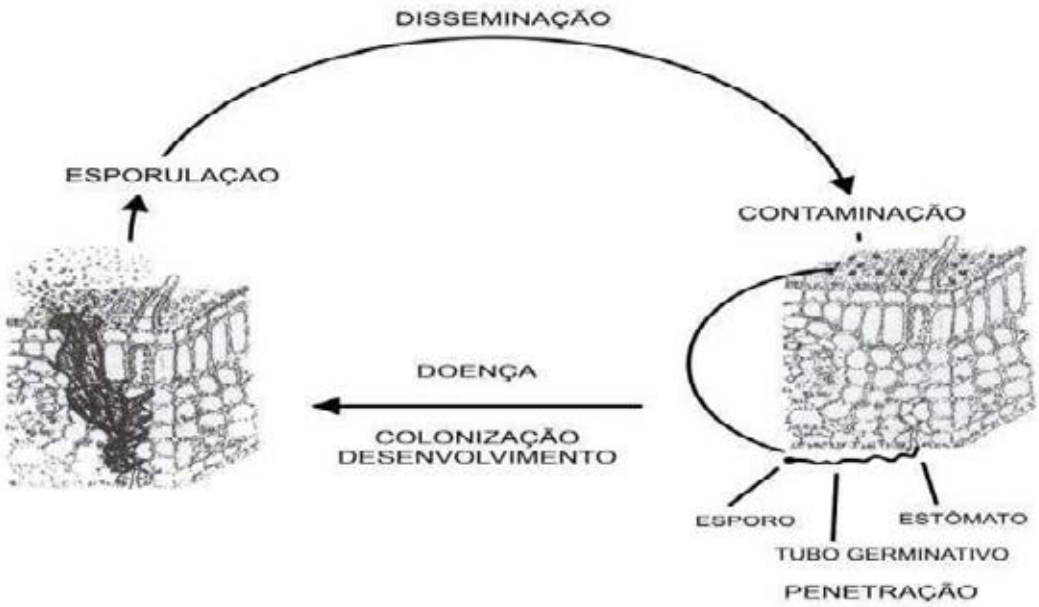
Colonização: Após penetrar na folha, o esporo passa a se multiplicar, destruindo os tecidos da planta e desenvolvendo o seu corpo de frutificação. Se houver uma concentração adequada de fungicida sistêmico na seiva da folha, ele inibirá o desenvolvimento da colônia, impedindo a formação de esporos. Sem a ação dos fungicidas, a colônia completa o ciclo, emite novos esporos em grandes quantidades e os libera na atmosfera no estágio de esporulação.

Para um controle químico adequado de doenças, é, portanto, muito importante obter a cobertura mais perfeita possível dos pontos de infecção (alvos), com uma quantidade adequada de princípio ativo (microgramas por centímetro quadrado), em uma formulação que diminua a lavagem pela chuva e orvalho.

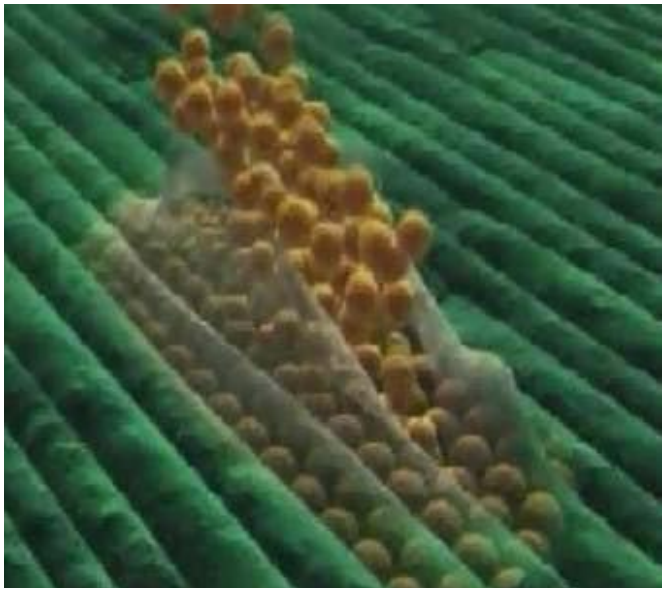
As formulações em óleos minerais ou vegetais são as mais adequadas para o controle de doenças, pois resistem melhor à lavagem, conferindo maior durabilidade ao fungicida nas folhas e melhorando a sua eficiência e capacidade de penetração.

Apesar do grande esforço físico e financeiro empregado nos tratamentos, o ser humano tem conseguido controlar as doenças das culturas econômicas com relativa eficiência, mesmo diante da rápida resistência de algumas doenças aos modernos fungicidas, como os triazóis.

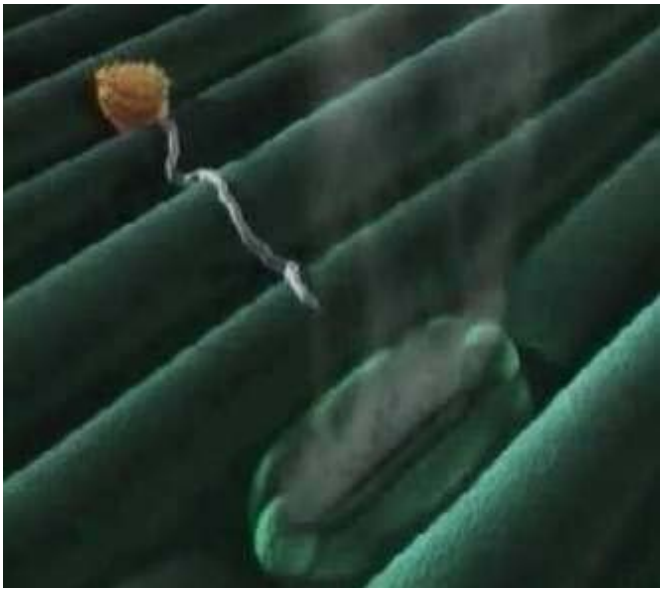
CICLO DAS DOENÇAS



Ciclo das doenças

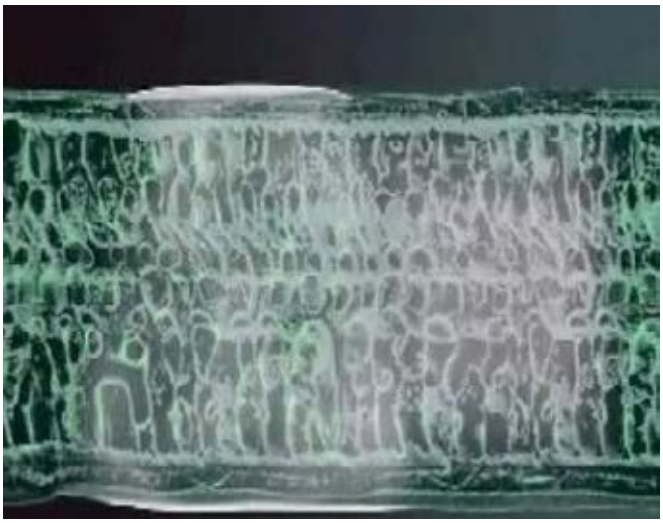


Esporulação através das pústulas



Tubo germinativo penetração

Colonização



Difusão dos fungicidas nas folhas

Não há nenhuma semelhança entre os alvos: insetos, ácaros, fungos, plantas daninhas, plantas adultas e frutos.

Não há nenhuma semelhança entre as plantas: algodão, soja, banana, milho, laranja ou eucalipto.

O primeiro passo para o sucesso de um tratamento fitossanitário é conhecer e monitorar em profundidade as características dos alvos a serem atingidos!

2. Teoria da gota

O processo de pulverização de um líquido necessita do conhecimento da teoria da formação das gotas e de sua distribuição no meio ambiente.

As pulverizações são constituídas por uma quantidade muito grande de pequenas esferas de líquido (gotas), a maioria com diâmetro menor que 0,5 mm (500 micrômetros). O diâmetro dessas gotas é medido em milésimos de milímetro ou micrômetros, cujo símbolo é µm (o plural de micron é micra).

O conhecimento do tamanho e da diversidade das gotas produzidas é muito importante para se obter um alto grau de eficiência biológica nas aplicações, além de reduzir a contaminação do meio ambiente.

Parâmetros de tecnologia de aplicação

Uma vez subdividido um líquido através de um processo mecânico, as gotas e as neblinas produzidas

são estudadas principalmente em função dos seguintes parâmetros:

VOL - Volume de Líquido Aplicado
DMV - Diâmetro Mediano Volumétrico
DMN - Diâmetro Mediano Numérico
AR - Amplitude Relativa (define o espectro de gotas)
DG - Densidade de Gotas
FD - Faixa de Deposição
PRD - Potencial de Risco de Deriva
PAC - Porcentagem de Área Coberta
IEB - Índice de Eficiência Biológica

Os parâmetros de tecnologia de aplicação mais usados atualmente são: **DMV, AR** e **DG**.

VOL - Volume de Líquido Aplicado: O parâmetro "volume" é medido em litros por hectare e pode ser interpretado em duas etapas:

1. **Volume Aplicado pelo Equipamento:** corresponde à quantidade de líquido aplicada em um hectare pelo equipamento pulverizador.
2. **Volume de Líquido Coletado no Alvo:** corresponde à quantidade efetivamente coletada pelos alvos a serem atingidos na área alvo, medida em nanolitros/cm^2 ou microgramas/cm^2.

Essa é a maneira correta de avaliar a eficiência de um tratamento.

"Se nós nos tornarmos prisioneiros da afirmação de que uma praga pode ser controlada com a aplicação de X gramas de ingrediente ativo por hectare, nós nunca evoluiremos da triste e baixa eficiência das aplicações nas lavouras de hoje. O que funciona não é a quantidade que os aviões ou os tratores aplicam, e sim a que atinge o alvo." (Prof. Vernan Joyce, Cranfield Institute of Technology, Inglaterra, 1976).

DMV - Diâmetro mediano volumétrico:
É o tamanho da gota dentro do espectro da pulverização que divide o volume aplicado em duas partes iguais: uma metade do volume pulverizado possui gotas com diâmetros maiores, e a outra metade possui gotas com diâmetros menores que o DMV (Figura 1)..

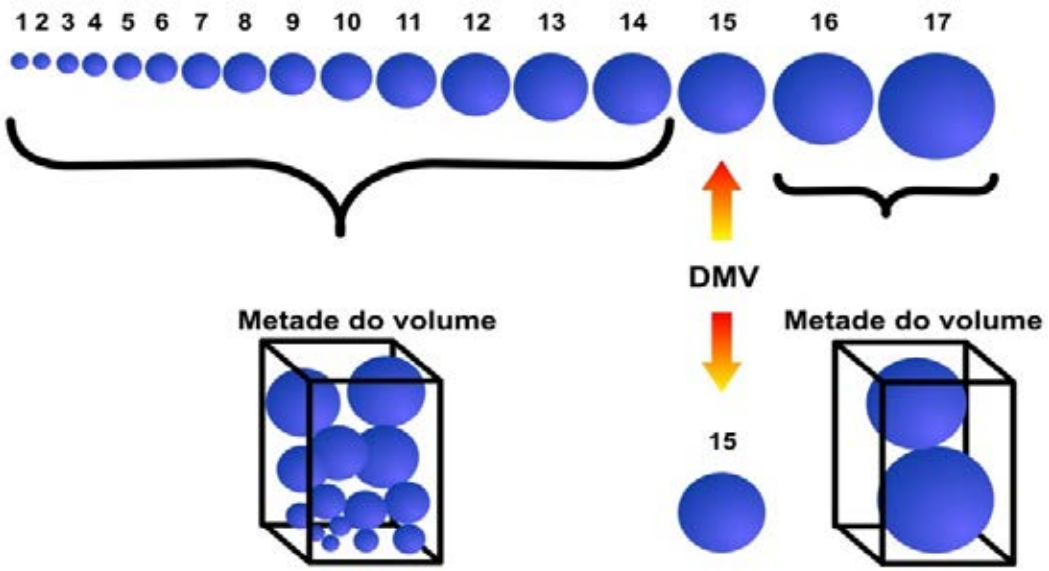


Figura 1. Representação gráfica do DMV (Fonte: OMS)

O Conselho Britânico de Proteção das Culturas (BCCP) classifica as pulverizações de acordo com o DMV, como segue:

DMV em µm	Classificação	Tamanho da gota
Menor que 50	Aerossol	Muito fina
51 -100	Neblina	Fina
101 - 200	Pulverização Fina	Média
201 - 400	Pulverização Média	Grossa
Mais de 400	Pulverização Pesada	Muito Grossa

A Sociedade Americana de Engenheiros Agrônomos e Biólogos - ASABE/EUA classifica as neblinas produzidas em função do diâmetro das gotas dentro do seguinte critério:

Diâmetro em µm	Pulverização
Menor que 50	Extremamente Fina
51 -136	Muito fina
137 - 177	Fina
178 - 218	Médias
219 - 349	Grossas

O DMV das pulverizações tem enorme influência (Figura 2).

- Na **penetração** da neblina na cultura.
- Na **deriva**, que é a porcentagem da neblina depositada fora do alvo.
- Na **eficiência biológica** da pulverização pela maior ou menor eficiência de captura das gotas pelos alvos.
- Na **produtividade** e **economia** das aplicações (Sistema UBV e BVO).

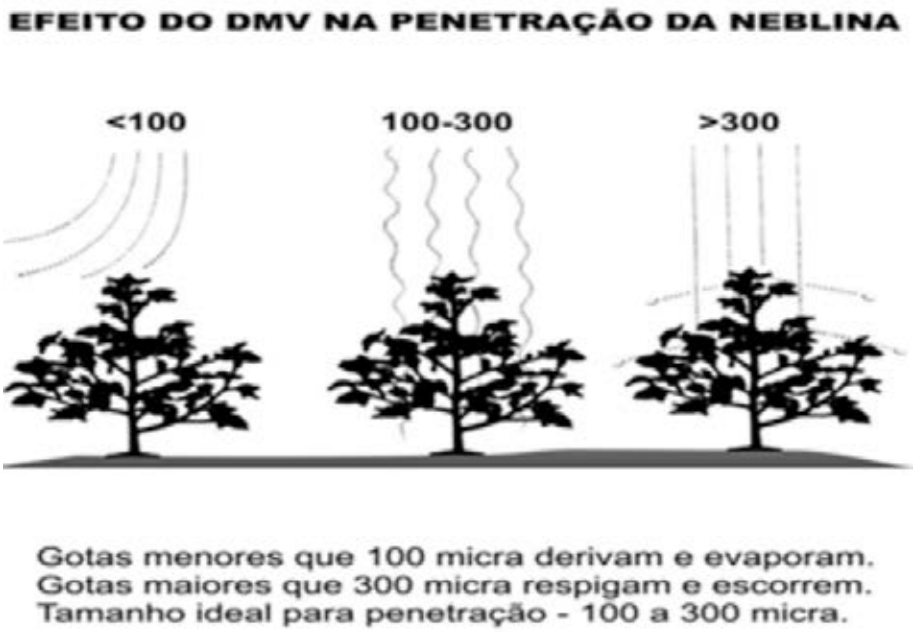


Figura 2. Eficiência da penetração da neblina (Fonte: Oklahoma State University- EUA- 1983)

Através da utilização de veículos não evaporantes, como óleos vegetais e melaço, podem-se realizar aplicações altamente eficientes e econômicas com Neblinas Homogêneas de Gotas Finas e Muito Finas. É o que ocorre quando se aplica no Sistema de Ultra Baixo Volume (UBV) ou no Sistema de Baixo Volume Oleoso (BVO).

Como as gotas não evaporam, ou evaporam menos do que nas aplicações realizadas apenas com água, pode-se reduzir o DMV das aplicações de 300 para 100 micra e aplicar apenas 1 litro por hectare, onde antes se aplicava 27 litros por hectare, conforme mostra a Figura 3, produzindo o mesmo número de gotas por litro aplicado.

Quando se usam os óleos ou melaços como veiculantes dos produtos químicos e água para a distribuição da calda em volumes maiores, faz-se a aplicação pelo Sistema de Baixo Volume Oleoso (BVO), com 5 a 10 litros por hectare nas aplicações aéreas e 20 a 30 litros por hectare nas aplicações terrestres.

Figura 3. Redução do volume, pela redução do DMV (Fonte: Centro Brasileiro de Bioaeronáutica, 2017)

DMN - Diâmetro mediano numérico:

É o tamanho da gota dentro do espectro da pulverização que divide o número total de gotas em duas quantidades iguais: metade das gotas tem diâmetro maior que o DMN e a outra metade tem diâmetro menor que o DMN (Figura 4).

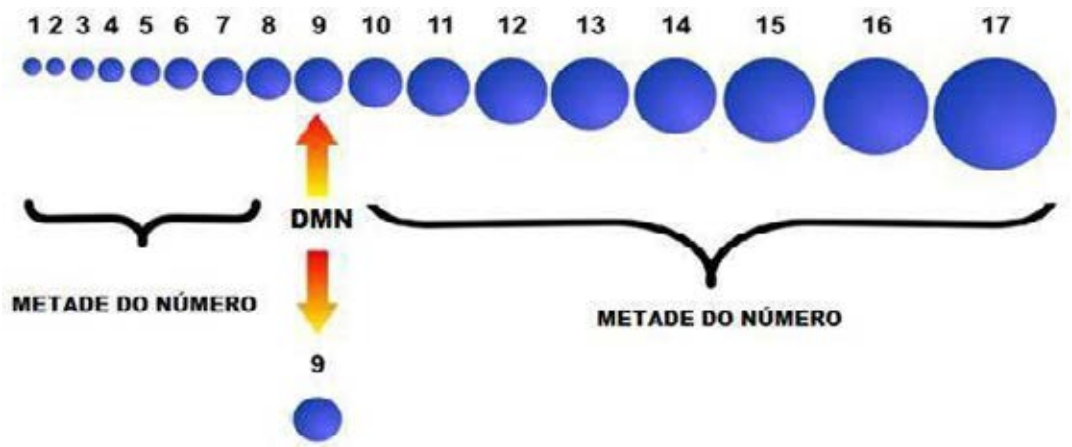


Figura 4. Representação gráfica do DMN (Fonte: OMS)

AR - Amplitude relativa:

O conjunto de gotas de diferentes diâmetros em uma pulverização é denominado Espectro de Gotas (EG). Se as gotas apresentarem uma diferença pequena entre os seus diâmetros, a pulverização terá um EG homogêneo; se a diferença entre os diâmetros das gotas for grande, o EG será heterogêneo.

A Amplitude Relativa (AR) é a medida da uniformidade do espectro (Figura 5). Os valores para determinação da AR são obtidos por cálculo utilizando os seguintes parâmetros:

- DV 0,1: diâmetro que representa 10% do volume acumulativo da pulverização, ou seja, 10% do volume aplicado tem gotas menores que o DV 0,1.
- DV 0,5: diâmetro que representa 50% do volume acumulativo da pulverização, ou seja, 50% do volume aplicado tem gotas menores que o DV 0,5; este é o Diâmetro Mediano Volumétrico DMV.
- DV 0,9: diâmetro que representa 90% do volume acumulativo da pulverização, ou seja, 90% do volume aplicado tem gotas menores que o DV 0,9.

A uniformidade do espectro é um importante fator na eficiência das aplicações, afetando tanto a eficiência biológica quanto a deriva das mesmas. Dois parâmetros servem para expressar essa uniformidade do espectro:

EXTENSÃO = Dv 0,9 - Dv 0,1

$$\textbf{AMPLITUDE RELATIVA} = \frac{\textbf{DV 0,9 - Dv 0,1}}{\textbf{Dv 0,5}} = \frac{\textbf{(Extensão)}}{\textbf{(DMV)}}$$

O valor da "extensão" do espectro representa 80% do volume da pulverização. O parâmetro Amplitude Relativa (AR) é útil como um índice não dimensional comparativo entre pulverizações.

Se o valor da AR for igual a 0 (zero), isso significa que as gotas são todas do mesmo tamanho, o que é uma pulverização praticamente inexistente. Quanto maior for o valor da AR, mais heterogêneo será o espectro da pulverização e menor será sua eficiência biológica.

As Amplitudes Relativas abaixo de 1 indicam uma pulverização com espectro homogêneo, que é característica dos Atomizadores Rotativos. As AR acima de 1 indicam a pulverização com espectro heterogêneo, que são características dos Bicos Hidráulicos (Figura 6).

Recentemente, foram desenvolvidos Bicos Hidráulicos de Alta Pressão (entre 4.000 e 7.000 libras por polegada quadrada) que possuem espectro muito homogêneo, capazes de aplicar produtos oleosos em gotas extremamente finas. Essas aplicações, pela sua complexidade técnica, ainda estão restritas ao controle de vetores de doenças humanas por via aérea.

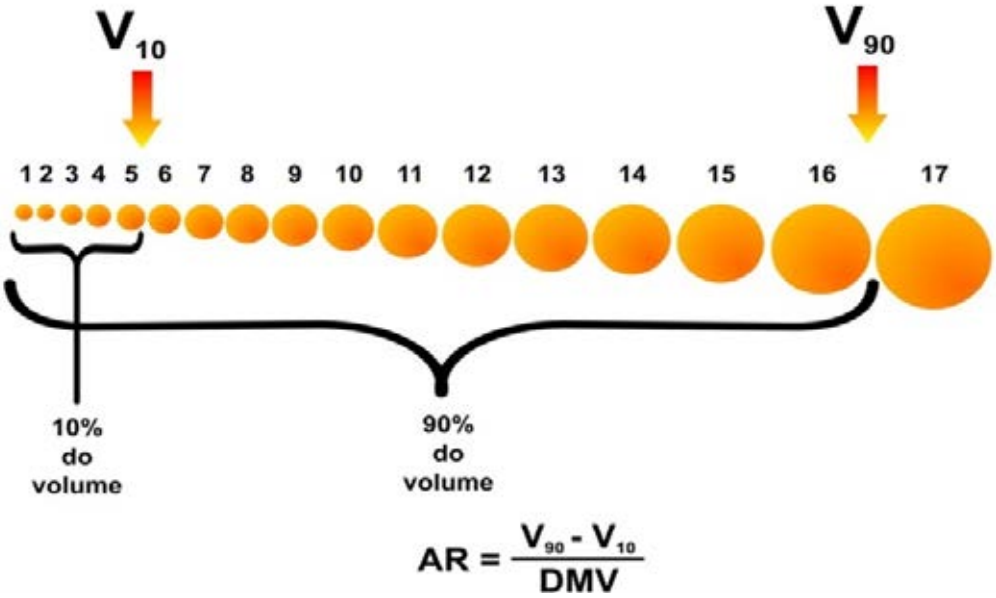


Figura 5. Representação gráfica da Amplitude Relativa (Fonte: OMS)

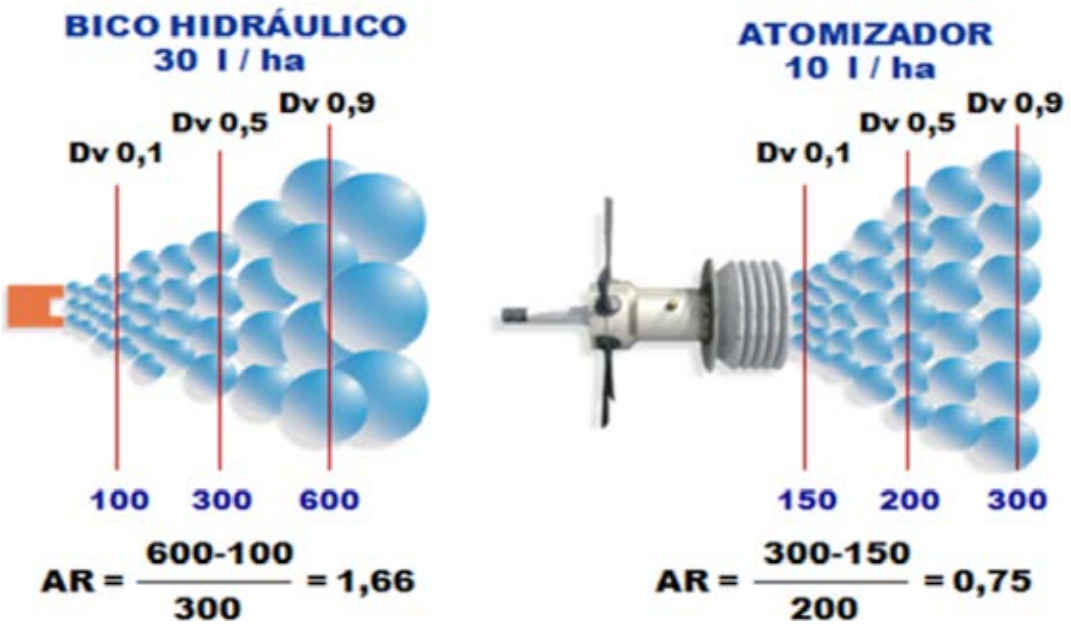


Figura 6. Comparação das Amplitudes Relativas dos bicos hidráulicos e atomizadores rotativos de disco (Fonte: Centro Brasileiro de Bioaeronàutica, 2017)

DG - Densidade de gotas:

Densidade de gotas é a quantidade de gotas por unidade de superfície (Figura 7). É considerada alta quando houver uma quantidade maior do que 20 gotas por centímetro quadrado ou baixa quando a densidade for menor que 20 gotas/cm^2.

Nas análises de neblina com base na DG, deve-se levar em consideração que os cartões hidrossensíveis disponíveis no mercado não capturam gotas menores que 50 µm, devido à baixa velocidade terminal das gotas.

Nas aplicações com bicos hidráulicos usando água como veículo, a porcentagem de produto em gotas abaixo de 50 µm representa menos de 5% do total aplicado, tendo pouco impacto na eficiência biológica das aplicações.

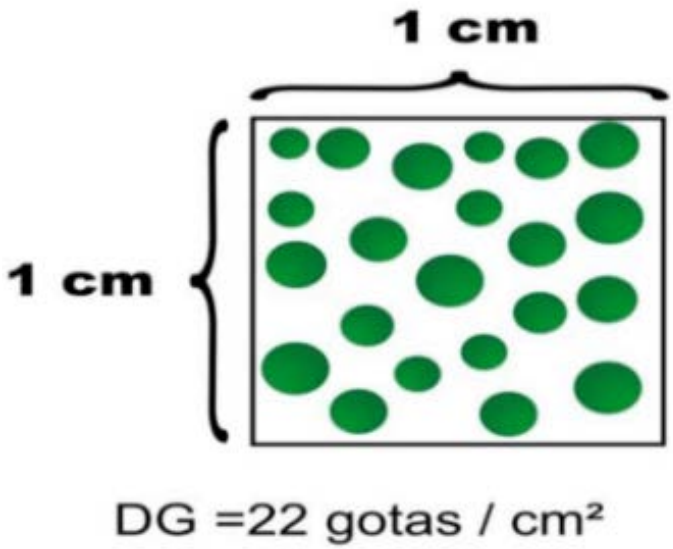


Figura 7. Representação gráfica da densidade de gotas

FD - Faixa de deposição:

Faixa de Deposição é a largura na qual a neblina produzida se deposita. Ela se classifica em:

- **FD Real:** é a faixa que corresponde ao depósito total de neblina.
- **FD Efetiva:** é a faixa na qual a neblina atinge os valores mínimos exigidos para ser eficiente naquele tipo de tratamento. Essa faixa é calculada através do Coeficiente de Variação (CV) do depósito ao longo da faixa (Figura 9).

No controle de pragas, a FD pode ser avaliada por meio da densidade de gotas (DG). No controle de doenças e ervas daninhas, a FD deve ser avaliada pela quantidade de princípio ativo por unidade de superfície, que corresponde ao volume de líquido aplicado naquela área de coleta.

Os gráficos da Figura 8 representam uma análise de deposição de uma aeronave Ipanema, mostrando a influência dos fatores aerodinâmicos (vórtices) através dos dois picos de deposição à direita e à esquerda da linha de voo (vórtices de ponta das asas), e da menor deposição no centro da passada (vórtice da hélice).

Dependendo das características da aplicação, pode-se admitir um Coeficiente de Variação (CV) na faixa de 30 a 40%. Nesse caso, a Faixa de Deposição Efetiva será de 15 metros.

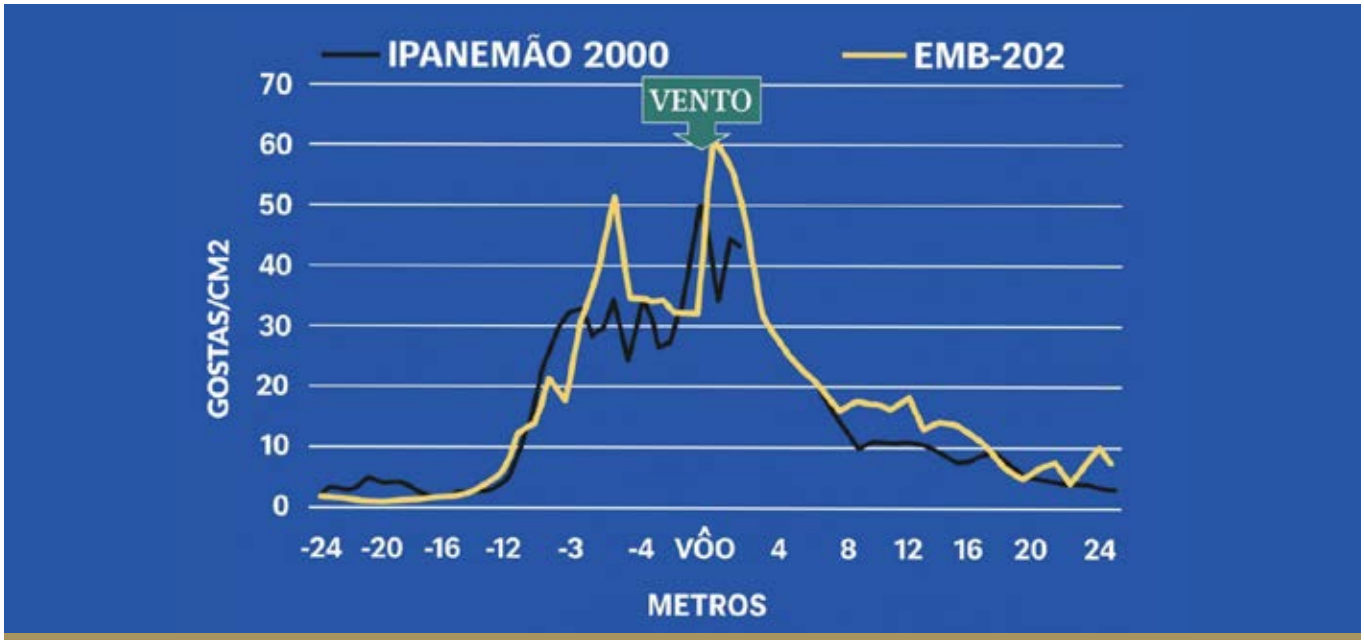


Figura 8. Determinação de Faixa de Deposição Real (FD)

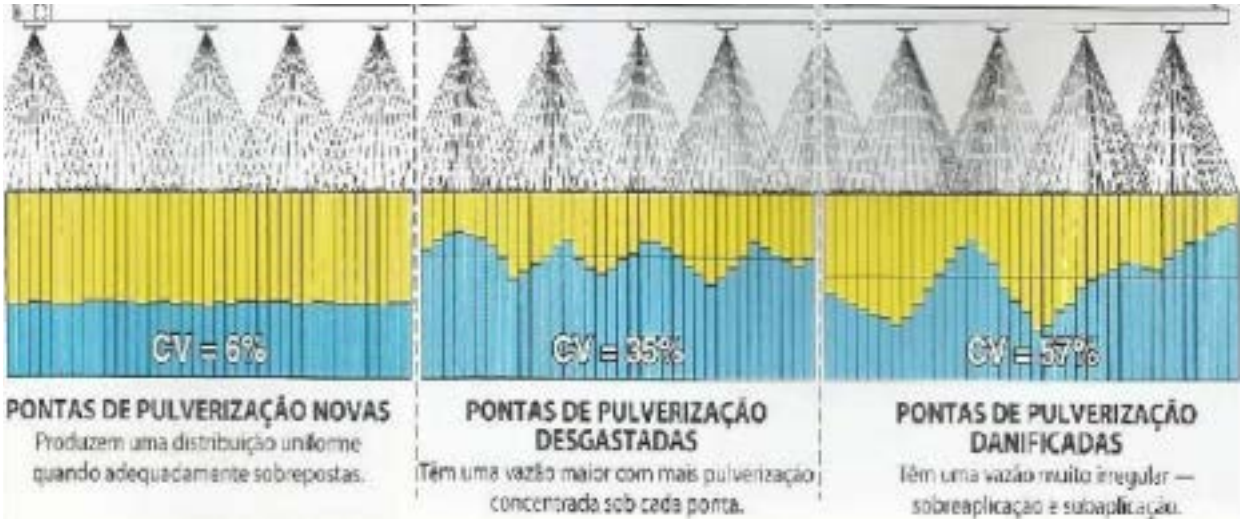


Figura 9. Faixa de Deposição Efetiva (FD) pelo Coeficiente de Variação (CV) em equipamentos terrestres

PRD - Potencial de risco de deriva:

Um critério usado na seleção de bicos e também como elemento comparativo entre os bicos é o potencial de risco de deriva para diferentes aplicações. O PRD é definido como a porcentagem do volume do líquido pulverizado, com veículo água, que está em gotas menores que 150 µm. Essa porcentagem aumenta rapidamente com a diminuição do DMV, conforme observamos na tabela seguinte.

Potencial de Risco de Deriva em função do tamanho de gotas

DMV	PRD
400 µm	5%
300 µm	10%
220 µm	22%

Esse fenômeno parece ser independente do sistema de pulverização. Pulverizações com DMV alto (seja por adição de adjuvantes, bicos específicos ou condições de operação), para as aplicações antideriva, apresentam porcentagens baixas de PRD por apresentarem DMV maior. Isso diminui os problemas de deriva nas aplicações de herbicidas, mas reduz drasticamente a sua eficiência no controle de pragas e doenças.

O volume pulverizado em gotas menores que 150 µm, medido através do PRD em pulverizações cujo veículo é a água, é considerado perdido por deriva, para efeito de eficiência biológica contra pragas, e pode se tornar um grave problema de poluição ambiental e contaminação de lavouras suscetíveis.

PAC - Porcentagem de área coberta:

A área coberta pelas gotas aumenta com a redução do Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) da pulverização e com a homogeneização do espectro.

Os sistemas modernos de análises digitais permitem o cálculo da porcentagem efetivamente coberta pela pulverização (Figura 10), denominada Porcentagem de Área Coberta (PAC).

Na aplicação de produtos sistêmicos ou de adubos por via foliar, a PAC é um índice importante para a análise das neblinas de pulverização. Quanto maior a porcentagem de área coberta, maior a eficiência biológica da aplicação.

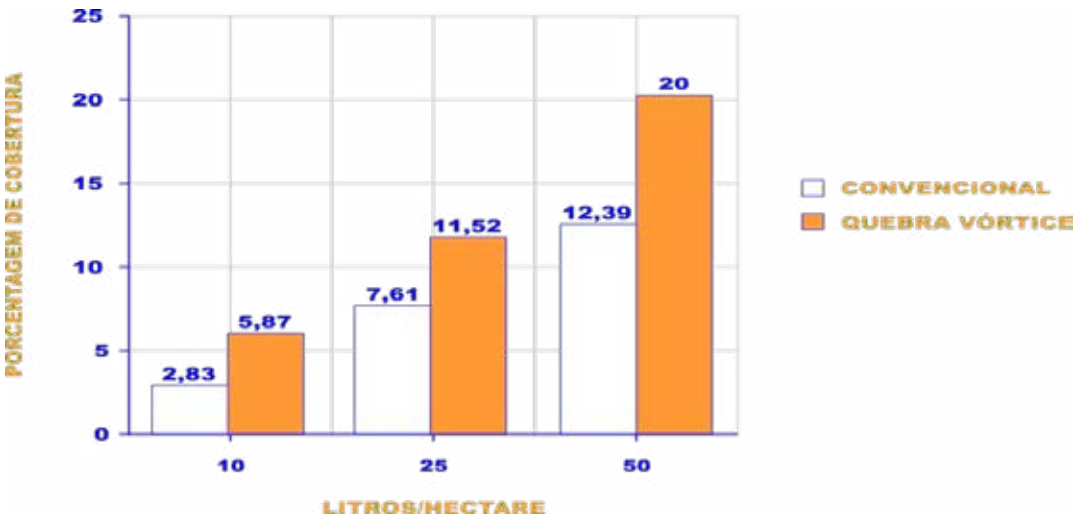


Figura 10. Influência do quebra vórtices dos aviões agrícolas no aumento da PAC (Fonte: Centro Brasileiro de Bioaeraunáutica, 2017)

Para o controle de insetos na fase larval e em locais de difícil penetração das neblinas, a faixa de DMV mais adequada situa-se entre 50 e 100 micrômetros.

Estudos de eficiência de coleta em função do DMV indicam claramente a existência de um diâmetro de maior eficiência das gotas para obtenção do melhor resultado biológico. Isso indica que existem mecanismos especiais de captura das gotas da neblina pelos diferentes alvos naturais. No caso das lagartas e das folhas novas dos ponteiros, a grande quantidade de pelos é um fator importante para a captura de gotas muito finas (abaixo de 70 micrômetros).

Desta maneira, uma folha nova de citrus, algodão, café ou soja possui um mecanismo de captura totalmente diferente das folhas de arroz ou capim. Da mesma forma, uma borboleta apresenta um mecanismo de captura completamente diferente de uma lagarta ou de um percevejo.

Para cada alvo a ser atingido por uma pulverização, existe uma faixa de Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) que proporciona o ótimo efeito biológico. Quanto maior for a porcentagem do líquido pulverizado dentro dessa faixa de ótima eficiência biológica, maior será a eficiência da aplicação.

Tamanhos de gota em função do Alvo

Alvo	DMV
Mosquito adulto	04 - 16
Folhas de pinheiros	11 - 35
Lagartas *(Helicoverpa armigera)*	12 - 48
Bicudo do algodoeira *(Anthonomus grandis)*	20 - 50
Larva de besouro japonês	20 -50
Ponteiros de algodão	20 - 80
Insetos voadores	10 -50
Folhagem de dicotiledôneas	40 - 100
Aveia selvagem - Folhas	100 - 150
Solo (Deriva reduzida)	250 - 500

Nos estudos do Instituto Nacional de Engenharia Agrícola (NIAE) da Inglaterra, observou-se um aumento de absorção de herbicidas pelas folhas de até seis vezes mais princípio ativo, quando as aplicações são feitas com o DMV correspondente ao diâmetro de maior eficiência biológica.

Equipamentos diferentes produzem DMV diferentes em função das calibrações, mas os Espectros de Gotas (EG) das neblinas produzidas pelos atomizadores rotativos são mais homogêneos do que os EG das neblinas produzidas pelos bicos de pressão hidráulica, conforme evidenciado nos gráficos da Figura 11.

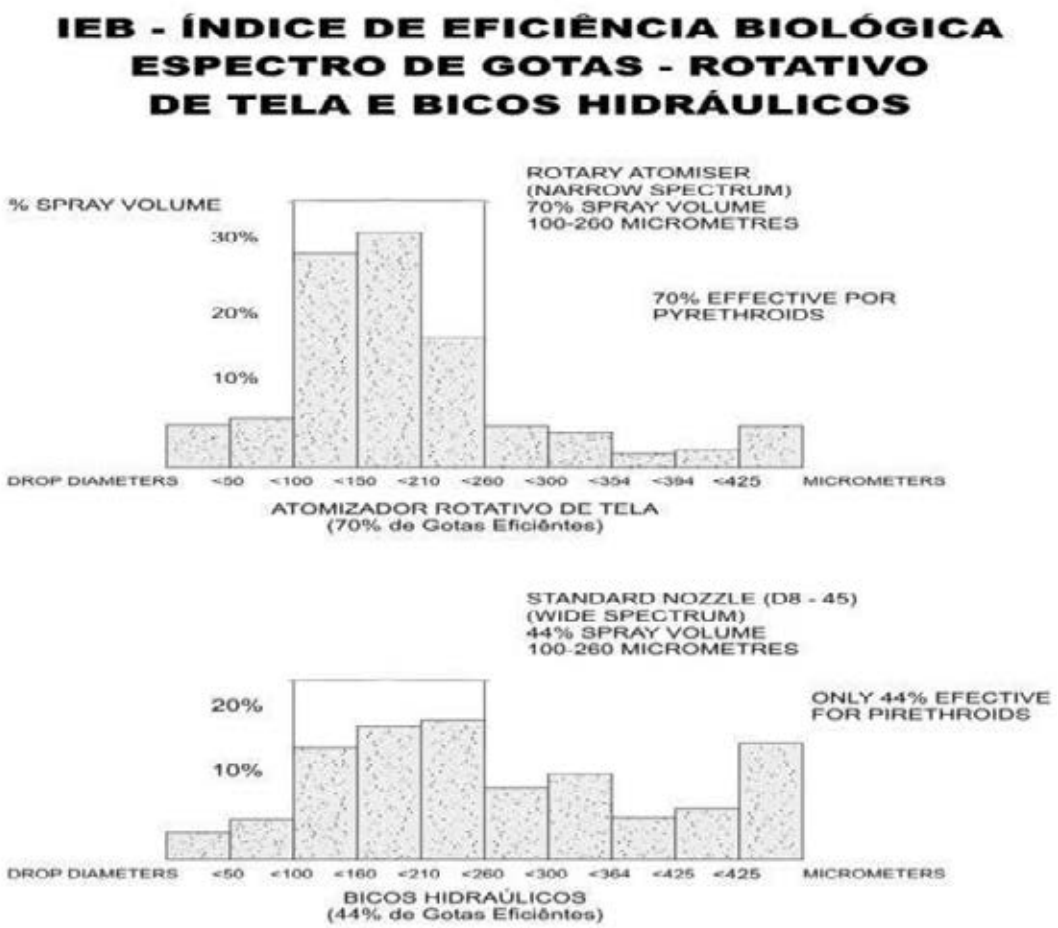


Figura 11. Comparação dos IEBs - Rotativos de Tela e Bicos Hidráulicos

Porcentagem do volume cumulativo por tamanho de gotas

Gotas de maior eficiência biológica*

Tipo de tratamento	DMV	Gotas/cm²
Inseticidas	80 - 100	20 - 30
Fungicidas	150 - 200	50 - 70
Herbicidas em Pós-emergência	150 - 200	30 - 40
Herbicidas em Pré-emergência	200 - 250	20 - 30

* Coleta em papéis hidrossensíveis.

Frutaria do japonês

Uma forma simples de analisar as gotas de tamanhos diferentes em uma neblina é compará-las com frutas de formato esférico (Figura 12). Fazendo uma coleção de frutas esféricas, começando com uvas e aumentando para limões, laranjas, maracujás e melões, é possível relacionar esses grupos de frutas com as gotas muito finas, finas, médias, grossas e muito grossas.

Para se comparar duas esferas de diâmetros diferentes, divide-se um diâmetro pelo outro e eleva-se ao cubo esse resultado.

O exemplo mais ilustrativo é: quantas uvas de 1 cm de diâmetro podem ser produzidas com um melão de 20 cm de diâmetro?

A resposta é 20/1 = 20. 20 ao cubo é = 20 x 20 x 20 = 8.000. Portanto, um melão equivale a 8.000 uvas em volume.

Não existe neblina composta por gotas de um único tamanho, mas com o auxílio das tecnologias de aplicação avançadas, é possível eliminar os melões e maracujás, e, com 20 litros por hectare, produzir uma neblina com a mesma quantidade de gotas que uma neblina de 400 litros por hectare. Esse é um dos princípios da Tecnologia BVO (Baixo Volume Oleoso).

No controle de mosquitos, vetores de epidemias urbanas, é necessária uma porcentagem da neblina produzida com diâmetros abaixo de 50 micrômetros, o que nos leva a imaginar o grão de soja e o grão de alpiste como parte da "frutaria do japonês".

Contudo, essa parcela de gotas muito finas não pode ser produzida com o veículo água, pois evaporam em poucos segundos e flutuam na massa de ar, apresentando grande tendência a derivar.

O controle eficaz de mosquitos vetores de epidemias urbanas exige, portanto, técnicas e equipamentos especiais para sua avaliação.

Figura 12. Forma simples e didática de realizar comparações entre os tamanhos das gotas usando frutas de formato esférico

Obtidos os dados dos parâmetros da neblina analisada e considerando o tipo de aplicação utilizaremos os seguintes padrões de interpretação:

Padrões adequados de DMV e DG

Tipos de aplicação	Gotas/cm²	DMV
Inseticidas	20 - 30	100 - 150
Herbicidas em pré-emergência	20 - 30	400 - 600
Herbicidas em pós-emergência	30 - 40	150 - 200
Fungicidas e adubos foliares	50 - 70	100 - 150

Cada alvo tem uma neblina de maior eficiência biológica para seu controle.

O segundo passo para o sucesso de um tratamento fitossanitário é conhecer e monitorar as características das neblinas produzidas.

3. Sistemas avançados de tecnologia de aplicação - UBV, BVO e SAM

3.1. Sistema UBV - Ultra Baixo Volume

A aplicação sistemática de produtos químicos, visando o controle de pragas e doenças vegetais, começou no início do século passado, mas somente experimentou uma evolução tecnológica significativa após a descoberta dos inseticidas organoclorados (BHC, DDT, Aldrin, Endrin) no fim da Segunda Guerra Mundial.

A grande eficiência desses produtos e a euforia do aumento de produção de grãos e fibras após a guerra levaram os americanos, canadenses, ingleses e franceses a procurar formas de aplicação mais rápidas e econômicas.

As aplicações terrestres em alto volume (500, 600, 1000 litros por hectare) evoluíram para aplicações em baixos volumes, aplicando de 100 a 200 litros por hectare, com a introdução de bicos especiais (bicos de jato cônico vazio) e diminuição das pressões de aplicação. As aplicações aéreas, que se iniciaram com volumes de 40 a 80 litros por hectare na década de 30, rapidamente passaram para os volumes de 10 a 20 litros por hectare no boom da aviação agrícola americana do pós-guerra, exceto nas regiões de temperatura alta, como o sudoeste americano.

Comparação com as Aplicações em Baixos Volumes (BV)

Na evolução dos sistemas de aplicação, dos altos para os baixos volumes, merecem destaque os seguintes aspectos:

1. O veículo de aplicação continuou o mesmo: água.
2. O princípio de produção de gotas permaneceu o mesmo: pressão hidráulica.
3. Os volumes de líquido por hectare foram reduzidos drasticamente.
4. As quantidades de defensivos por hectare não foram reduzidas.
5. Os rendimentos das máquinas e dos aviões aumentaram.
6. O tamanho médio das gotas produzidas diminuiu.
7. As neblinas produzidas com as novas técnicas eram também heterogêneas, ou seja, as gotas variavam muito em tamanho, por serem produzidas por bicos de pressão hidráulica.

Logo após a Segunda Guerra Mundial, os ingleses aplicaram na África técnicas de Ultra Baixo Volume (UBV), nas quais os defensivos são aplicados puros ou formulados em óleo, com volumes menores que 5 litros por hectare, para o controle do gafanhoto do deserto e da mosca do sono tsé-tsé, utilizando inseticida dieldrin dissolvido em óleo diesel.

Aplicações aéreas em "atomização" foram eficientes com dosagens de 8 a 12 gramas de princípio ativo, utilizando volumes de 0,8 a 1,2 litros de solução oleosa por hectare.

Os franceses desenvolveram, na África Francesa e nas Antilhas, entre 1948 e 1955, técnicas de aplicação de Baixo Volume e Ultra Baixo Volume, aplicando óleos minerais especiais com o uso de atomizadores pneumáticos, com volumes de 10 litros por hectare, visando o controle do mal de Sigatoka.

Mas a ordenação definitiva e divulgação da técnica de UBV, denominada em inglês Low Volume Concentrate (LVC) ou Ultra Low Volume (ULV), se deu em 1960, quando o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e a companhia American Cyanamid uniram-se em um programa de aplicação do produto Malathion em

volumes realmente ultra baixos, visando a erradicação do bicudo do algodoeiro por via aérea.

A aplicação aérea convencional era feita com 1 litro de Parathion, com 50% de princípio ativo, dissolvido em 30 litros de água por hectare, mas esta técnica não apresentava os rendimentos necessários para controlar a praga nas grandes áreas cultivadas com algodão nos Estados Unidos, uma vez que o *timing*, ou seja, o tempo ótimo de aplicação, era o maior problema no controle do bicudo no país.

Estudos no sistema hidráulico e nos bicos dos aviões permitiram a retirada total da água, aplicando-se apenas 2 litros de Malathion 50% por hectare. Em seguida, foram retirados os solventes e emulsificantes do produto comercial, e o Malathion passou a ser aplicado puro, a 1 litro por hectare, aumentando a sua eficiência contra o bicudo e outras pragas de culturas anuais, além de multiplicar o rendimento dos aviões e tratores.

Tanto no caso do bicudo como no controle do curuquerê do algodão e de outras pragas altamente suscetíveis ao Malathion, em UBV obteve-se controle em aplicações comerciais com apenas 300 a 500 cm^3 por hectare do produto puro.

Com a nova técnica de UBV, os aviões aumentaram a sua eficiência no controle das pragas, e os rendimentos foram multiplicados por 3, 4 ou 5 vezes em relação às aplicações convencionais.

A partir de 1963, a técnica foi divulgada no mundo inteiro e foi introduzida no Brasil em janeiro de 1965 pelo pesquisador Marcos Vilela de M. Monteiro, em São Joaquim da Barra, no estado de São Paulo, na Fazenda Água Fria, tendo sido um dos fatores decisivos no desenvolvimento da aviação agrícola brasileira naquela época.

Na evolução para o UBV, os seguintes aspectos merecem destaque:

- O veículo mudou. O produto é aplicado puro ou dissolvido em veículos não evaporantes,como óleos minerais e vegetais.
- O princípio de produção de gotas permaneceu o mesmo (bicos hidráulicos). Mas, em poucos anos, passou-se a usar atomizadores rotativos de tela ou de discos, com excelentes resultados. Sua baixa amplitude relativa produzia neblinas mais homogêneas, com maior quantidade de gotas por litro.
- Os volumes de líquido foram reduzidos drasticamente.
- As quantidades de defensivos por área foram reduzidas.
- Os rendimentos se multiplicaram.
- O tamanho médio das gotas (DMV) diminuiu.
- As neblinas produzidas com as novas técnicas eram também heterogêneas quando produzidas por pressão hidráulica.
- As gotas médias e grossas foram eliminadas.

O UBV, a partir de 1965, passou a ser aplicado com atomizadores rotativos, que produzem neblina homogênea, com tamanho de gotas controlado por meio da rotação do equipamento.

Conceito de Aplicação com Tamanho de Gota Controlado (Controlled Droplet Application - CDA)

Na década de 70, os ingleses, tanto nas instituições oficiais quanto na iniciativa privada, desenvolveram estudos de alto nível sobre técnicas de produção de neblinas com propriedades controladas, a partir de discos rotativos. Também estudaram as propriedades especiais dessas neblinas em relação aos resultados biológicos de suas aplicações.

Foram então desenvolvidos conceitos importantes, como o do Tamanho de Gota de Ótimo Efeito Biológico, ou BOSS (Biological Optimum Spray Droplet Size), que demonstrou que, para cada tipo de aplicação – inseticida, herbicida, adubo foliar etc. –, em função do tipo de alvo (folha larga, folha estreita, lagarta grande, lagarta pequena etc.), enfim, para cada condição de aplicação, há um tamanho de gotas que resulta em um ótimo efeito biológico.

Os atomizadores rotativos de tela e de disco têm a característica de produzirem, em uma determinada rotação, gotas de tamanhos muito próximos (espectro homogêneo). Por isso, permitem, nas aplicações em Ultra Baixo Volume, aumentar a densidade de gotas em relação aos bicos convencionais, mantendo a mesma quantidade de líquido por hectare.

Mantendo a mesma densidade de gotas, pode-se aplicar apenas uma fração do volume do líquido usado pelos bicos convencionais para obter os mesmos resultados.

Esses são os princípios fundamentais da tecnologia de aplicação com Gotas de Tamanho Controlado (CDA), cujo domínio nos levou à técnica de aplicação em UBV-UBD (Ultra Baixo Volume - Ultra Baixa Dosagem).

Aplicando uma gota de maior eficiência biológica e mantendo uma densidade de gotas eficiente, usa-se uma fração do volume de produto químico e aplica-se muito menos princípio ativo do que nas aplicações convencionais.

Em casos especiais, aplicou-se 25 vezes menos princípio ativo do que nas técnicas convencionais. Ao longo de 50 anos de convívio com as técnicas de UBV e UBV-UBD (1965-2015), o autor deste capítulo aplicou, em várias situações, apenas a décima parte das recomendações comerciais, com a mesma eficiência de controle. Este sistema, por razões óbvias, não se desenvolveu.

O sistema de aplicação aérea ou terrestre em volumes ultrabaixos, entre 0,3 e 5 litros por hectare, foi desenvolvido e divulgado no início da década de 1960 nos Estados Unidos pelo Departamento de Agricultura daquele país (USDA) e pela empresa American Cyanamid, visando o tratamento de grandes extensões a baixo custo e com altos rendimentos operacionais.

O desenvolvimento desse sistema teve como foco inicial o tratamento de lavouras de algodão para o controle do bicudo do algodoeiro, que continuava sem controle na época, apesar do grande número de aviões utilizados nas campanhas anualmente – mais de 1400 aeronaves agrícolas eram apenas utilizadas no controle do bicudo.

O principal motivo desse insucesso foi identificado como sendo o não cumprimento dos períodos certos de aplicação (*timing*), devido ao baixo rendimento operacional dos aviões e à baixa eficiência biológica das neblinas usadas nas aplicações feitas com altos volumes de água (20 a 40 litros por hectare) e gotas grossas (DMV entre 200 e 400 micrômetros).

Após ajustes nos sistemas hidráulicos dos equipamentos convencionais de aplicação aérea, foi possível aplicar produtos concentrados em volumes ultrabaixos, entre 0,5 e 2,0 litros por hectare, com gotas finas e muito finas (DMV entre 80 e 100 micrômetros). Foram conduzidos ensaios de controle do bicudo utilizando o produto Malathion puro.

No novo sistema, chamado Low Volume Concentrate (LVC, em inglês) e, no Brasil, de Ultra Baixo Volume (UBV), o Malathion que tinha baixa eficiência no controle desta praga se tornou o mais eficiente e o produto padrão no Programa de Erradicação do Bicudo. Ele se tornou o maior e mais bem-sucedido programa de tratamento fitossanitário do mundo. Em 1963, no primeiro ano do programa, foram aplicados 3 milhões de galões (12 milhões de litros).

A partir de 1963, o Sistema UBV se expandiu no mundo inteiro, sendo usado em várias culturas, florestas, pastagens e no controle de vetores de doenças humanas, com outras moléculas formuladas e aplicadas em óleos minerais ou vegetais para aplicações abaixo de 5 litros por hectare.

Com a necessidade do uso do UBV em lavouras pequenas e em regiões carentes das estruturas de aviação agrícola, foram desenvolvidos, a partir de 1963, equipamentos para aplicação terrestres, dos quais o mais importante foi o ULVA (Ultra Low Volume Applicator), desenvolvido na Inglaterra por Edward Bals e, até hoje, produzido e usado pelas comunidades agrícolas pobres da África, Ásia e Oriente Médio.

Até hoje, o sistema UBV e o Malathion são usados nos Estados Unidos para a manutenção do projeto de erradicação do bicudo, atualmente na fase de controle das reinfestações esporádicas de invasões de insetos provenientes do México.

O autor deste capítulo teve a oportunidade de introduzir este sistema no Brasil em 9 de janeiro de 1965 e continuar sua divulgação e aplicação nos últimos 60 anos com muito sucesso. Seus princípios e parâmetros formaram as bases do Sistema Baixo Volume Oleoso

(BVO), desenvolvido pelo CBB no ano 2000, e que é usado atualmente por mais da metade da frota de aviões agrícolas brasileiros (2.700 aviões em 2025).

Sistema UBV - Ultra Baixo Volume

Parâmetros do Sistema UBV - Ultra Baixo Volume

Essa tecnologia baseia-se nos seguintes parâmetros:

1. Aplicação de defensivos com volumes:
   – Aplicação agrícola: 1 a 5 litros por hectare com DMV entre 80 e 120 micra
   – Aplicação domossanitária no controle de vetores de epidemias urbanas: 0,3 a 1,0 litro por hectare com DMV entre 30 e 50 micra
2. Faixa de deposição:
   – Aplicação agrícola:
      – Aeronaves a pistão: 30 a 50m
      – Aeronaves a turbina: 70 a 100 m
   – Aplicação domossanitária:
      – Turbina monomotor: 200 a 300 m
      – Turbina bimotor: 400 a 600 m
3. Espectro homogêneo AR de 0,6 a 1,0;
4. Densidade de gotas: acima de 20 gotas por cm^2;
5. Características das Neblinas do UBV: gotas muito finas.

Condições meteorológicas para aplicações em UBV

– Temperatura: abaixo de 32 graus Celsius;
– Umidade Relativa: não influi;
– Inversão Térmica: **não aplicar**;
– Velocidade do vento: entre 3 e 20 km/h;
– Direção do vento: de través, com o mínimo de 20 graus em relação ao tiro;
– Estabilidade Atmosférica: entre 0,1 e 1,0, pelos padrões do Serviço de Florestas do Canadá.

Restrição legal para aplicações em UBV no Brasil

No Brasil, sem nenhuma justificação técnica, o sistema UBV foi normatizado pela ABNT como sendo toda aplicação feita com volumes abaixo de 5 litros por hectare, independentemente dos parâmetros envolvidos na aplicação.

Nessa condição, todo produto aplicado em UBV deve ser registrado no MAPA para este tipo de aplicação, o que desestimula os fabricantes de defensivos a se envolverem no difícil, demorado e caro processo de certificação oficial.

Até o momento, só há um produto registrado para aplicação em UBV no Brasil, que é o Malathion UL, e que pode legalmente ser aplicado nessa tecnologia. Todos os demais devem ser formulados para aplicações em BVO com volume igual ou superior a 5 litros por hectare.

Ultra Baixo Volume (UBV) é, portanto, o nome dado para aplicações de defensivos em volumes abaixo de 5 litros por hectare, em forma pura ou diluídos em um veículo oleoso. Entre 5 e 10 litros por hectare, podemos considerar aplicações como de Baixo Volume (BV). Nas condições do Brasil Central, em virtude das condições meteorológicas adversas – altas temperaturas e baixas umidades relativas do ar nos períodos de aplicação aérea –, essas aplicações somente devem ser feitas no sistema UBV ou com caldas contendo óleos emulsionáveis ou melaço.

Para essas regiões, o Centro Brasileiro de Bioaeronáutica (CBB) criou em 2000 e desenvolveu durante os últimos 25 anos o sistema de aplicação denominado Baixo Volume Oleoso - BVO®.

Comparada com as aplicações convencionais, a tecnologia UBV se mostrou, na prática, até duas vezes mais barata, mais eficiente no controle das pragas e, acima de tudo, duas a três vezes mais produtiva, considerando o rendimento dos aviões agrícolas. Áreas distantes de 20 a 30 quilômetros das pistas de operação podem ser tratadas economicamente com o sistema de Ultra Baixo Volume.

A partir da década de 1970, as aplicações em UBV no Brasil passaram a ser realizadas com atomizadores rotativos de tela ou de disco, devido à maior eficiência desses equipamentos quando comparados com os bicos hidráulicos, por produzirem uma maior porcentagem de gotas de maior eficiência biológica.

Entretanto, apesar de ser um recurso fantástico para o controle de pragas, o sistema UBV tem seus problemas naturais que fazem com que a maioria dos aplicadores volte para os sistemas convencionais.

Alguns desses problemas são:

1. Necessidade de apoio de pessoal qualificado e treinado.
2. Maior limitação do fator vento devido ao pequeno tamanho das partículas.
3. Dificuldade de formulação para aplicação

de defensivos formulados em pós molháveis.
4. Requer formulações especiais, registradas no MAPA, atualmente não disponíveis no mercado.
5. Menor consumo dos inseticidas, o que desencoraja os fabricantes e vendedores.

A partir da década de 1980, uma nova forma de aplicação de inseticidas em UBV se desenvolveu no mundo inteiro com base na utilização de óleos vegetais (ativados com solventes e emulsificantes) como veículo para inseticidas, fungicidas e herbicidas.

Ativados pela adição desses adjuvantes especiais, os óleos vegetais se misturam facilmente com os inseticidas no campo, formando emulsões invertidas quando misturados com água, permitindo as aplicações em baixos volumes com menor evaporação das partículas. Outro veículo usado é o melaço da cana, que transmite à calda características não evaporantes, aumentando consideravelmente a eficiência das aplicações e o seu efeito residual.

3.2. Sistema BVO - Baixo Volume Oleoso

Essa tecnologia baseia-se nos seguintes parâmetros:

1. Aplicação de defensivos com volumes de 5 a 20 litros por hectares;
2. Neblina homogênea e com tamanho de gota controlado (entre 80 e 150 µm);
3. Óleo mineral ou vegetal degomado e emulsificado como veículo do princípio ativo;
4. Água para completar o volume de aplicação mais eficiente para um determinado tratamento;
5. Mistura orientada do óleo emulsificante, defensivos e água, com agitação intensa e contínua, produzindo emulsão estável com baixo índice de evaporação.

As principais diferenças entre as aplicações convencionais e as aplicações em BVO® podem ser apreciadas na sequência (Figura 13).

Para a implementação dessa técnica no Brasil havia necessidade de desenvolver um equipamento rotativo adequado e de baixo custo, bem como os equipamentos e procedimentos de formulação dos defensivos com os óleos vegetais nas pistas.

O Centro Brasileiro de Bioaeronáutica (CBB) desenvolveu em 2000 para aplicações aéreas o Atomizador Rotativo de Disco Turboaero. O primeiro modelo foi lançado em 2000, e a partir de 2003 os atomizadores do modelo atual TA-88D6 (Figura 14), com 6 discos, têm uma capacidade de produção de gotas 50% maior do que os modelos iniciais.

Os atomizadores rotativos de disco Turboaero podem produzir até 90% do volume do líquido pulverizado em gotas de maior eficiência biológica, contra 70% dos atomizadores rotativos de tela e 44% dos bicos hidráulicos.

Esses equipamentos de excelente desempenho e baixo custo são ideais para aplicações em Ultra Baixos Volumes – UBV (1 a 5 litros/hectare) e Baixos Volumes Oleosos - BVO® (5 a 20 litros/hectare), com o uso de veículos oleosos.

Mais de 9.000 unidades do Turboaero estão em operação no Brasil, Mercosul e México.

Condições Meteorológicas para Aplicações em BVO®

- Temperatura: abaixo de 32 graus Celsius;
- Umidade Relativa: mínima 40%;
- Inversão Térmica: não aplicar nestas condições;
- Velocidade do vento: entre 3 e 20 km/h;
- Direção do vento: de través, com o mínimo de 20 graus em relação ao tiro.

Figura 13. Principais diferenças entre as aplicações convencionais e as aplicações em BVO®

Formulações para aplicações em BVO®

As formulações desenvolvidas no Sistema BVO® baseiam-se nos seguintes passos:

1. O óleo mineral ou vegetal de soja, se não for emulsionável, é misturado com um emulsificante para adquirir a habilidade de se misturar com a água.
2. O óleo emulsificado é misturado com os produtos químicos, envolvendo-os e evitando a evaporação dos mesmos.
3. Por último, mistura-se a água até o volume desejado para a taxa de aplicação pretendida, que depende do tipo de controle que se quer efetuar.
4. A ordem de adição dos componentes é fundamental para o sucesso da formulação, devendo ser sempre: óleo + produto + água.

Figura 14. O Atomizador Rotativo de Disco Turboaero - Modelo TA88D-8

Deve-se manter agitação intensa e contínua durante a mistura e durante a aplicação.

Os inseticidas formulados como CE (Concentrados Emulsionáveis) são facilmente absorvidos pelo óleo e ajudam na absorção dos outros componentes mais difíceis de se misturar com os óleos, como os SC (Soluções Concentradas), SAC (Soluções Aquosas Concentradas) e WG (Granulado Dispersível). Por isso, os produtos CE devem ser os primeiros a se misturar com o óleo.

No caso dos produtos formulados em WG, que é sólido, mas facilmente dispersível em água,

deve-se iniciar o preparo misturando muito bem uma quantidade do produto comercial em um volume igual de água para promover a hidratação do produto.

É através dessa água de hidratação que as partículas do produto formam as "micelas", que serão envolvidas pelo óleo até sua chegada ao alvo, diminuindo as perdas de princípio ativo, por evaporação da calda.

Os produtos mais difíceis devem ser adicionados no final da mistura e, às vezes, floculam ou permanecem em forma de grânulos suspensos na mistura; porém, dissolvem-se bem na mistura final, com adição da água e a agitação provocada pela motobomba, e posteriormente pela agitação dos aviões e tratores.

Os produtos devem ser adicionados separadamente e incorporados ao óleo por meio da agitação da motobomba, com cerca de um minuto de agitação para cada um.

Cuidados especiais devem ser tomados com os produtos de baixa dosagem, como o Nomolt (50 ml/ha), para que se dissolvam completamente na mistura e não fiquem concentrados em algum ponto da misturadora.

É raro, mas pode ocorrer a formação de gel em algum ponto da mistura; nesse caso, deve-se reduzir a quantidade do emulsificante e usar água como diluente, aumentando o volume da aplicação (litros/hectare) na mesma proporção.

Não se deve misturar água nos estágios intermediários de formulação para facilitar a mistura das soluções concentradas. Os resíduos dessas embalagens são adicionados no final da mistura.

Os produtos em Pós Molháveis e Granulados Dispersíveis (WG) podem ser divididos em duas categorias principais:

1. Produtos de baixa dosagem e fácil suspensão em água: dissolvem-se na proporção de 1 kg de produto em 0,5 a 1 litro de água, sendo adicionados na formulação oleosa. Exemplo: 18 kg de Saurus geram 25 litros de suspensão em água.
2. Produtos de alta dosagem e de difícil suspensão em água: dissolvem-se na proporção de 1 kg de produto em 1 a 2 litros de água, e são adicionados na formulação oleosa com agitação contínua.
3. Os micronutrientes líquidos têm se comportado muito bem nas formulações. Eles são dissolvidos na água; mede-se o pH dessa solução de micros, que será adicionada à mistura de defensivos já formulados em óleo, cujo pH é medido ao concluir a incorporação dos defensivos no óleo.

Se o pH da mistura de micronutrientes estiver entre 5,0 e 6,0, eles podem ser misturados com a emulsão de óleo e defensivos; se fugir desses limites, o pH deve ser corrigido.

Antes de elaborar uma nova formulação , é conveniente testar a sua estabilidade e o seu pH com auxílio de um pequeno laboratório de formulação, que pode ser montado com 2 ou 3 jarras graduadas de 1 litro , 3 ou 4 mamadeiras que servirão para medidas de precisão e simulação da agitação provocada pela motobomba. Usam-se 2 a 3 seringas de injeção de 10 e 20 ml para medir os produtos usados em menor quantidade.

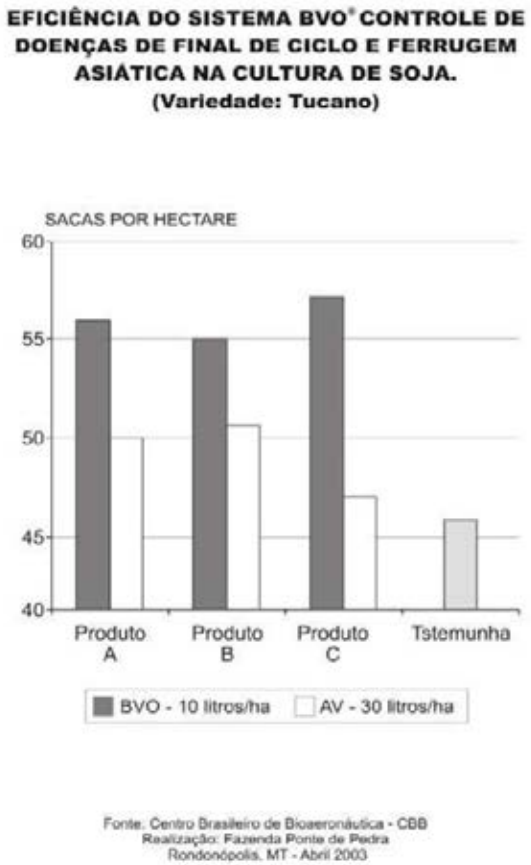
A técnica consiste em medir 10% de cada ingrediente e misturá-los manualmente com auxílio de um bastonete de madeira e, em seguida, agitá-los por um minuto na mamadeira.

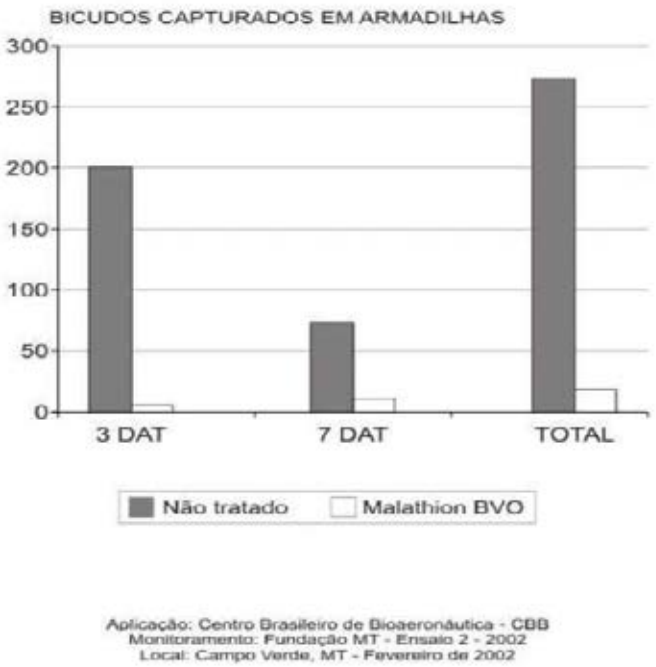
Ao final da mistura dos defensivos com óleo, mede-se o pH. Ao finalizar a mistura de micros, mede-se o pH. Se não houver micros, mede-se o pH da água.

Após a mistura final, mede-se o pH e avalia-se a estabilidade com a seguinte escala:

Estabilidade das misturas

Grau	Condição	Recomendação
1	Separação imediata	Não aplicar
2	Separação após 1(um) minuto	Não aplicar
3	Separação após 5 (cinco) minutos	Agitação contínua
4	Separação após 10 (dez) minutos	Agitação contínua
5	Estabilidade perfeita	Sem restrições





3.3. Sistema Atrai e Mata (SAM)

Novo sistema de aplicação com menor poluição, maior eficiência e menores custos.

A evolução da defesa fitossanitária levou ao uso de substâncias atrativas para os insetos, misturadas com dosagens muito baixas de ingredientes ativos, botânicos, biológicos ou químicos. Aplica-se apenas 1% das dosagens atuais de inseticidas, que é suficiente para matar por ingestão as mariposas atraídas.

Os atrativos, que são usados como veículos dos inseticidas, são líquidos de alta viscosidade e devem ser aplicados com uma tecnologia totalmente diferente das aplicações convencionais. Essa tecnologia foi sendo desenvolvida no Brasil entre 2018 e 2019.

Exploramos pouco as técnicas avançadas de armadilhamento e monitoramento, além de outros recursos usados no manejo integrado das pragas, como produtos botânicos e biológicos, atrativos alimentares e sexuais e sistemas de aplicação de altos rendimentos.

Em 2019, lançamos o Sistema Atrai e Mata (SAM), já em uso em vários pontos do Brasil, mas ainda sem parâmetros definidos, sem uma metodologia própria de coleta e avaliação, ou protocolos de configuração e calibração dos equipamentos recentemente desenvolvidos.

Com os trabalhos já desenvolvidos, adquirimos conhecimentos sobre o SAM, equipando e calibrando dezenas de aviões e tratores para essas aplicações. Os aviões aplicarão milhares de hectares por

dia sem restrições climáticas, exceto chuvas, cobrindo faixas de 100 metros e utilizando volume de 0,5 litro de um produto composto de néctar de flores, proteínas e açúcares, misturado com apenas 10 cm^3 de inseticida por hectare.

As manchas geradas são medidas em milímetros e, por isso, não há deriva externa. A carga química por hectare para o controle de lepidópteros será 100 vezes menor do que em aplicações convencionais, reduzindo consideravelmente a carga química no meio ambiente.

Assim como ocorreu com os sistemas de Ultra Baixo Volume (UBV) e Baixo Volume Oleoso (BVO), essa nova técnica, que chamamos de Sistema Atrai e Mata (SAM), apresentará grandes vantagens ambientais, econômicas e operacionais onde puder ser aplicada.

Com o uso dos atrativos alimentares ou sexuais e do Sistema Atrai e Mata, novas estratégias podem ser desenvolvidas para o controle das lagartas nas culturas econômicas no mundo todo (Figura 15).

Identificação dos alvos, locais de pouso, espécies e densidades das populações

Figura 15. Grande infestação de mariposas em Luís Eduardo Magalhães, BA - 2017-2018. Foram coletadas 1465 mariposas de várias espécies em uma noite

Dez adultos de *Helicoverpa armigera* podem produzir lagartas suficientes para causar danos econômicos significativos na lavoura do algodão, estimados por entomologistas ingleses em cerca de 10.000 lagartas por hectare no Sudão em 1975.

O monitoramento por armadilhas com atrativos é a alternativa mais eficiente e prática para identificar as espécies e quantidades de pragas nas lavouras.

Avaliação dos depósitos nas aplicações aéreas e terrestres

Análise das manchas e avaliação da mortalidade

Aeronave EMB-203 com sistema bico convencional

Manchas de 1 a 8 mm de diâmetro

Bico SAM 120 para equipamentos aéreos

Depósito do Bico SAM 120

Mariposas mortas no tiro = 1,1 por m²

Avaliação das aplicações do Sistema Atrai e Mata (SAM)
Parâmetros de tecnologia de aplicação (TA) para o Sistema Atrai e Mata

Os parâmetros utilizados nas aplicações dos sistemas convencionais foram estudados e adequados para serem usados nas avaliações das aplicações do Sistema Atrai e Mata (SAM).

1. Diâmetros das gotas:

- Diâmetro da maior gota - D Max;
- Diâmetro da menor gota - D Min.

O D max representa o diâmetro da maior gota, e o D min, o da menor gota. Valores maiores desses parâmetros indicam melhores características de atratividade e maior efeito residual da neblina aplicada, favorecendo a eficácia do controle da praga por meio do sistema SAM.

2. Diâmetro Mediano Numérico (DMN)

O Diâmetro Mediano Numérico (DMN) é o diâmetro que divide o número total de manchas coletadas em duas metades. Metade é constituída de manchas acima deste diâmetro e a outra metade, de manchas abaixo deste diâmetro.

Ele deve ser avaliado por meio das leituras dos diâmetros das manchas coletadas nas folhas das culturas no terço superior das plantas e nos 4 pontos cardeais na parte superior das plantas. Não havendo cultura, devem ser usados coletores fixos a 50 cm de altura com as placas posicionadas na horizontal.Devem ser medidas as manchas com diâmetro superior a 1 mm e identificados o diâmetro da maior mancha (D max) e da menor mancha (D min) do depósito. Esta avaliação é feita no centro da faixa de deposição do avião, na vertical dos bicos pulverizadores ou distribuidores

rotativos colocados no meio das asas do avião.

As leituras devem ser feitas com lupa conta-fio com aumento de 10 vezes, no visor de 10 mm de lado correspondente a 1 cm².

3. Amplitude Relativa Numérica (AR)

A Amplitude Relativa Numérica (AR) é o parâmetro que define a maior ou menor homogeneidade entre as manchas. Deve ser calculada com base na seguinte fórmula:

AR = (D max – D min) /Dmn

4. Densidade de Manchas (DM)

Definimos a Densidade de Manchas (DM) como a quantidade de manchas por dm² no centro da faixa de deposição.

É avaliada no centro da faixa de deposição da linha de aplicação do avião ou do trator. Para avaliação da Densidade de Manchas (DM), sugerimos a junção de oito placas coletoras de 50 x 100 mm no solo, que darão juntas a superfície de 4 dm².

Condições meteorológicas para aplicações: Sistema SAM.

- Temperatura: abaixo de 32 graus Celsius;
- Umidade Relativa: não Influi;
- Inversão Térmica: não Influi;
- Velocidade do vento: não Influi;
- Direção do vento: não Influi.

Aplicação sistema atrai e mata (SAM)

Dados da aplicação:

Local: Fazenda Nova França		
Município: Costa Rica		**Estado:** MS
Data: 07 de fevereiro de 2019		**Talhão Nº:** 6
Área tratada (ha): 210 ha		**Tempo de voo:** 20 min
Aeronave: EMB203 PR - BYB		**Pressão :** 25 PSI
Equipamento: Turboaero modificado		**Passo da hélice:** Ângulo mínimo
Configuração: 1 Atomizador por aeronave		**Ponta:** 5mm
Difusor (mm dos furos): 2mm X 36 furos		**Volume:** 0,5 litro/ha
Decolagem (hora): 18:15	**Pouso:** 18:35	**Tempo de voo:** 20 min
Velocidade de operação: 110 (m.p.h.)		**Altura da aplicação:** 5 m
Velocidade do vento (Km/h): 5 a 8 Km/h		**Fator Amsden:** 30 a 40
Direção do vento: N-NW		**Direção do tiro:** N-S
Temperatura do ar ºC: 30,1		**Umidade relativa:** 64,41 %
Informações adicionais: O **Atomizador Rotativo de Discos**, convertido para aplicar no Sistema SAM, passa a se chamar **Distribuidor Rotativo de Discos Turbo SAM.** **O equipamento foi colocado na metade da envergadura da asa direita.**		

Análise dos depósitos

Volume = 0,5 l/ha	**AR** = 2,57
Dmax = 8,2	**Densidade** = 9,25/dm²
Dmin = 1,0	**DMN** = 2,8 mm

Referências bibliográficas

CENTRO BRASILEIRO DE BIOAERONÁUTICA. **Compêndio de Aviação Agrícola**; Edt. CBB, 4ª Edição. 2017.

CENTRO BRASILEIRO DE BIOAERONÁUTICA. **Manual de Operação e Manutenção do Turboaero modelo TA88D-8**.

MONTEIRO, Marcos Vilela de. Tecnologia de Aplicação – Sistemas UBV-BVO e SAM. **Monografia** sobre os Sistemas Avançados de Tecnologia de Aplicação. 2019, 28 pp.

Aldemir Chaim
Embrapa
Meio Ambiente

CAPÍTULO 5.4

Pulverização eletrostática para uso agrícola

Capítulo publicado na edição de 2025.

A tecnologia de aplicação de defensivos praticada atualmente surgiu no século XIX, tendo permanecido sem um aperfeiçoamento significativo durante todos esses anos. As moléculas de defensivos evoluíram bastante, principalmente em questões de segurança toxicológica humana e ambiental.

Atualmente, vários fatores influenciam a eficiência das aplicações de defensivos, entre os quais se incluem as próprias recomendações dos fabricantes, o tamanho das gotas, o tipo de alvo, as condições meteorológicas, os bicos de pulverização e a aferição das calibrações das deposições nos alvos. A falta de compreensão da interação desses fatores tem provocado desperdícios de produtos e contaminação ambiental, com severas críticas da sociedade ao processo de tratamento fitossanitário.

A pulverização eletrostática se apresenta como uma alternativa promissora para aumentar a eficiência das pulverizações. Infelizmente, existe uma exploração predatória de tal tecnologia, pois, na grande maioria dos casos, equipamentos eletrostáticos são colocados no mercado sem nenhum critério técnico, e até mesmo sem compreensão de como a eletrostática funciona. Assim, este capítulo pretende trazer a experiência de mais de 40 anos de pesquisas empíricas lastreadas em conceitos técnicos da física envolvidos nos processos de eletrificação e deposição de gotas com carga eletrostática.

1. Fundamentos básicos da eletrostática

Eletrostática é um campo da ciência da física repleto de oportunidades para novas aplicações, assim como de efeitos que precisam de melhor explicação.

O processo eletrostático de eletrificação de gotas apresenta uma série de benefícios para as pequenas gotas. Para se entender como ocorrem as atrações entre gotas eletrificadas e alvos, é necessário conhecer as duas leis básicas da eletrostática: Lei nº 1 - cargas de polaridades opostas se atraem e semelhantes se repelem; Lei 2 - a carga de um corpo ou nuvem de partículas carregadas induzirá uma carga elétrica igual e oposta em algum outro corpo condutor aterrado próximo. Neste último caso, serão formadas linhas de fluxo, semelhantes às linhas dos polos de um ímã. Gotas de uma nuvem carregada próxima a um corpo aterrado apresentarão a tendência de se movimentarem seguindo as linhas de fluxo, em virtude da primeira lei básica da eletrostática. Devido à natureza curvilínea das linhas de fluxo, as gotas projetadas por um bico poderão atingir todos os lados do corpo aterrado. A força de atração de uma partícula carregada para a planta é composta de duas partes. A primeira é devida à ação de atração criada pelo campo eletrostático da própria partícula em relação à sua aproximação da superfície da planta. A segunda parte é a ação das forças do campo eletrostático e da nuvem de partículas criadas pelo bico de pulverização sobre o campo da carga da gota. Se os campos elétricos forem direcionados para a planta, as gotas se projetarão sobre a sua superfície.

Em distâncias mais curtas, uma gota eletricamente carregada será atraída por alguma superfície seguindo um

princípio denominado "força de atração da imagem". Considerando uma pequena esfera carregada se aproximando de uma superfície aterrada, a força de atração da esfera para a superfície é dada pela lei de Coulomb para cargas pontuais de sinais diferentes. Nesse caso específico, uma segunda carga necessária para a aplicação da Lei de Coulomb é uma imagem da carga real da esfera, localizada atrás da superfície aterrada, com sinal oposto à carga real (Figura 1). A segunda parte da atração, denominada "campo de força", ocorre porque a carga oposta à da gota, induzida na planta, cria a situação da Lei nº 1. Neste caso, a força do campo é dada por F = EQ, onde F é a força de atração (Newtons), E é o campo eletrostático (V/m) e Q é a carga (Coulomb).

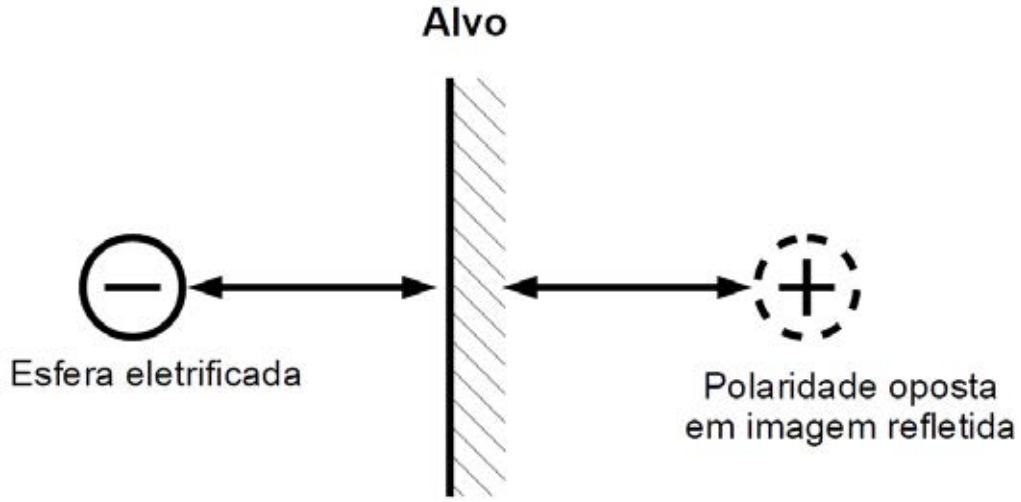


Figura 1. Imagem da carga real da esfera, localizada atrás da superfície aterrada, com sinal oposto à carga real

A eletrostática é uma classe de fenômenos que se reconhece pela presença de cargas elétricas, estacionárias ou em movimento e pela interação dessas cargas, sendo essa interação unicamente em razão das próprias cargas e de sua posição, e não em razão de seu movimento. Para compreensão da eletrostática, é necessário entender que a matéria é constituída de elétrons, prótons e nêutrons. O elétron é, em muitos processos, a única partícula especialmente importante, porque é pequeno e está relativamente pouco ligado a átomos e moléculas. Para nossos propósitos, o elétron é considerado a menor partícula fundamental e a única que possui carga negativa. Os prótons dos átomos são positivos e, junto aos nêutrons, formam o núcleo dos átomos. As matérias são eletricamente neutras porque apresentam o mesmo número de elétrons e prótons (Figura 2).

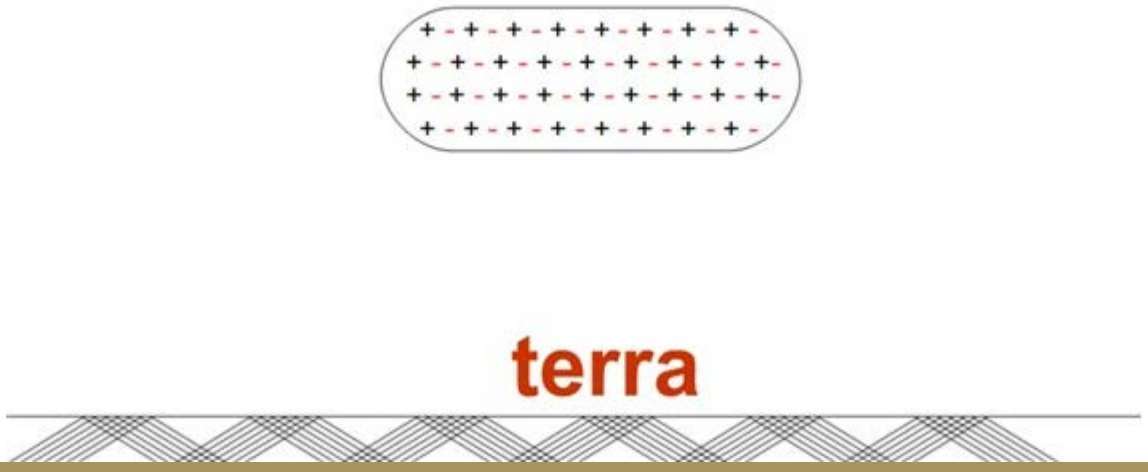


Figura 2. Corpo neutro constituído de mesmo número de prótons e elétrons

Para se eletrificar um corpo, é necessário retirar ou aumentar a quantidade de elétrons da sua superfície. Existem algumas maneiras de alterar a quantidade de elétrons da superfície de um corpo. Para o caso das pulverizações agrícolas, utiliza-se uma fonte de alta tensão eletrônica alimentada por bateria. Essa fonte deve ser devidamente aterrada para que ocorra uma correta troca de elétrons, acrescentando ou retirando elétrons da superfície do líquido (Figura 3).

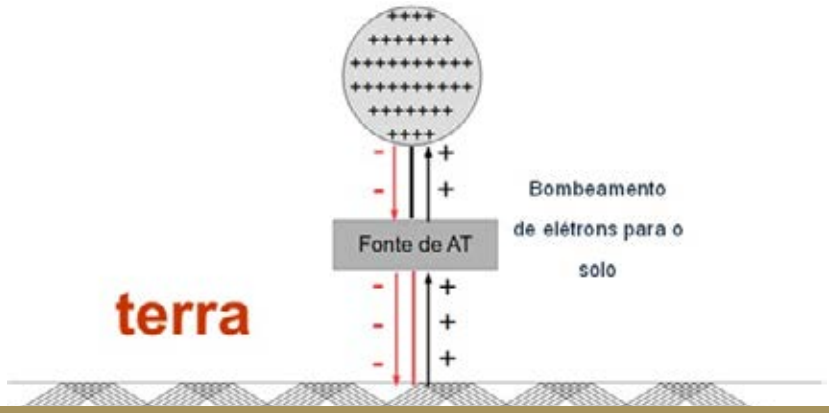


Figura 3. Eletrificação positiva de um corpo através do deslocamento de elétrons para o sistema de aterramento, ligado ao solo

É fato amplamente conhecido pelas leis da física que cargas de sinais opostos se atraem e cargas de sinais semelhantes se repelem. Essa atração e repulsão são diretamente proporcionais ao produto das cargas e inversamente proporcionais à distância elevada ao quadrado (Figura 4).

Figura 4. Fenômeno de atração e repulsão de objetos eletrificados com cargas opostas ou semelhantes

2. Pulverização eletrostática

2.1. Sistemas de eletrificação de gotas

Eletrificação direta

Um corpo neutro pode ser eletrificado diretamente por uma fonte de alta tensão que, dependendo da polaridade, pode retirar ou ceder elétrons para sua superfície. Se a fonte bombear elétrons para a superfície do corpo, ele se torna negativo, desde que esses elétrons migrem de algum local, normalmente do solo. Da mesma forma, se a fonte retirar elétrons da superfície do corpo, essas partículas negativas devem ser escoadas para algum local, normalmente o solo. Uma fonte de alta tensão possui um polo positivo e outro negativo. Para que a corrente flua, um dos polos deve ser aterrado (Figura 5).

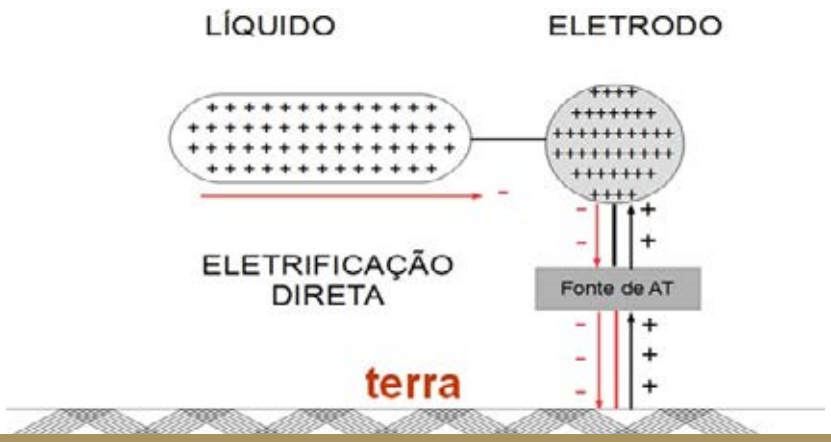


Figura 5. Sistema de eletrificação direta, onde se nota que a fonte de alta tensão retira os elétrons do corpo em processo de eletrificação, escoando as cargas negativas para o solo. No exemplo acima, o corpo fica carregado positivamente

Um exemplo do processo de eletrificação direta encontra-se no primeiro pulverizador eletrostático com eletrificação direta desenvolvido no Brasil entre 1981 e 1984, por pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (UNESP) em Jaboticabal (Figura 6).

A eletrificação direta também foi utilizada na Embrapa Meio Ambiente, em 1989, para o desenvolvimento do primeiro pulverizador costal eletrostático acionado por alavanca manual. A Figura 7 ilustra o circuito de eletrificação direta para bicos hidráulicos.

Na eletrificação direta, todo o circuito hidráulico fica eletrificado com alta tensão, sendo necessárias severas medidas de isolamento do tanque de armazenamento de calda e do circuito hidráulico que alimenta o bico. No caso dos pulverizadores costais, o líquido do tanque fica eletrificado por dentro e por fora, pois a parede isolante do tanque do equipamento funciona como um dielétrico de um enorme capacitor. Assim, foi necessário providenciar um dispositivo para descarregar a superfície externa do tanque para o solo, evitando descarga estática nas costas do aplicador. Uma mangueira de teflon foi usada para levar o líquido da bomba manual até a lança, que também foi modificada com o uso de tubo de poliacetal. O gatilho foi substituído por uma válvula antigotejo, para abrir a pulverização somente sob determinada pressão. Um fio metálico descascado foi colado de forma serpenteada na superfície que fica em contato com as costas do aplicador, protegido também por uma lâmina de plástico semirrígido, para aterrar o tanque de cargas acumuladas por efeito capacitivo.

Figura 6. Primeiro pulverizador eletrostático agrícola desenvolvido no Brasil com eletrificação direta

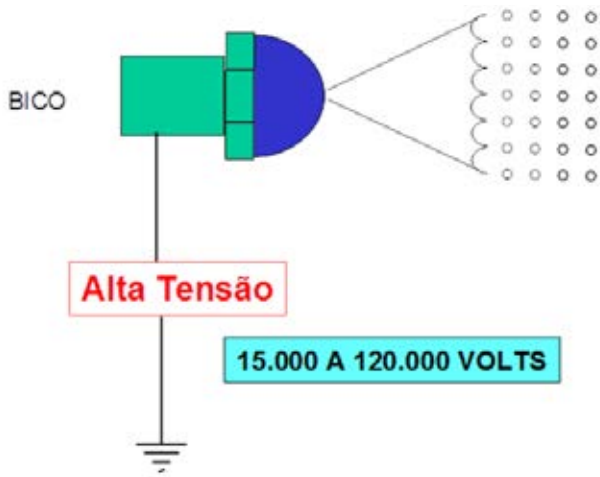


Figura 7. Circuito de eletrificação direta para bicos hidráulicos

Realizou-se um teste de avaliação de deposição eletrostática em 4 tubos metálicos de 80 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Os tubos metálicos e a fonte de alta tensão foram aterrados ao solo, e a calda foi coletada em placas de Petri posicionadas sob os tubos de amostragem. Os bicos de pulverização ficaram posicionados no centro da distribuição dos 4 tubos de amostragem, a 60 cm de altura. Os testes foram realizados coletando-se a calda atraída pelos 4 alvos, referente à pulverização de apenas 1000 mL de líquido por bico testado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Volume médio de líquido coletado (mL/L pulverizado) em função de diferentes voltagens de eletrificação, diferentes bicos de pulverização e diferentes distâncias de amostragem

Bico cone (vazão)	Distância dos coletores (cm)	Voltagem de eletrificação (kV)		
		-40	-32	-25
		Volume coletado (mL por L)		
TXVS-2 (120 mL/min)	25	560	508	430
	30	390	320	250
	35	283	228	153
	40	200	150	100
TXVK-3 (185 mL/min)	25	678	600	503
	30	500	443	340
	35	380	293	210
	40	270	180	125
TXVK-4 (250 mL/min)	25	588	508	428
	30	448	380	320
	35	340	270	205
	40	230	165	100

A eletrificação direta é, sem dúvidas, o melhor processo de carga de gotas, pois, em apenas 4 tubos de 10 cm de diâmetro, apresenta uma enorme recuperação de calda. A atração do líquido pulverizado é inversamente proporcional à distância de coleta e diretamente proporcional à voltagem de eletrificação. Na distância de 25 cm do bico de pulverização, com tensão de 40 kV (negativa), a recuperação foi de 678 mL/L para os 4 tubos de amostragem, ou aproximadamente 170 mL por tubo. Nessa situação, se houvessem 6 tubos de amostragem, todo o líquido pulverizado seria coletado pela ação da atração eletrostática. Esse experimento comprova que a atração é diretamente proporcional à tensão de eletrificação e inversamente proporcional à distância do alvo em relação ao bico.

Sistema de eletrificação indireta por indução

Um corpo líquido pode ser eletrificado por indução com um eletrodo eletrificado. No processo de indução, um eletrodo eletrificado é colocado na proximidade do objeto que será polarizado, em uma distância equivalente a um milímetro para cada 1000 volts aplicados no eletrodo. Se esse eletrodo estiver positivo, atrairá cargas negativas para a superfície do objeto e expulsará as cargas positivas para a outra extremidade do objeto (Figura 8). O objeto ficará, dessa forma, polarizado com cargas negativas próximas ao eletrodo e as positivas na outra extremidade. Para que

ocorra a eletrificação do objeto com eletrodo de indução positivo, as cargas positivas acumuladas necessitam ser expulsas por um sistema de aterramento (Figura 9).

No processo de pulverização por indução, com qualquer tipo de bico, é absolutamente fundamental a presença de um cabo de aterramento do líquido ligado ao solo. Se isso não acontecer, a corrente não flui para eletrificar as gotas, que estão levando as cargas acumuladas em sua superfície. Algumas fábricas de pulverizadores eletrostáticos que utilizam sistema de indução não estão atendendo a esse requisito. Nesses casos, o aterramento está sendo realizado no tanque do equipamento, que não tem ligação elétrica com o solo, e a eletrificação das gotas fica prejudicada.

No sistema de indução não existe troca de corrente elétrica entre o eletrodo de indução e o líquido. A corrente que circula no líquido se desloca exclusivamente pelo sistema de aterramento. A Figura 10 ilustra o esquema de funcionamento de um bico hidráulico com sistema de indução, onde o eletrodo de indução deve ser posicionado próximo à zona de formação das gotas, para que as cargas possam ser intensificadas e levadas com as gotas. Geralmente, a indução é positiva para que os elétrons tenham maior fluidez do solo para as gotas.

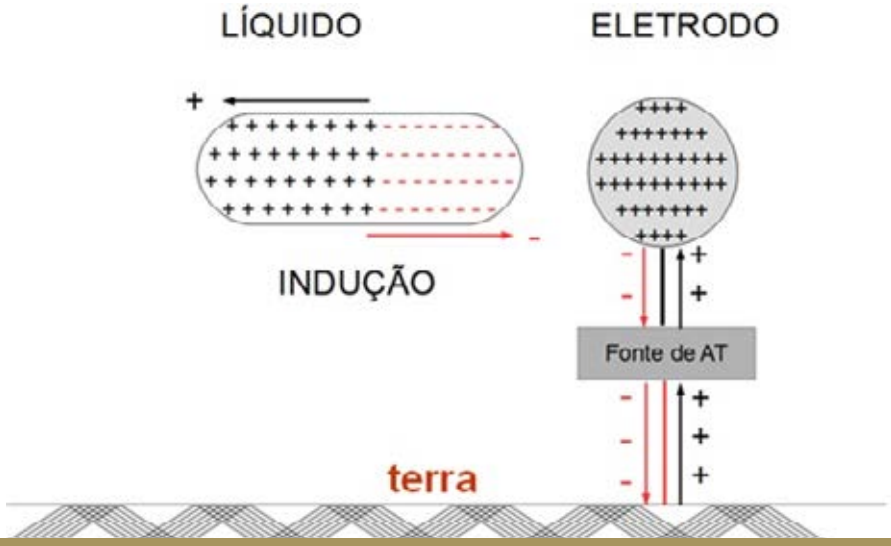


Figura 8. Processo de polarização de um corpo por indução

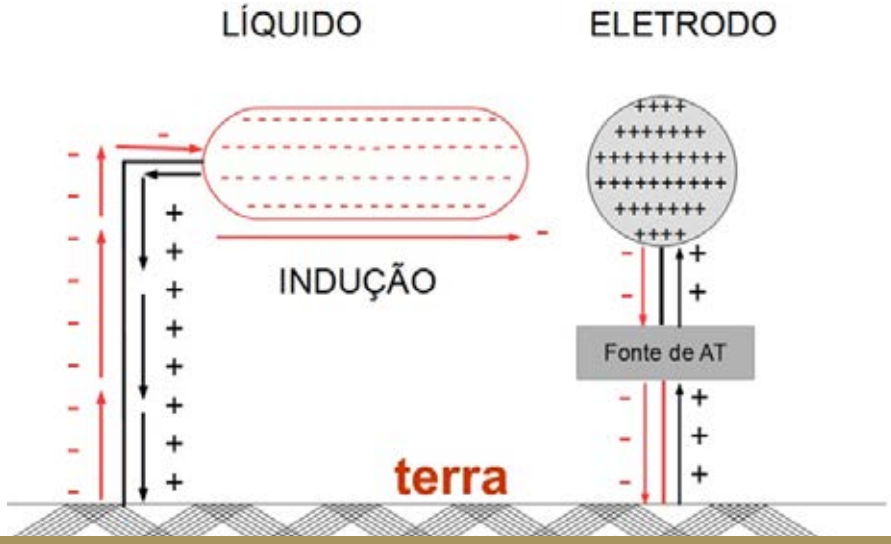


Figura 9. Processo de eletrificação de um corpo por indução

A Figura 11 apresenta uma ilustração do dispositivo de indução para bicos hidráulicos em funcionamento.

As cargas sempre se acumulam em regiões pontiagudas ou afiladas. Quando a borda do líquido se alonga para formar uma gota, os elétrons migram para essa região. Esse alongamento cresce e começa a formação de ligamentos entre a borda da lâmina do líquido e a gota em formação. Esses filamentos ficam com altíssima quantidade de carga. Quando a gota principal se solta, esses filamentos mais finos formam gotas muito pequenas, com menos de 30 micrômetros, denominadas de gotas satélites.

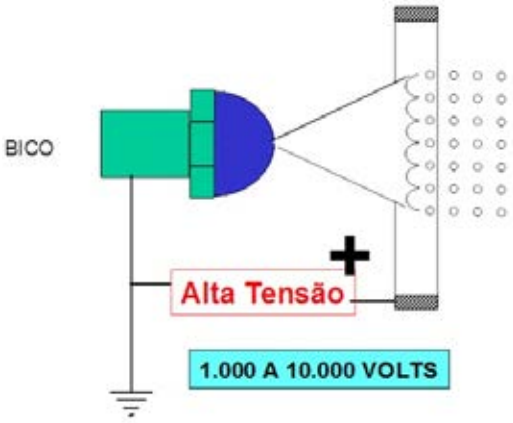


Figura 10. Eletrificação indireta de gotas de bicos hidráulicos por indução

Figura 11. Apresentação de bicos hidráulicos com gotas eletrificadas por indução. O eletrodo de indução deve ser posicionado próximo da região de formação das gotas em uma distância mínima ideal, para que não ocorra choque do jato. A tensão de indução dependerá dessa distância

A Figura 12 apresenta uma ilustração genérica de um processo de formação das gotas, incluindo a criação das gotas satélites.

Como as gotas satélites possuem pouca energia cinética para serem arremessadas a distâncias superiores a 10 centímetros, elas são fortemente atraídas pelo eletrodo de indução, molhando-o junto ao cabeçote. Em muitos casos, esse molhamento provoca curto-circuito e destrói o sistema de indução (Figura 13).

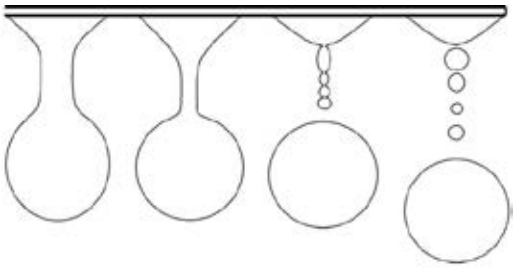


Figura 12. Ilustração genérica da formação de gotas satélites em um processo de pulverização

A retroatração ocorre no processo de indução porque as gotas apresentam cargas de polaridade oposta à do eletrodo, promovendo intenso molhamento do conjunto de cabeçote-eletrodo (Figura 14).

Existe a possibilidade de desenvolver um bico eletrostático com carga por indução de alto rendimento em termos de eletrificação de gotas. Trata-se dos bicos pneumáticos, nos quais um microeletrodo de indução fica embutido na zona de formação da gota. O jato de ar impede o molhamento do eletrodo de indução, eliminando o risco de formação de curto-circuito entre o eletrodo eletrificado e o líquido aterrado. Nessas condições, pode-se obter altíssima intensidade de carga das gotas (Figura 15).

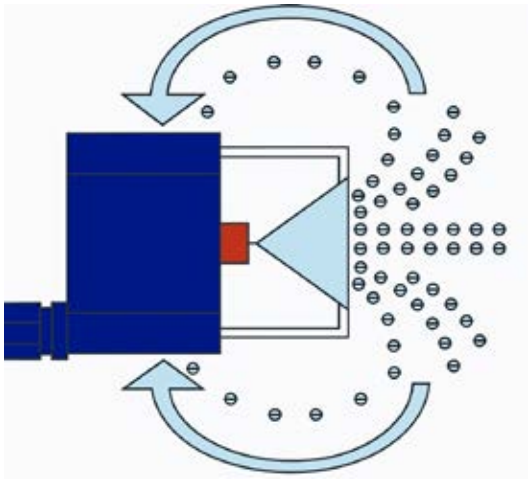


Figura 13. Retroatração de gotas eletrificadas para o suporte e o eletrodo de indução

Figura 14. Ilustração do molhamento do suporte do eletrodo de indução provocado pela retroatração das gotas eletrificadas

Figura 15. Bico eletrostático com carga por indução muito bem projetado. Sistema pneumático eletrostático com carga por indução. Pressão de ar de 1,0 bar, vazão de líquido de 60 mL/min. Relação carga/massa de 20 mC/g, uma das maiores já registradas no mundo

2.2. Gotas e eletrostática

O tamanho das gotas é um fator de extrema importância para a atração e deposição eletrostática.

Vários testes empíricos, realizados na Embrapa Meio Ambiente desde 1984, demonstraram que o emprego de pequenas gotas menores do que 100 micrômetros apresentam melhores resultados de deposição nas plantas. Entretanto, essas gotículas, devido à sua pequena massa, possuem pouca energia cinética, o que reduz sua captura pelos alvos e aumenta a evaporação e a deriva. Desta maneira, as vantagens esperadas – maior eficiência na utilização de um menor volume de calda de aplicação – somente se verificam em condições muito especiais. Consequentemente, para melhorar a eficiência das pulverizações, os agricultores utilizam bicos que produzem gotas maiores do que 200 micrômetros, garantindo um completo molhamento das plantas. A pulverização eletrostática se apresenta como uma solução tecnológica para aumentar a eficiência da utilização de gotas pequenas, reduzindo as perdas para o solo ou mesmo por evaporação.

Uma gota de pulverização é um corpo esférico, cujo volume é expresso pela fórmula:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Onde V é o volume da gota em mm^3 e r é o raio da esfera em mm (micrômetro).

Simplificando a fórmula do volume de esfera, temos:

$$V = 0{,}5236\ D^3$$

Onde D é o diâmetro da esfera em micrômetros.

Por exemplo, uma gota de 1000 mm de diâmetro teria um volume de:

$$V = 0{,}5236 \times D^3 = 0{,}5236 \times 1.000.000.000 = 523.600.000\ mm^3$$

Considerando que um litro contém um volume de 1.000.000.000.000.000 mm^3, se transformado em gotas de 1000 mm^3, seriam produzidas 1.000.000.000.000.000 mm^3 ÷ 523.600.000 mm^3 = 1.909.855 gotas/L.

Quando se conhece a quantidade de gotas produzidas por um determinado volume de calda, é possível estimar a densidade de deposição sobre uma área foliar conhecida. Nesse caso, deve-se considerar que um hectare de solo pode ter vários hectares de folhas. As gotas ideais para pulverização eletrostática são aquelas menores do que 80 µm. Verifica-se na Tabela 2, uma deposição teórica muito alta para as gotas entre 20 e 70 µm, ou seja, as gotas ideais para pulverização eletrostática com volumes de calda abaixo de 10 litros por hectare.

Alterações em características das gotas devido às condições micro meteorológicas

Condições micrometeorológicas, como temperatura e umidade relativa, afetam a evaporação das gotas, diminuindo seu tamanho e aumentando o risco de deriva pelo vento.

A Tabela 3 ilustra a enorme influência da temperatura e da umidade relativa no tempo de sobrevivência e no tamanho final das gotas quando expostas a esses fenômenos.

Tabela 2. Tamanho de gotas e sua biodisponibilidade para deposição em diferentes áreas foliares, quando se aplicam 10 litros de calda por hectare

Diâmetro das gotas (µm)	Número de gotas para 10L/ha	Área foliar em metro quadrado por hectare						
		10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000
		Gotas por centímetro quadrado de folha						
30	707.353.648.530,1	7.073,54	3.536,77	2.357,85	1.768,38	1.414,71	1.178,92	1.010,51
50	152.788.388.082,5	1.527,88	763,94	509,29	381,97	305,58	254,65	218,27
70	55.680.899.447,0	556,81	278,40	185,60	139,20	111,36	92,80	79,54
90	26.198.283.278,9	261,98	130,99	87,33	65,50	52,40	43,66	37,43
100	19.098.548.510,3	190,99	95,49	63,66	47,75	38,20	31,83	27,28
150	5.658.829.188,2	56,59	28,29	18,86	14,15	11,32	9,43	8,08
200	2.387.318.563,8	23,87	11,94	7,96	5,97	4,77	3,98	3,41
400	298.414.820,5	2,98	1,49	0,99	0,75	0,60	0,50	0,43
600	88.419.206,1	0,88	0,44	0,29	0,22	0,18	0,15	0,13

Tabela 3. Tempo de vida (gota de água) e sua distância de deslocamento antes da extinção, considerando tamanho de gotas, temperatura e umidade relativa

Diâmetro das gotas (µm)	Temperatura 20º C UR 80%		Temperatura 25ºC UR 72%		Temperatura 30ºC UR 50%	
	T(s)[1]	D(m)[2]	T(s)[1]	D(m)[2]	T(s)[1]	D(m)[2]
30	5	0,07	3	0,04	1	0,02
50	14	0,30	8	0,29	4	0,15
70	28	2,00	15	1,13	8	0,58
100	57	8,52	31	4,69	16	2,44
150	128	43,14	70	23,73	37	12,33
200	227	136,36	125	75,00	65	38,96
300	511	690,34	281	379,69	146	197,24
400	909	2,181,81	500	1.200,00	290	623,37

Todas as pesquisas realizadas ao longo de mais de 40 anos indicam que as gotas pequenas apresentam os maiores benefícios na deposição eletrostática, principalmente aquelas menores do que 80 micrômetros.

No processo de geração de gotas, milhares de "cristas" líquidos são formados na superfície do líquido antes que ele se rompa em gotas. Tanto no processo de eletrificação direta quanto na indução, as cargas se acumulam nessas regiões pontiagudas antes de se desprenderem na forma de gotas. Assim, quanto menor o tamanho das gotas, maior será a carga adquirida por unidade de volume pulverizado.

A maior intensidade de carga que as gotas menores adquirem está associada a sua área de superfície específica. A Tabela 4 ilustra o que acontece com a superfície de um determinado volume de líquido quando ele é fragmentado em gotas.

Tabela 4. Área de superfície de gotas de diferentes tamanhos produzidas por um centímetro cúbico de líquido

Diâmetro das gotas (µm)	Número de gotas produzidas por 1 cm^3 de líquido	Área de superfície total da do número das gotas em cm^2
30	70.735.365	637
50	15.278.839	382
70	5.568.090	273
90	2.619.828	212
100	1.909.855	191
150	565.883	127
200	238.732	95
400	29.841	48
600	8.842	32

A Tabela 4 demonstra que a transformação do líquido em gotas aumenta sua área de superfície. Como a carga das gotas se acumula na superfície do líquido, as gotas de menor tamanho adquirem maior quantidade de carga do que as gotas maiores. Por exemplo, as gotas de 100 µm retêm três vezes menos carga que gotas de 30 µm.

Um fenômeno muito interessante que ocorre com as gotas eletrificadas é a trajetória curvilínea que elas assumem durante o trajeto entre o bico e as plantas. Essa trajetória curvilínea facilita deposições de gotas na face oposta àquela exposta ao

bico de pulverização, acompanhando as linhas de força do campo eletrostático criado entre o bico de pulverização e o alvo da pulverização (Figura 16).

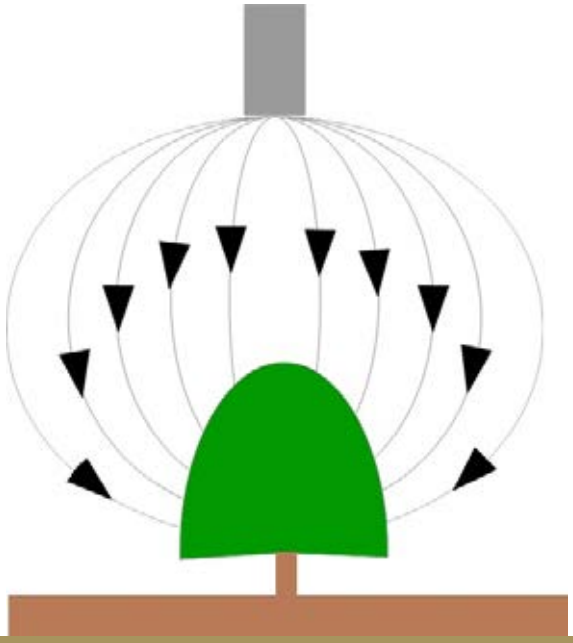


Figura 16. Trajetória curvilínea das gotas, segundo as linhas de força do campo eletrostático criado entre o bico de pulverização e o alvo

Tamanho da gota e deposição eletrostática

Uma gota de 200 µm de diâmetro tem um peso 296 vezes maior que uma gota de 30 µm. A Tabela 4 já demonstra que a carga acumulada na superfície da gota maior seria menor que a da gota de 30 µm.

Mesmo que as gotas de 200 µm e 30 µm tenham cargas proporcionais de elétrons em suas superfícies, a gota de menor tamanho seria atraída mais rapidamente para o alvo e apresentaria maior mobilidade influenciada pela carga, depositando-se do lado oposto ao objeto que estiver no caminho de sua projeção (Figura 17).

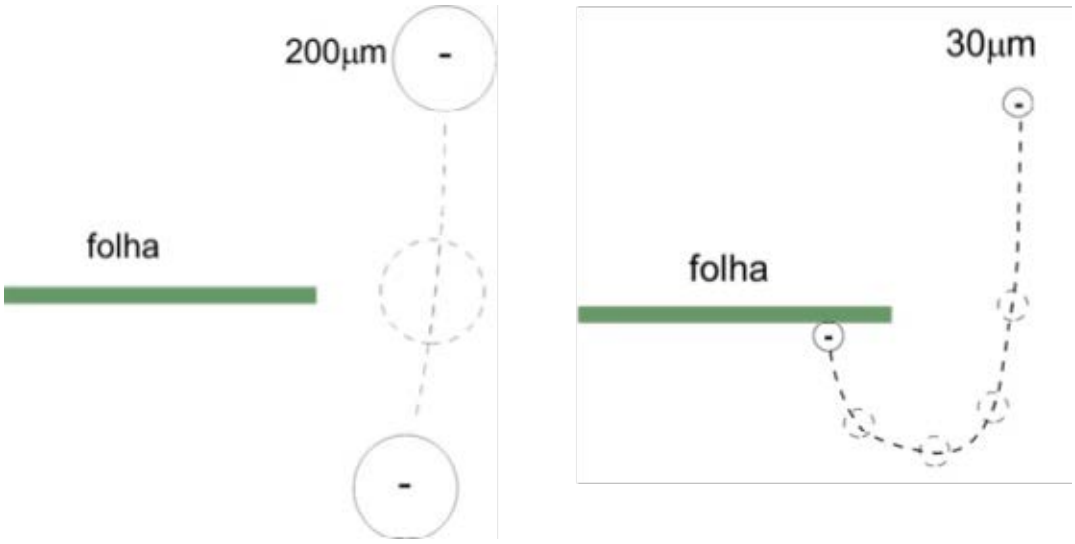


Figura 17. Comparação das trajetórias de gotas eletrificadas: grandes e mais pesadas versus gotas leves

3. Desafio para reflexão

Considerando uma aplicação de 30 litros por hectare, com 40 bicos pneumáticos eletrostáticos montados em uma barra de 12 metros, e uma velocidade de deslocamento da barra de 8 km/h, com os bicos gerando gotas eletrificadas de 30 µm.

Nessa situação, a aplicação do volume de 30 litros em 10.000 m^2 de área demoraria 6,23 minutos. A vazão da barra (40 bicos) seria de 4,8 litros por minuto (ou 120 mL por bico).

Em cada minuto, estariam sendo produzidas pela barra 339.529.751.294 gotas, ou 5.658.829.188 gotas por segundo.

Cada bico pneumático produz um jato cônico cheio, com 60 cm de altura e 40 cm de diâmetro na base. O volume do cone formado pelo jato de gotas de um bico pneumático, com base de 40 cm de diâmetro e altura de 60 cm é de 25.133 cm^3. Então, o volume total do jato das gotas de todos os 40 bicos é de 1.005.312 cm^3.

Na Tabela 3, observa-se que o tempo de vida de uma gota de 30 mm "sozinha", em temperatura de 30 ºC e umidade relativa (UR) de 50%, é de um segundo, ou ela consegue se deslocar por 2 cm em queda livre.

Entretanto, em uma situação de saturação, com 5.629 gotas/cm^3 de ar e umidade relativa atingindo 100%, nenhuma gota consegue evaporar.

O jato de ar do bico pneumático apresenta uma aceleração média de 15 metros por segundo, ao longo de uma distância de 60 cm. A velocidade de deslocamento da nuvem de gotas reduz o tempo necessário para que elas depositem nas folhas das plantas. Quando o jato de ar colide com as plantas, gera-se uma grande turbulência. A turbulência do jato de ar associado à carga das gotas aumenta sensivelmente a deposição nas plantas.

A resposta desse desafio é apresentada na Figura 18, que ilustra a deposição eletrostática de um traçador fluorescente em planta de algodão, inteiramente coberta por microgotas produzidas pelo bico pneumático eletrostático mostrado na Figura 15.

Figura 18. Deposição eletrostática em planta de algodão utilizando traçador fluorescente em água, em que as faces adaxial e abaxial de todas as folhas, bem como todos os ramos e capulhos, receberam deposições superiores a 200 gotas/cm^2

Referências Bibliográficas

CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrohidrodinâmico**: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens Moulton*, 1951), em amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1984. 107p. Dissertação de Mestrado.

CHAIM, A. Aperfeiçoamento de bico de pulverização eletrostática para geração de gotas com alto nível de carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.4, p.463-470, 1998.

CHAIM, A.; VALARINI, P.J.; OLIVEIRA, D.A.; MORSOLETO, R.V.; PIO, L.C. **Avaliação de perdas de pulverização em culturas de feijão e tomate**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 1999a. 29p. (Embrapa Meio Ambiente, Boletim de Pesquisa, 2).

CHAIM, A.; CASTRO, V.L.; CORRALES, F.; GALVÃO, J.A.H.; CABRAL, O.M.R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.741-747, 1999b.

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; CASTRO, V.L.S.; FERRACINI, V.L.; GALVÃO, J.A.H. Comparação de pulverizadores para tratamento da cultura do tomate estaqueado: avaliação da deposição e contaminação de aplicadores. **Pesticidas**: revista de ecotoxicologia e meio ambiente, Curitiba, v.9, p.65-74, 1999c.

CHAIM, A.; LARANJEIRO, A.J.; CAPALBO, D.M.F. **Bico pneumático eletrostático para aplicação de inseticidas biológicos em floresta de eucalipto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999d. 33p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 3).

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.497-501, p. 963-969, 2002.

CHAIM, A.; BOTTON, M.; SCRAMIN, S.; PESSOA, M.C.P.Y.; SANHUEZA, R.M.V.; KOVALESKI, A. Deposição de agrotóxicos pulverizados na cultura da maçã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p.889-892, 2003.

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L. Eficiência de deposição de pulverização em videira comparando bicos e pulverizadores. **Pesticidas**: revista de ecotoxicologia e meio ambiente, Curitiba, v.14, p.39-46, 2004.

COFFEE, R.A. Electrodynamic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v.10, n.7, p.350-356, 1981.

ELECTROSTATIC SPRAYING SYSTEMS. Disponível em: <http://www.maxcharge.com>. Acesso em: 20 junho. 2025.

LAW, S.E. Embedded-electrode electrostatic-induction spray nozzle: theoretical and engineering design. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.21, p.1096- 1104, 1978.

PESSOA, M.C.P.Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.45-56, 1999.

SCRAMIN, S.; CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L.; PAVAN, L.A.; ALVARENGA, N. Avaliação de bicos de pulverização de agrotóxicos na cultura do algodão. **Pesticidas**: revista de ecotoxicologia e meio ambiente, Curitiba, v.12, p.43-50, 2002.

Edson Ricardo de Andrade Junior
IMAmt

Anderson Luís Cavenaghi
UNIVAG

Sebastião Carneiro Guimarães
UFMT

CAPÍTULO 5.5

Manejo de plantas daninhas na cultura do algodão

Capítulo publicado originalmente na edição 2019/20 e atualizado pelos mesmos autores na edição de 2025.

Introdução

No início da década de 1990, a cultura do algodão migrou para o cerrado brasileiro, sendo explorada em áreas extensas, com menor declividade e totalmente mecanizadas. Essa expansão foi conduzida por produtores advindos da cultura da soja, com forte estruturação dentro e fora da propriedade, o que proporcionou aumento na produtividade e qualidade da fibra. Isso permitiu que o Brasil deixasse de ser o maior importador mundial para se tornar exportador da fibra.

O controle eficiente de plantas daninhas é imprescindível para se obter maior rendimento e melhor qualidade da fibra (Figura 1). A presença dessas plantas reduz a produtividade devido à competição por água, luz, espaço e nutrientes; além disso, onera e dificulta a colheita, reduz a qualidade da fibra por manchar as plumas e aumentar suas impurezas, e ainda pode servir de hospedeiras para pragas, nematoides e outros patógenos.

Algumas características da cultura dificultam o controle de plantas daninhas, como o maior espaçamento entre linhas utilizado, o crescimento lento da parte aérea nos estádios iniciais, a necessidade de manter as plantas da cultura com porte baixo (uso de reguladores de crescimento), a baixa

Figura 1. Controle eficiente de plantas daninhas em lavoura de algodão (Fonte: Edson Andrade Jr.)

tolerância a herbicidas que são importantes na prevenção e controle de biótipos resistentes — principalmente a glifosato — o ciclo longo (em média, de 180 a 220 dias em média) e a necessidade de se ter a lavoura limpa no momento da colheita. Com isso, é necessário manter o algodoeiro livre de plantas daninhas durante quase todo o ciclo, o que demanda várias intervenções de controle.

Variedades tolerantes a herbicidas de amplo espectro, como glifosato e glufosinato de amônio, trouxeram maior eficiência, segurança e praticidade no controle das plantas daninhas. No entanto, a preservação das vantagens dessa tecnologia demanda uso racional para evitar a seleção de espécies tolerantes e biótipos resistentes.

O modelo de exploração utilizado, em larga escala, baseia-se no uso de herbicidas. Entre essas ações estão o uso de herbicidas na dessecação em pré-semeadura (DPS), em pré-emergência (PRÉ), em duas ou mais aplicações de pós-emergência com produtos seletivos (PÓS) e, eventualmente, aplicações em pós-emergência dirigida com produtos não seletivos (PÓS-D).

Após a colheita, há ainda a necessidade de eliminar os restos culturais do algodoeiro, em uma operação chamada de destruição de soqueira. Nesta etapa, também é comum o uso de herbicidas, sendo o manejo baseado no herbicida 2,4-D.

1. Controle de plantas daninhas na cultura do algodão

As espécies de plantas daninhas que predominam num dado agroecossistema compartilham características como adaptação às condições climáticas e edáficas do local, além de resistência ou tolerância aos métodos de controle. Assim, há variação na composição específica e na densidade da comunidade infestante nos diferentes locais de cultivo, inclusive entre talhões da mesma propriedade, sendo influenciadas pelo banco de sementes do solo — reflexo das culturas e das práticas adotadas ao longo dos anos. Dentro dessa comunidade de plantas daninhas, há um grupo muito especializado, com ampla ocorrência nas várias regiões de cultivo, que evoluiu e se manteve nos sistemas agrícolas em razão das características comuns e ecologicamente simplificadas desses ambientes. Essas plantas daninhas são as que recebem maior importância no planejamento de controle, pelos potenciais prejuízos que podem causar à produção, pelos eventuais danos à operação de colheita, além de contaminarem as fibras.

Entre as plantas daninhas frequentes atualmente na maioria das áreas de cultivo do algodoeiro, e cuja presença normalmente define as estratégias de controle, podem ser citadas várias espécies de caruru (*Amaranthus* spp.), o capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), a corda-de-viola (*Ipomoea triloba* e outras), as buvas (*Conyza* spp.), a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), o capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) e a vassoura-de-botão (*Spermacoce verticillata = Borreria verticillata*). Situações mais específicas incluem, entre outras, o picão-preto (*Bidens subalternans*), o capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), o joá-bravo (*Solanum viarum* e outras), o joá-de-capote (*Nicandra physaloides*), a maria-pretinha (*Solanum americanum*), o apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), o mentrasto (*Ageratum conyzoides*) e o carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum*).

A integração de métodos de controle deve ser sempre adotada para manejar as plantas daninhas, e o controle cultural tem papel importante no efeito final do manejo em algodoeiro. Assim, o uso da própria cultura para impor barreiras ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas daninhas tem sido considerado como ferramenta muito efetiva à disposição do cotonicultor. Esse efeito depende da correta implantação da cultura, considerando-se a variedade, o espaçamento entre linhas, a época e a densidade de semeadura, a fertilização adequada e o bom manejo fitossanitário, que resultam em plantas vigorosas e sadias, com maior potencial competitivo. O controle cultural pode incluir ainda práticas como a rotação de culturas, a adubação verde e o uso de plantas com a finalidade de formação de cobertura morta.

Métodos preventivos, que sempre se constituíram em importantes ferramentas de manejo ao evitar a entrada de sementes e/ou disseminação de plantas daninhas de difícil controle nas áreas de cultivo, ganharam muita importância com o surgimento dos biótipos resistentes a herbicidas. Entre as práticas estão o uso de sementes de boa procedência e sem contaminação por plantas daninhas, a eliminação de focos de plantas daninhas

vegetando em carreadores e estradas, o repasse em falhas de controle e a limpeza de implementos que possam estar disseminado propágulos indesejáveis (principalmente sementes). Essas medidas apresentam alta relação benefício/custo, porém requerem determinação, tempo e atenção da equipe técnica da propriedade.

Como já citado, a colheita do algodão deve ser realizada no limpo para evitar contaminação e manchas na pluma. Esse fato requer, muitas vezes, a adoção de medidas de controle de plantas remanescentes, mesmo após o fechamento das entrelinhas da cultura. Essa prática pode ser realizada por meio de método mecânico, na modalidade de capina manual, embora deva se restringir a situações emergenciais, porque, além da grande demanda de mão de obra e custo, muitas vezes é realizada quando as plantas daninhas já produziram e liberaram suas sementes, reabastecendo o banco de sementes do solo.

O método químico, representado pelo uso de herbicidas, tornou-se amplamente difundido e útil em diversas culturas, sendo imprescindível nas grandes áreas algodoeiras, pelas vantagens como alta eficiência, rapidez na execução e menor demanda de mão de obra. No entanto, sua recomendação e uso exigem melhor qualificação dos técnicos e operadores de máquinas, para que os objetivos sejam atingidos, ou seja, alcançar a máxima eficiência no controle das plantas daninhas, com o menor impacto sobre a cultura e o ambiente.

Um dos complicadores na cotonicultura, além do longo período necessário para o controle, é a baixa disponibilidade de herbicidas seletivos para a cultura, somada à ocorrência de biótipos de plantas daninhas resistentes a essas moléculas. A necessidade do uso de herbicidas com diferentes sítios de ação é imperativa, e para isso, algumas vezes recorrem-se a produtos não seletivos, aplicados em pós-emergência dirigida às plantas daninhas.

O uso da transgenia para conferir seletividade a herbicidas criou alternativas para o manejo de plantas daninhas nesta cultura. No entanto, a integração de diferentes métodos de controle e a rotação de sítios de ação se fazem necessárias para se alcançar a maior eficiência possível e prevenir a seleção de novos biótipos resistentes.

Considerando as publicações sobre períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do algodão, o período crítico situa-se entre 10 a 20 dias e 60 a 80 dias. Como a presença de plantas daninhas já é prejudicial nos primeiros estádios da cultura, coincidindo com o crescimento inicial lento, torna-se ainda mais importante realizar a semeadura no limpo e utilizar herbicidas em pré-emergência.

1.1. Dessecação das plantas daninhas antes da semeadura

Em Mato Grosso, a semeadura do algodoeiro ocorre em dezembro para o algodão safra, e nos meses de janeiro e fevereiro para o algodão de segunda segunda safra (safrinha) – a data limite de semeadura determinada pelo INDEA-MT é 28 de fevereiro. A segunda safra representa entre 80% e 90% da área total cultivada com algodão no estado.

Antes da semeadura, a cobertura vegetal da área deve ser eliminada, o que pode ser realizado por meio de operações mecânicas de aração e gradagem, ou pela dessecação química, dependendo da época de semeadura.

A dessecação é, primariamente, uma atividade de preparo da área para a semeadura, que consiste na aplicação de herbicidas para controlar a vegetação existente, de forma a permitir o bom desempenho das semeadoras e a emergência das plântulas da cultura em ambiente livre de plantas daninhas. Para essa prática, utilizam-se herbicidas de pós-emergência de largo espectro,

capazes de controlar plantas em estádios mais avançados de desenvolvimento, normalmente sem efeito residual. O glifosato é um dos mais empregados, sendo comumente associado a outros herbicidas, dependendo da comunidade infestante presente na área e da época de semeadura. Para melhorar a eficácia sobre algumas espécies latifoliadas, pode-se adicionar outros herbicidas, como carfentrazona e flumioxazina. O herbicida 2,4-D, devido à sua ação residual e ao potencial fitotóxico ao algodoeiro, não tem sido recomendado. Caso a área a ser semeada tenha recebido aplicação desse herbicida, torna-se necessário aguardar um intervalo entre a aplicação e a semeadura, o qual varia conforme a dose utilizada e a dinâmica do ingrediente ativo no solo. Esse intervalo é é mais curto quanto maior for a capacidade de sorção da molécula no solo, principalmente em solos com maior teor de matéria orgânica, e mais favoráveis forem as condições para sua dissipação, com a ocorrência de alta pluviosidade no período. Na falta de parâmetros seguros, recomenda-se aguardar, em média, 20 dias entre o uso de 2,4-D e a semeadura.

Para o algodão de 2ª safra, o intervalo entre a colheita da soja e a semeadura do algodoeiro é nulo ou muito curto. Nesses casos, é necessário aplicar herbicidas, normalmente de contato e sem potencial fitotóxico para as plantas do algodoeiro que irão emergir. Produtos como glufosinato de amônio ou diquat podem ser utilizados, principalmente quando a vegetação a ser dessecada é composta por plantas em estádios iniciais e de ciclo anual, ou mesmo na dessecação da cultura da própria soja, já considerando o controle de plantas daninhas. Esses herbicidas têm ação rápida e também são úteis na semeadura do algodão safra, quando ocorrem reinfestações em áreas preparadas mecanicamente, ou na segunda aplicação quando a dessecação é realizada em duas etapas (aplicações sequenciais). Nesse caso, geralmente utiliza-se produtos sistêmicos na primeira aplicação, voltada para a vegetação mais desenvolvida, e os de contato na segunda aplicação. Nessa segunda aplicação, visando facilitar o manejo subsequente, podem ser associados herbicidas residuais seletivos ao algodoeiro, os quais não devem prejudicar a ação dos dessecantes. Em muitos casos, a presença dos residuais pode potencializar a rapidez e/ou o efeito final da dessecação. A alternância de sítios de ação ao longo desse processo é uma importante ferramenta para prevenir ou manejar a resistência de plantas daninhas aos herbicidas.

As aplicações sequenciais na dessecação são mais oportunas nas primeiras épocas de semeadura (dezembro). Quando o algodoeiro é explorado como segunda safra, logo após a colheita da soja (Figura 2), a área precisa ser dessecada imediatamente, não havendo tempo hábil para aguardar de 10 a 15 dias até a realização de uma segunda aplicação de dessecação. Nesses casos, e dependendo do nível de infestação da área no momento da colheita da soja, os herbicidas para dessecação, normalmente glifosato, graminicidas ou glufosinato de amônio, são aplicados juntamente com os herbicidas de pré-emergência, imediatamente antes ou logo após a semeadura do algodoeiro.

Figura 2. Semeadura do algodoeiro realizada logo após a colheita da soja (Fonte: Edson Andrade Jr.)

As aplicações sequenciais apresentam a vantagem de eliminar os novos fluxos de emergência que ocorrem depois da primeira aplicação, o que minimiza a incidência de plantas daninhas após a instalação da cultura, além de possibilitar o uso de herbicidas com diferentes sítios de ação, facilitando o manejo em pós-emergência, principalmente de biótipos resistentes.

Alguns herbicidas utilizados na cultura da soja, como a sulfentrazona, dependendo das condições de dissipação no solo, podem causar danos ao algodoeiro semeado subsequentemente na safrinha.

A vegetação a ser dessecada pode se constituir de culturas de cobertura semeadas com essa finalidade, plantas remanescentes da cultura anterior e plantas daninhas. A escolha do tratamento dessecante — produtos, doses, número e época de aplicação — é definido em função das espécies a serem controladas e de suas densidades, estádio de desenvolvimento, altura do dossel e, também, do intervalo entre a dessecação e a semeadura, fator importante quando se pretende usar herbicidas residuais não seletivos ao algodoeiro, como o 2,4-D.

A escolha do tratamento dessecante requer atenção especial quando a comunidade a ser dessecada inclui plantas daninhas ou culturas resistentes a herbicidas. Nesses casos, a composição do tratamento deve conter ingredientes ativos capazes de controlá-las.

Os produtos registrados para uso nessa modalidade, no Brasil, estão normalmente disponíveis por meio da ferramenta AGROFIT, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

1.2. Aplicação de herbicidas em pré-emergência

Considerando-se características intrínsecas da cultura, como o desenvolvimento lento da parte aérea da planta nas primeiras três semanas após a emergência, a seletividade marginal de alguns herbicidas e o maior espaçamento entre linhas, o uso de produtos com ação em pré-emergência tem se mostrado vantajosos. Esses produtos constituem alternativas para controle de espécies tolerantes e/ou resistentes, possibilitam a rotação de sítios de ação, além de reduzirem a interferência inicial e favorecem as condições para a atuação dos produtos aplicados em pós-emergência. Essa modalidade de aplicação também melhora a distribuição do uso de máquinas na propriedade (benefício operacional).

O principal herbicida utilizado em pré-emergência na cultura do algodão é a trifluralina. Além deste, podem ser usados os herbicidas diuron e clomazone. O clomazone requer uso de safener no tratamento de sementes para evitar fitotoxicidade e, por isso, está sendo substituído pelo bixlozona (herbicida com o mesmo espectro de controle, mas que possui seletividade à cultura, não necessitando de safener). Ainda há a possibilidade do uso de pedimentalina e prometrina nesta modalidade.

A aplicação em pré-emergência é realizada logo após a semeadura da cultura. No sistema de plantio convencional, o solo deve estar bem preparado, livre de torrões, e apresentar umidade adequada para melhor distribuição e disponibilização do herbicida no solo. No sistema de semeadura direta, quanto menor a quantidade de massa verde presente no momento da aplicação, maior será a quantidade do herbicida que atingirá o solo, melhorando sua eficácia no controle. Assim, é interessante que, havendo grande quantidade de massa vegetal na área, e se for planejado o uso de tratamento em pré-emergência, que este seja feito após a completa dessecação das plantas. Em ambos os sistemas, a umidade do solo é imprescindível para o bom funcionamento do herbicida, e as doses devem ser ajustadas para seus teores de argila e matéria orgânica.

Caso haja plantas daninhas recém-emergidas no momento da aplicação de pré-emergência, é comum associar um herbicida com ação de pós-emergência para o controle dessas plantas, utilizando-se normalmente produtos de ação rápida e sem efeito residual, como glufosinato de amônio ou diquat.

Figura 3. Lavoura de algodão na região de Primavera do Leste (MT), conduzida com manejo adequado de herbicidas, incluindo dessecação, aplicação em pré-emergência e pós-emergência inicial (Fonte: Edson Andrade Jr.)

O herbicida s-metolachlor, cuja ação ocorre na pré-emergência das plantas daninhas, tem sido aplicado entre os estádios "orelha de onça" e segunda folha verdadeira do algodoeiro, por apresentar melhor seletividade à cultura nessa fase. Essa estratégia também tem se mostrado interessante por aumentar o período coberto pelo controle residual ao longo do ciclo da cultura.

O uso de herbicidas em pré-emergência da cultura e das plantas daninhas garante o desenvolvimento inicial livre de interferência, além de reduzir a densidade e o estádio das plantas daninhas que precisarão ser manejadas pelos herbicidas aplicados na pós-emergência, potencializando assim o seu controle.

Nas cultivares transgênicas resistentes a herbicidas, os produtos de pré-emergência continuam sendo ferramentas importantes no manejo, contribuindo para o controle e prevenção da seleção de espécies tolerantes e biótipos resistentes. Como exemplo, nas cultivares resistentes ao glifosato, os herbicidas de pré-emergência auxiliam no controle de espécies tolerantes como trapoeraba e corda-de-viola, além de biótipos resistentes de capim-amargoso (*Digitaria insularis*), capim-pé-galinha (*Eleusine indica*), buva (*Conyza* spp.) e caruru (*Amaranthus palmeri* ou *Amaranthus hybridus*). Já em variedades resistentes ao glufo-

Figura 4. Parcela de ensaio sem uso de herbicida pré-emergente (A). Parcela de ensaio com uso de herbicida pré-emergente (B) (Fonte: Edson Andrade Jr.)

sinato, esses herbicidas contribuem para o controle de algumas gramíneas, como o capim-pé-de-galinha, e latifoliadas como o apaga-fogo (Alternanthera tenella).

1.3 Aplicação de herbicidas seletivos em pós-emergência

Normalmente, a necessidade de controle das plantas daninhas estende-se até 80 dias do ciclo da cultura, para que não haja prejuízos na quantidade produzida. Após esse período, infestações porventura existentes ainda podem comprometer tanto a qualidade da fibra quanto a operacionalização da colheita. Mesmo com a aplicação de herbicidas em pré-emergência eficazes, dificilmente é possível manter a lavoura livre de novas emergências até o final do ciclo. Por isso, são necessárias as intervenções em pós-emergência, que têm por objetivo controlar as plantas daninhas emergidas dentro da cultura, prevenindo os efeitos diretos ou indiretos de sua interferência.

Os latifolicidas utilizados em variedades convencionais, como o piritiobaque-sódico e o trifloxissulfurom-sódico, também podem ser empregados em variedades transgênicas. O piritiobaque-sódico é recomendado em aplicação única, realizada entre uma e duas semanas após a emergência das plantas daninhas-alvo, ou em duas aplicações sequenciais, com intervalo entre 5 e 15 dias. O trifloxissulfurom-sódico é indicado para aplicações entre duas e três semanas após a semeadura, respeitando-se o limite mínimo de quatro folhas verdadeiras da cultura, pois aplicações anteriores a esse estádio podem causar fitotoxicidade: sintomas leves a moderados têm sido observados, porém sem causarem redução no rendimento e qualidade da fibra. Os herbicidas piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico podem ser aplicados de forma associada ou sequencial, respeitando-se o estádio de desenvolvimento das plantas daninhas. Deve-se evitar o uso conjunto com graminicidas de pós-emergência. Vale ressaltar que estes herbicidas também são utilizados no controle de plantas voluntárias de soja não tolerantes aos inibidores da ALS, que ocorrem quando o algodoeiro sucede essa cultura. Nesses casos é igualmente importante observar a dose do herbicida e o estádio das plantas a serem controladas.

Importante lembrar que tanto o piritiobaque-sódico quanto o trifloxissulfurom-sódico são herbicidas inibidores da ALS, e que já há relatos de resistência em plantas daninhas como leiteiro, picão-preto, caruru e mentrasto, as quais não serão controladas no campo.

Desde os anos 2008/09, com o lançamento das primeiras variedades transgênicas tolerantes a herbicidas,

Tabela 1. Biotecnologias de tolerância a herbicidas disponíveis nas variedades de algodão

Tecnologia	Herbicidas que podem ser utilizados			
	Glifosato	Glufosinato de amônio	Dicamba	Isoxaflutole
B2RF / B3RF / RF	X			
B3XF	X	X	X	
GL / GLT / GLTP	X	X		
STP	X	X		X
TLP		X		
WS / WS3		Tolerância parcial		

Observação: por recomendação oficial do obtentor, o uso de dicamba na tecnologia B3XF deve ser realizada apenas na modalidade dessecação em pré-plantio.

essas limitações vêm sendo superadas em cultivares transgênicas, possibilitando o uso em pós-emergência total de herbicidas de largo espectro, como o glifosato e o glufosinato de amônio, ou ambos. Mais recentemente, foram introduzidas novas tecnologias que permitem o uso dos herbicidas dicamba e isoxaflutole (este com efeito pré-emergente nas plantas daninhas) na cultura do algodoeiro (Tabela 1).

Independentemente da biotecnologia empregada, o controle de gramíneas (poáceas) tem sido realizado com os herbicidas inibidores da ACCase, que apresentam excelente controle contra esse grupo de plantas daninhas e alta seletividade para o algodoeiro. Entre os principais ingredientes ativos utilizados estão o cletodim, o haloxifop-metil e o quizalofop-p-etil. No entanto, há relatos de capim-pé-de-galinha resistente tanto a glifosato e quanto aos inibidores da ACCase, principalmente ao haloxifop-metil.

Para o algodão B2RF/B3RF, o glifosato pode ser aplicado em qualquer estádio da cultura, até próximo da colheita. O número de aplicações dependerá das espécies e de reinfestações nas áreas, mas normalmente são necessárias de duas a três aplicações para que não haja interferência de plantas daninhas. Embora o glifosato seja uma excelente ferramenta de controle, para evitar problemas de resistência, recomenda-se fazer uso racional dessa tecnologia, evitando o uso exclusivo desse herbicida. O uso de herbicidas pré-emergentes deve ser incentivado, principalmente para auxiliar no controle de plantas resistentes ao glifosato, como o capim-pé-de-galinha (Figura 5) e o caruru (Figura 6), ou tolerantes, como a trapoeraba e a corda-de-viola. Em ambos os casos, outros herbicidas deverão complementar o controle em pós-emergência. Plantas voluntárias de soja resistentes ao glifosato e ao glufosinato (no sistema cultivo soja/algodão) devem ser controladas com os inibidores da ALS seletivos ao algodoeiro: piritiobaque-sódico ou trifloxissulfurom-sódico. Nas áreas cultivadas com essas biotecnologias, pode ser necessário o uso de herbicidas não seletivos, aplicados em jato dirigido protegido, como saflufenacil, flumioxazina, diuron ou atrazina. Ressalta-se que as populações de buva são compostas predominantemente por biótipos resistentes ao glifosato.

Figura 5. Biótipos de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) resistentes a herbicidas inibidores da ACCase e/ou glifosato em lavoura de algodão no Estado de Mato Grosso (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Figura 6. Biótipos de caruru-palmeri (*Amaranthus palmeri*) resistentes ao glifosato na cultura do algodão em Mato Grosso (Foto: Edson Andrade Jr.)

As variedades GL/GLT/GLTP/STP e B3XF são amplamente adotadas pela possibilidade do uso de glifosato e/ou glufosinato de amônio. O glufosinato de amônio é extremamente eficiente no controle de folhas largas como leiteiro, corda-de-viola e caruru. Para o glifosato, valem as mesmas recomendações descritas anteriormente. Nessa

tecnologia também são realizadas duas ou três aplicações, com a vantagem de se poder intercalar os dois herbicidas, que, por apresentarem diferentes sítios de ação, contribuem para retardar a seleção de biótipos resistentes. Quando a semeadura for realizada em área com presença de plantas de soja voluntárias, recomenda-se utilizar primeiramente o glufosinato de amônio, para que ele atue nos estádios iniciais dessas plantas voluntárias (exceto em caso de voluntárias de soja Enlist), obtendo-se maior eficiência de controle. Deve-se sempre considerar o estádio das plantas daninhas no momento da aplicação, sendo dois pares de folhas para latifoliadas e até um perfilho no caso de gramíneas. Reitera-se aqui também a necessidade do uso de herbicidas em pré-emergência, visando melhorar o controle de gramíneas e reduzir a quantidade de plantas a serem controladas em pós-emergência. O uso de variedades dessas biotecnologias atualmente é considerado obrigatório em áreas com presença de caruru resistente ao glifosato, seja *Amaranthus palmeri* ou *Amaranthus hybridus*, pois após o efeito dos pré-emergentes, o glifosato e os inibidores da ALS não serão eficazes devido à resistência das populações dessas espécies, sendo necessário o glufosinato de amônio para o manejo em pós-emergência nessas áreas.

Na tecnologia B3XF, o uso de dicamba é restrito à dessecação pré-plantio nas variedades que apresentam essa biotecnologia, com o objetivo de controlar espécies como caruru, buva e corda-de-viola. Essa aplicação também irá auxiliar no manejo de soja voluntária, desde que esta não possua a tecnologia Xtend.

A biotecnologia STP (Seletio) confere tolerância ao glifosato, glufosinato de amônio e também ao isoxaflutole. Este último é um herbicida indicado para controle das plantas daninhas em pré-emergência, principalmente capim-pé-de-galinha e caruru, podendo ser aplicado no dia do plantio da variedade STP ou também na pós-inicial dessas variedades, entre os estádios V2-V4. É importante ressaltar que o isoxaflutole atua exclusivamente em pré-emergência sobre as plantas daninhas.

A aplicação em jato dirigido no algodoeiro permite o uso de herbicidas não seletivos, uma vez que a calda pulverizada é direcionada para as folhas das plantas daninhas e para o solo, evitando o contato com as folhas da cultura. Essa aplicação pode ser realizada em diferentes estádios do desenvolvimento do algodão, mas normalmente ocorre após a lignificação do caule na base da planta, entre 50 e 70 dias após a emergência. Seu objetivo é controlar plantas daninhas resistentes, quando a variedade utilizada é tolerante apenas ao glifosato, ou aquelas remanescentes das aplicações anteriores, favorecendo a realização da colheita no limpo.

Caso essa aplicação seja necessária antes da lignificação do caule, deve-se utilizar proteção física, de modo a evitar que a calda pulverizada atinja as folhas e o caule ainda verde, prevenindo assim a ocorrência de fitotoxicidade.

Após a lignificação do caule do algodoeiro, normalmente identificada pela mudança de coloração verde para marrom, a aplicação pode ser realizada sem a necessidade de proteção da calda, uma vez que a absorção pelo caule passa a ser reduzida. Contudo, é preciso redobrar os cuidados durante a pulverização, mantendo o conjunto barra-bicos numa altura que evite o contato do herbicida com as folhas da cultura.

Uma outra prática cada vez mais adotada é a aplicação dirigida sem proteção, comumente chamada de aplicação com "pingente". Nessa modalidade, utiliza-se frequentemente um produto seletivo à cultura, porém

com foco na aplicação direta no alvo, com doses elevadas e/ou com a adição de altas concentrações de óleo, evitando assim a fitotoxicidade no dossel da cultura.

Diferentes herbicidas podem ser utilizados nessa modalidade, normalmente associando-se um herbicida residual a um herbicida pós-emergente não seletivo. Entre os ingredientes ativos comumente utilizados estão: atrazina, MSMA, glufosinato de amônio, diuron, saflufenacil, flumioxazina, e carfentrazone. Na escolha dos herbicidas residuais, deve-se considerar a cultura que será implantada após o algodoeiro, seguindo a recomendação correta de cada produto.

2. Resistência de plantas daninhas a herbicidas

O controle de plantas daninhas por meio de herbicidas é amplamente utilizado na agricultura, pois além de eficiente, é ágil e tem boa relação benefício/custo quando comparado a outros métodos. No entanto, o uso adequado dessa ferramenta exige maiores conhecimentos técnicos para garantir eficiência agronômica e econômica, minimizando impactos ao ambiente. A seleção de espécies tolerantes e biótipos resistentes a herbicidas é hoje um dos principais problemas relacionados ao uso não racional desses produtos.

Espécies de plantas daninhas tolerantes são selecionadas por processos evolutivos, nos quais aquelas mais adaptadas a determinada prática são selecionadas e vão aumentando sua população. Como exemplo tem-se o aumento da trapoeraba e da corda-de-viola em áreas com uso de glifosato. Os biótipos resistentes, por sua vez, são seleções que ocorrem dentro de uma mesma espécie, que antes eram controladas por um determinado tratamento herbicida. Como a população apresenta variabilidade genética, e um ou mais indivíduos dessa população podem sobreviver à aplicação de um herbicida que controlava a maioria dos indivíduos da espécie, são chamados de biótipos resistentes dessa espécie a esse ingrediente ativo. Herbicidas que atuam no mesmo sítio de ação, com muita frequência, também deixarão de controlar esse biótipo. O uso repetitivo desse herbicida, ou herbicidas que atuam no mesmo sítio de ação, elimina os indivíduos sensíveis, enquanto os biótipos resistentes sobrevivem, produzem sementes e aumentam suas densidades na área. Após alguns ciclos, o aumento dos biótipos resistentes passa a ser visualmente observável como falha de controle. Por esse motivo é que se tornou imperativo o uso de ingredientes ativos com diferentes sítios de ação, garantindo eficácia no controle dos biótipos resistentes.

Figura 7. Biótipos de buva (*Conyza* sp.) resistentes a glifosato em lavoura de algodão no Estado de Mato Grosso (Fonte: Edson Andrade Jr.)

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é uma questão de grande relevância, tornando o controle cada vez mais difícil e oneroso, principalmente em culturas como o algodão, onde há poucas alternativas de manejo. Esse problema pode evoluir para situações mais graves, caso haja a ocorrência de resistência múltipla, ou seja, um biótipo de planta daninha resistente a dois ou mais sítios de ação. Um exemplo é o *Amaranthus palmeri*, resistente aos inibidores da EPSPS e da ALS, e *Eleusine indica*, resistente aos inibidores da EPSPS e da ACCase.

2.1. Mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas

O mecanismo pelo qual um biótipo resiste a um tratamento herbicida pode ter causas distintas, relacionadas ou não ao sítio de ação do produto. O caso mais frequente é a perda de afinidade ao ingrediente ativo devido a alteração no sítio de ação, como ocorre com herbicidas inibidores da ALS (clorimuron, diclosulan, imazetapir etc.) e da ACCase (haloxifop, cletodim etc.), e também e da EPSPs (glifosato). No caso do glifosato, outro mecanismo de resistência conhecido é a produção abundante da enzima alvo, observada em biótipos de caruru-palmeri. No entanto, há atualmente grande preocupação com mecanismos de resistência não relacionados ao local de ação do herbicida, pela possibilidade de agir simultaneamente em vários sítios de ação. Esse mecanismo pode se originar de um ou mais processos que limitam a chegada do herbicida, em quantidade letal, no local específico de ação. Como exemplo desses processos pode-se citar a redução na absorção e translocação, e a metabolização dos ingredientes ativos pelo biótipo resistente.

Resistências Simples, Cruzada e Múltipla

Considera-se resistência simples quando um biótipo da espécie de planta daninha é resistente apenas a um ingrediente ativo herbicida, independentemente do sítio de ação em que ele atua. Já a resistência cruzada, ocorre quando o biótipo é resistente a dois ou mais ingredientes ativos que atuam no mesmo sítio de ação. Como exemplo, os biótipos de leiteiro resistentes a imazethapyr e clorimuron, selecionados na cultura da soja, também apresentaram resistência a piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico, usados no algodoeiro, mesmo sem terem sido previamente expostos a esses herbicidas. Os quatro produtos atuam inibindo a ação da enzima ALS.

A resistência múltipla ocorre quando um biótipo apresenta resistência a dois ou mais herbicidas com diferentes sítios de ação. Esse tipo de resistência dificulta seriamente o manejo da planta daninha, pois limita as opções de herbicidas disponíveis para o controle daquele biótipo, podendo até inviabilizar o controle químico em determinadas situações. Como exemplo, já foram identificados, em Mato Grosso, biótipo de *Amaranthus palmeri* resistentes a herbicidas inibidores da EPSPS (glifosato) e da ALS. Outro exemplo é o de biótipos de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) com resistência múltipla a glifosato e a inibidores da ACCase.

2.2. Panorama de plantas daninhas resistentes a herbicidas em áreas algodoeiras de Mato Grosso

Com base no histórico e no grande número de relatos de falhas no controle de plantas daninhas em áreas algodoeiras em Mato Grosso, o Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt) e a Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão (AMPA), em parceria com o UNIVAG - Centro Universitário e a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), realizaram um levantamento e monitoramento de plantas daninhas resistentes a herbicidas nessas áreas, contando com recursos do Instituto Brasileiro do Algodão (IBA).

O trabalho foi realizado entre os anos de 2012 e 2017, nos núcleos de produção algodoeira de Mato Grosso, onde foram coletadas amostras de sementes de plantas daninhas que escaparam ao controle, havendo suspeitas de se tratarem de biótipos resistentes. Após esse período, o monitoramento passou a ser conduzido diretamente pelas instituições, atendendo à demanda de propriedades localizadas nos diferentes núcleos algodoeiros do estado.

Na Tabela 2 são apresentadas as principais espécies com biótipos resistentes, juntamente com os herbicidas e respectivos sítios de ação a elas relacionados.

Tabela 2. Espécies de plantas daninhas em áreas algodoeiras dos núcleos de produção de Mato Grosso, com biótipos resistentes a herbicidas

Planta daninha	Herbicida	Mecanismo de Ação
Picão-preto (*Bidens subalternans*)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico	Inibidores da ALS
Leiteiro (*Euphorbia heterophylla*)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico	Inibidores da ALS
Caruru-rasteiro (*Amaranthus deflexus*)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico	Inibidores da ALS
Caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico / fomesafen	Inibidores da ALS / Inibidores da Protox
Caruru-palmeri (*Amaranthus palmeri*)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico / glifosato	Inibidores da ALS / Inibidores da EPSPS
Mentrasto (*Ageratum conyzoides*)	trifloxysulfuron-sodium	Inibidores da ALS
Buva (*Conyza* spp.)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico / glifosato	Inibidores da ALS / Inibidores da EPSPS
Capim-amargoso (*Digitaris insularis*)	glifosato	Inibidores da EPSPS
Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*)	cletodim, e haloxifop / glifosato	Inibidores da ACCase / Inibidores da EPSPS
Caruru (*Amaranthus hybridus*)	piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico / glifosato	Inibidores da ALS / Inibidores da EPSPS

Figura 8. Biótipos de Caruru (*Amaranthus hybridus*) resistentes a herbicidas inibidores da ALS e glifosato em lavoura de algodão, em Sapezal-MT (Fonte: Edson Andrade Jr.)

2.3. Práticas para prevenção e controle de plantas daninhas resistentes aos herbicidas

- Usar herbicidas com diferentes sítios de ação na mesma área, o que pode ser facilitado pela rotação e sucessão de culturas, bem como pelo uso de variedades de algodoeiro transgênicos resistentes a herbicidas não seletivos. No caso de culturas com resistência a herbicidas, é importante alternar os "traits", evitando mudar a cultura e continuar usando o mesmo herbicida.
- Uso associado de herbicidas com diferentes sítios da ação, com sobreposição do espectro de ação.
- Realizar observações sistemáticas nas áreas, antes e após a aplicação de herbicidas, para certificar-se da eficiência do tratamento aplicado, fazendo controle efetivo de plantas remanescentes suspeitas de resistência, evitando que produzam sementes ou outras estruturas reprodutivas.
- Além de método químico, em caso de escapes, devem ser adotados métodos não químicos, como a capina manual e o controle mecânico, desde que realizados antes da produção de sementes pelas plantas daninhas.

Considerações no manejo de plantas daninhas em variedades resistentes a herbicidas

No manejo das plantas daninhas, o uso de herbicidas de pré-emergência, além de evitar a competição inicial, é mais uma oportunidade de incluir sítio de ação diferente no manejo.

Uso de herbicidas latifolicidas (que controlam folhas largas) seletivos ao algodoeiro convencional (piritiobaque-sódico e trifloxissulfurom-sódico), que além de controlar a soja voluntária, atuam na prevenção de resistência de plantas daninhas por possuírem sítios de ação diferentes do glifosato e do glufosinato de amônio.

Rotação de evento "trait" – no Sistema Soja-Milho-Algodão, para evitar aplicações sucessivas de um mesmo ingrediente ativo, o que pode levar a seleção de biótipos resistentes.

Atenção especial para as espécies de difícil controle pelo glifosato, como corda-de-viola, erva-quente e trapoeraba, e pelo glufosinato de amônio, como apaga-fogo e as gramíneas, especialmente o capim-pé-de-galinha.

Em variedades que possuem o evento Glytol LibertLink™, procurar alternar aplicações de glifosato e glufosinato de amônio, retardando a seleção de biótipos resistentes a cada um dos dois herbicidas.

Considerar o uso de novas tecnologias como Xtend e Seletio quando possível, pois estas incluem sítios de ação não utilizados na cultura do algodoeiro.

2.4. Panorama futuro de espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas em áreas algodoeiras

Com o advento das variedades transgênicas tolerantes ao glifosato e ao glufosinato de amônio, o uso desses produtos, de baixo custo e alta eficiência, aumentou consideravelmente nas áreas algodoeiras. Vale lembrar que eles já são utilizados nas culturas da soja e milho, principalmente o glifosato. Dessa forma, é de se esperar que o uso contínuo eleva a pressão de seleção, favorecendo a ocorrência de biótipos resistentes. Por isso, é fundamental considerar esse risco no planejamento de controle de plantas daninhas no sistema produtivo, adotando herbicidas com diferentes sítios de ação para minimizar a probabilidade. Além das plantas daninhas resistentes já conhecidas em nossas áreas, atenção especial deve ser dada a espécies que já se tornaram problemáticas em outras regiões ou países, como sorgo-de-alepo (*Sorghum halepense*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) e picão-preto (*Bidens subalternans*), resistentes ao herbicida glifosato; capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e caruru (*Amaranthus* spp.), resistentes ao glufosinato de amônio. Mais uma vez, prevenir é melhor que remediar, pois o custo de não adotar medidas preventivas pode ser muito alto. Assim, reforça-se a maior importância do monitoramento constante das áreas cultivadas com variedades resistentes a herbicidas, observando especialmente essas espécies, sem negligenciar outras que estejam sobrando e/ou aumentando suas densidades populacionais nas áreas.

Figura 9. Lavoura de algodão, com manejo adequado de herbicidas, dessecação, pré-emergência e pós-emergência, região de Campo Novo do Parecis-MT (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: edsonjunior@imamt.org.br

Luiz Gonzaga Chitarra
Embrapa Algodão

Rafael Galbieri
IMAmt

CAPÍTULO 5.6

Controle de doenças no algodoeiro em Mato Grosso

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 e atualizado nas edições de 2014/15 e 2019/20 pelos mesmos autores.

1. Importância das doenças e do monitoramento da lavoura na cultura do algodoeiro

O Estado de Mato Grosso consolidou-se como o maior produtor de algodão do Brasil por conta, dentre outros fatores, de elevada mecanização, investimento em qualidade de fibra, intensificação do uso da terra e maior utilização de tecnologias transgênicas para o controle de insetos e plantas daninhas. No entanto, observa-se elevação nos níveis de incidência e severidade das doenças que afetam o algodoeiro no Estado. O plantio repetitivo de cultivares suscetíveis às doenças no decorrer dos últimos anos, condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento dos patógenos, falta de práticas agrícolas como a rotação de culturas e a destruição inadequada da soqueira potencializam os riscos de surtos epidêmicos, resultando em perdas na produção.

Como consequência, associa-se a produção ao uso maciço de fungicidas no controle de doenças, interferindo diretamente no balanço microbiológico do sistema produtivo. Para minimizar as perdas na produção e manter a sustentabilidade da cultura em Mato Grosso, é fundamental que as medidas de manejo e controle das doenças sejam realizadas de maneira adequada, adotando-se principalmente as práticas culturais de rotação de cultura, destruição de soqueira, monitoramento da lavoura, bem como a utilização de cultivares com níveis de resistência aos principais patógenos de ocorrência no Estado.

As doenças são consideradas um dos principais fatores que influenciam a produção de algodão; elas são responsáveis pela redução significativa da produtividade física ou econômica do algodoeiro e, em determinados casos, podem ser causa impeditiva da atividade. Atualmente, são reconhecidos cerca de 250 microrganismos capazes de causar doenças no algodoeiro, dentre os quais 90% são fungos. Portanto, um dos grandes desafios na cultura do algodoeiro é a correta identificação dos sintomas das principais doenças e pragas que incidem sobre a cultura. Nesse caso, o monitoramento da lavoura deve ser feito por técnicos (monitores de campo) rigorosamente treinados para identificar e quantificar corretamente as doenças e as pragas do algodoeiro.

O monitoramento das pragas é feito constatando-se a presença/reconhecimento do inseto na planta, ao passo que o monitoramento das doenças é feito por meio do reconhecimento dos sintomas causados pelos patógenos às plantas. Muitas vezes, esses sintomas podem ser confundidos, por exemplo, com fitotoxicidade causada por herbicida ou outros produtos químicos.

Por esses motivos, é importante que os monitores sejam bem treinados/qualificados para reconhecer adequadamente os sintomas que os patógenos causam às plantas. Os monitores de campo treinados/qualificados e com o conhecimento das áreas e das cultivares de algodoeiro a serem monitoradas terão sucesso para identificar e quantificar as doenças no início dos primeiros sintomas, o que é essencial para a tomada de decisão da aplicação de fungicidas.

2. Principais doenças e aspectos sintomatológicos para diagnose no Estado de Mato Grosso

Os sintomas das principais doenças do algodoeiro no Estado de Mato Grosso estão descritos na Tabela 1. Obviamente, esse quadro pode alterar-se em função do aparecimento de variantes de patógenos ou outras doenças, principalmente aquelas de origem fúngica, pois, reduzindo-se o número de aplicações de fungicidas voltados para o controle da mancha de ramulária em cultivares mais resistentes/tolerantes, as doenças provocadas por fungos, que antes não se manifestavam ou permaneciam com incidência muito baixa, podem começar a aparecer de forma expressiva.

Assim, é importante saber diagnosticar não só as doenças de maior importância econômica atualmente, mas também aquelas que podem aparecer na lavoura. Por isso é importante um histórico da ocorrência de doenças nas áreas de plantio e o conhecimento da importância de determinado patógeno frequente para serem tomadas medidas prévias para seu controle, como tratamento químico de sementes, escolha de cultivares resistentes/tolerantes, épocas de plantio, dentre outras medidas.

Tabela 1. Principais doenças do algodoeiro, patógenos, sintomas, ocorrência e grau atual de importância no Estado de Mato Grosso

Doenças	Patógeno	Sintomatologia	Ocorrência DAS[1]	Importância MT[2]
Mancha de ramulária	*Ramularia areola*	Lesões de formato angular ou irregular, com predominância na face inferior da folha, aspecto branco-azulado; esporulação do patógeno no centro das lesões apresentando coloração branca e aspecto farináceo; podendo ocorrer desfolha precoce (*Figura 1*).	15-155	5
Mancha alvo	*Corynespora cassiicola*	Inicialmente, pequenos pontos circulares de coloração marrom ou arroxeada nas folhas; posteriormente, manchas de formato arredondado ou irregular, com bordas de coloração verde escuro a marrom claro, podem apresentar anéis concêntricos circundados por halos cloróticos; desfolha precoce.	60-120	5
Ramulose	*Colletotrichum gossypii* South.var. *cephalosporioides*	Inicialmente, lesões necróticas escuras, de forma estrelada; ramificação dos galhos; internódios curtos e intumescidos apresentando superbrotamento (*Figura 2*).	15-155	5
Mancha angular	*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*	Lesões angulares, inicialmente de coloração verde, aspecto oleoso e, posteriormente, parda e necrosada; coalescência das lesões e rasgadura do limbo foliar (*Figura 3*).	15-150	3
Murcha de fusário	*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasifectum*	Inicialmente, folhas basais mostrando perda de turgescência, amarelecimento, crestamento do limbo e, posteriormente, queda, murcha das folhas e morte prematura das plantas; coloração "chocolate" observada pelo corte da haste da planta.	55-160	4

Continua →

Tabela 1. Continuação

Doenças	Patógeno	Sintomatologia	Ocorrência DAS[1]	Importância MT[2]
Mancha de mirotécio	*Myrothecium roridum*	Manchas foliares com anéis concêntricos, circundadas por halo roxo-avermelhado, presença de pontos enegrecidos nas lesões (esporodóquio), circundados por uma massa de coloração branca (*Figura 4*); queda de tecidos necrosados na lesão.	60-155	4
Mancha de alternária	*Alternaria macrospora*	Manchas circulares (anéis concêntricos) de coloração marrom ou parda (*Figura 5*), circundadas por halos de coloração amarela ou arroxeada.	20-120	4
Apodrecimento de maçãs	diversos[3]	Lesões circulares ou irregulares no fruto, normalmente de coloração parda ou azulado-escura e deprimida na parte central.	105-155	3
Tombamento	diversos[4]	Lesões deprimidas no hipocótilo, com coloração de pardo-avermelhada a pardo-escura; essas lesões podem circundar a haste, causando estrangulamento e, consequentemente, morte da planta (*Figura 6*).	0-35	4
Mela	*Rhizoctonia solani*	Lesão aquosa zonada nas folhas cotiledonares; seca dos cotilédones e morte das plantas.	0-35	4
Doença azul (virose)	*Cotton leafroll dwarf virus* (CLRDV)	Mosaico das nervuras; encurtamento de internódios; redução do porte das plantas; rugosidade, encurvamento para baixo e aspecto quebradiço das bordas das folhas jovens; tonalidade verde-escura das folhas mais velhas.	30-155	5
Virose atípica (virose)	Genótipo do *Cotton leafroll dwarf virus* (CLRDV)	Mosaico das nervuras; encurtamento de internódios; redução do porte das plantas; rugosidade e encurvamento para baixo das bordas das folhas jovens; murchamento e avermelhamento intenso das folhas.	30-155	5
Mofo branco	*Sclerotinia sclerotiorum*	Murcha, seca, necrose e podridão úmida em hastes, pecíolo e maçãs. Micélio branco de aspecto cotonoso e escleródios escuros irregulares internos ao capulho do algodoeiro (*Figura 7*).	40-155	5

[1] DAS: Dias após a semeadura, ocorrência aproximada das doenças; [2] importância relevante para Mato Grosso, escala de notas: 1 = sem importância; 2 = pequena importância; 3 = mediamente importante, necessitando de preocupação e estudos; 4 = importante, demandando medidas de controle; 5 = muito importante, inviabilizando a cultura se não houver controle e demandando estudos. Adaptado de Cia & Fuzatto (1999); [3]principais: *Fusarium* spp., *Colletotrichum* spp., *Diaplodia gossypina*, *Ascochyta gossypii*, *Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*; [4] principais: *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum gossypii*, C. *gossypii* var. *cephalosporioides*, *Fusarium* spp., *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina phaseolina*, algumas espécies do gênero *Ascochyta* e *Pythium*.

Figura 1. Sintomas provocados pela mancha de ramulária. À esquerda, sintomas iniciais da doença e, à direita, em estádio mais avançado com alta esporulação do fungo (Fonte: Rafael Galbieri)

Figura 2. Sintomas provocados pela ramulose. À esquerda, mancha estrelada e, à direita, superbrotamento (Fonte: Luiz G. Chitarra, Rafael Galbieri)

Figura 3. Sintomas provocados pela mancha angular (Fonte: Rafael Galbieri)

Figura 4. Mancha de mirotécio, causada por *Myrothecium roridum*, e estrutura reprodutiva (esporodóquio) (Fonte: Rafael Galbieri)

Figura 5. Sintoma provocado pela mancha de alternária (anéis concêntricos) (Fonte: Luiz G. Chitarra)

Figura 6. Sintomas provocados por tombamento em algodoeiro (Fonte: Luiz G. Chitarra)

Figura 7. Sintomas provocados por mofo branco em algodoeiro, com destaque à formação reprodutiva do fungo (escleródios) (Fonte: Luiz G. Chitarra)

3. Monitoramento e amostragem das doenças

Monitoramento

O monitoramento deve ser feito constantemente durante o ciclo da cultura, intensificando-se no início-meio e diminuindo com a senescência das plantas. A recomendação seria a entrada na área para o monitoramento a cada 3-5 dias.

Amostragem

Como sugestão, a amostragem da área para avaliação das doenças que incidem sobre a cultura do algodoeiro deverá ser realizada caminhando em zigue-zague na lavoura, avaliando um ponto a cada 2 ha, conforme descrito na Tabela 2. Para cada ponto, cinco plantas deverão ser avaliadas. A nota média das avaliações ou o número de plantas com sintomas dentre as cinco plantas avaliadas, em cada ponto, deverá ser anotada na planilha (Tabela 2). As avaliações deverão ser realizadas a cada 3-5 dias.

Tabela 2. Monitoramento de doenças

Fazenda .....
Talhão.....Data.....\.....\.....
Dias após semeadura .....
Monitor.....

Amostragem	Ramulária	Ramulose	Mancha Angular	Doenças Foliares*	Mofo Branco	Murcha de Fusário	Mela / Tombamento	Virose
Caminhamento em zigue-zague, 1 ponto a cada 2,0 hectares / 5 plantas por ponto, a cada 3-5 dias	**Nota de 1 a 5* (média de 5 plantas consideradas por ponto)**					**Nº de Plantas com sintomas (0-5 plantas)**		
Média								

* Manchas de alternária, estenfílio, mirotécio, corynespora. Notas de 1 a 5 com aumento da severidade/incidência das doenças. Nota 1: sem sintomas, a nota 5: severidade/incidência máxima da doença.

É importante ter o histórico do monitoramento dos talhões sempre atualizado. Para isso, é necessário o preenchimento dos itens discriminados na Tabela 3.

Tabela 3. Histórico do monitoramento de doenças. Médias gerais do talhão em diferentes datas de monitoramento

Talhão: .....

Fazenda: .....

Data ...../...../.....	Ramulária	Ramulose	Mancha Angular	Doenças Foliares*	Mofo Branco	Murcha de Fusário	Mela / Tombamento**	Virose
	Nota de 1 a 5					Nº de Plantas com sintomas		

* Mancha de alternária, estenfílio, mirotécio, corynespora. ** Tombamento

4. Avaliação da incidência e severidade das doenças do algodoeiro, níveis de controle e recomendações de manejo

Para um programa eficiente de manejo das doenças, o controle tem que ser realizado no momento correto, ou seja, no aparecimento dos primeiros sintomas, e, para que isso ocorra, é imprescindível saber diagnosticar e quantificar corretamente as doenças em campo, pois, se essa diagnose for tardia, os danos podem ser tais a ponto de comprometer a produtividade.

A diagnose de uma doença em estágio mais avançado não apresenta muitas dificuldades, pois as lesões estão bem típicas, de acordo com as descrições sintomatológicas prescritas. O problema é diagnosticar as doenças no início; nessa fase, as lesões (sintomas) não estão bem características, o que demanda treinamento e experiência do monitor no conhecimento da diagnose e quantificação das doenças.

O profissional precisa também saber distinguir outros sintomas que possam ser confundidos com doenças, situação muito comum em condições reais de campo. Em alguns casos, uma doença aparece de forma secundária, proveniente de algum evento principal, seja, por exemplo, injúrias provocadas por herbicidas (fitotoxicidade - Figura 8) ou queima do tecido foliar por adubos, que é "porta de entrada" para determinados patógenos. Nesses casos, é fundamental que o monitor se atente a essas correlações e sempre se questione sobre o que realmente está causando ou proporcionado o quadro sintomatológico.

Figura 8. Sintomas provocados por fitotoxicidade de herbicidas em folhas de algodoeiro (Fonte: Rafael Galbieri)

Fazendo uma análise das principais doenças, com destaque à mancha de ramulária, é fundamental que a diagnose seja realizada no aparecimento dos primeiros sintomas, o que não é tão simples; a Figura 1 ilustra esse sintoma e chama a atenção para as manchas azuladas. Igualmente para ramulose, os pontos marrons/pretos e, posteriormente, as "manchas estreladas" são de tamanho pequeno, o que facilita a diagnose quando as folhas são colocadas contra o sol, observando essas lesões características (Figura 2).

Para a mancha angular, os sintomas iniciais são de forma irregular, coloração verde, aspecto oleoso e, posteriormente, de coloração parda e necrosada (Figura 3). Com o tempo, poderá ocorrer a coalescência das lesões e rasgadura do limbo foliar; em determinadas situações, as lesões podem ser

confundidas com a mancha de ramulária, pois o fungo pode aparecer de forma secundária nas lesões, após o aparecimento do sintoma angular provocado pela bactéria.

Em relação à mancha de mirotécio, é importante observar a presença da estrutura reprodutiva do fungo, chamada de esporodóquio (Figura 4), que consiste em pontos de coloração escura com base micelial branca e pode estar presente em qualquer parte da planta. Esse fungo é favorecido com a ocorrência de lesões previamente provocadas nas plantas, seja por injúrias causadas por herbicidas (fitotoxicidade), por equipamentos agrícolas, pela queima do tecido foliar por adubos ou por conta de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença, como temperatura entre 25-30°C, alta nebulosidade, umidade do ar elevada e alta pluviosidade. Nessas situações, recomenda-se máxima atenção ao monitoramento, e, caso seja observada a presença do fungo nessas condições, deve ser feito o controle químico de forma rápida, com fungicida.

As manchas de alternária (Figura 5) e estenfílio são difíceis de serem diagnosticadas nas condições de campo por duas razões. A primeira, por não serem tão comuns no Estado de Mato Grosso; a segunda, a principal, é que os sintomas iniciais podem apresentar semelhanças com os sintomas de outras doenças foliares, tornando-se a diagnose difícil, pois não apresentam características marcantes que podem diferenciá-las. Com isso, pode ser demandada, em determinados casos, uma análise mais aprofundada das folhas com os sintomas, sendo necessário o envio de amostras para serem analisadas em condições de laboratório, para obter-se uma diagnose correta.

Também quando surgirem dúvidas quanto à diagnose de doenças, amostras podem ser enviadas aos laboratórios especializados, ou especialistas podem ser acionados, seja de órgãos estaduais, federais ou da iniciativa privada, como o Departamento de Fitopatologia do IMAmt, em Primavera do Leste, MT; Embrapa, em Sinop, MT; universidades ou laboratórios particulares para eventuais dúvidas ou treinamento de equipes.

Os sintomas iniciais da mancha-alvo no algodoeiro são pequenos pontos circulares, de coloração arroxeada, nas folhas. Com a evolução da doença, esses pontos tornam-se manchas de formato arredondado ou irregular, com bordas marrom-escuro e centro marrom-claro, variando, em tamanho, de 2 mm a 20 mm. As lesões, quando completamente desenvolvidas, podem apresentar anéis concêntricos e, quando a infecção é elevada, as folhas caem prematuramente (Figura 9). O vento é a principal via de disseminação do patógeno a curtas distâncias, e não há informações ainda sobre a disseminação por meio de sementes de algodoeiro.

Figura 9. Sintomas provocados pela mancha-alvo (*Corynespora* sp.) em folha de algodoeiro (Fonte: Rafael Galbieri)

Para a murcha de fusário, muitas vezes, principalmente nos primeiros anos em que o patógeno foi introduzido na área, não se observam sintomas foliares de murcha decorrentes da infecção causada pelo fungo; porém, os vasos do xilema da planta estão caracterizados por seu enegrecimento (Figura 10). Nesse caso, é importante cortar ou arrancar algumas plantas para verificação desse sintoma, lembrando-se que esse corte é feito no colo (caule) da planta, normalmente efetuado entre 2-5 cm acima da superfície do solo ou cortar o caule no sentido longitudinal. Por conta da grande importância (destrutiva) da doença, é fundamental que o responsável técnico da propriedade conheça e acompanhe o progresso da doença na área, mesmo tendo ciência de que a doença ainda não esteja ocasionando dano econômico.

Figura 10. Sintomas vasculares provocados pela murcha de fusário. Da esquerda para a direita, da planta sadia à alta intensidade (Fonte: Rafael Galbieri)

No caso de viroses, com aparecimento da forma "atípica" (Figura 11), as cultivares que são resistentes à doença azul podem apresentar suscetibilidade a essa virose. Assim, recomenda-se cuidado redobrado em relação à infestação das plantas com pulgão, principalmente no início do desenvolvimento da cultura, sabendo-se que, quando essa infestação ocorre até os cinquenta dias após o plantio, grandes perdas em produtividade podem ocorrer quando comparadas com a infecção que ocorre mais tardiamente. Isso também não significa que não se deva ter cuidado em controlar essas viroses mais tardias, pois, caso a destruição de soqueira não seja eficaz, o vírus poderá permanecer nessas plantas infectadas e servirá como fonte de inóculo para sua sobrevivência na próxima safra.

Figura 11. Sintomas de mosaico das nervuras atípico em algodoeiro, em Mato Grosso. À esquerda, infecção do vírus antes dos cinquenta dias após o plantio, e, à direita, infecção mais tardia (Fonte: Rafael Galbieri)

Para algumas doenças foliares, como a mancha de ramulária e a ramulose, quando diagnosticadas a campo, é imprescindível que as medidas de controle sejam tomadas o mais rápido possível, para não haver perdas econômicas. Por outro lado, para algumas doenças que são mais restritas, como a murcha de fusário, quando detectadas na lavoura, é fundamental que a área seja monitorada e medidas de controle sejam adotadas para as próximas safras. Isso não significa que a doença seja menos importante, mas que seu manejo deve ser realizado em tempos diferentes. É importante que os técnicos/monitores de campo tenham isso em mente no momento das avaliações, pois é fundamental para a tomada de decisões de manejo.

No caso de mela/tombamento, a incidência e a severidade da doença estão relacionadas às condições climáticas, que são fundamentais para a decisão das medidas de controle. Com a incidência do problema e o regime de chuvas intensas, a necessidade de controle é maior quando comparada a essa incidência em períodos sem chuvas (veranicos), no início do ciclo da cultura. Nessas condições, a doença possivelmente será interrompida, ou sua epidemia será minimizada.

Além das doenças relatadas, o algodoeiro é hospedeiro de outros patógenos que atualmente têm importância econômica secundária nas condições do Cerrado. No entanto, isso não significa que eles não possam causar doenças e vir a ser economicamente importantes em um futuro próximo. Em casos isolados, podem ser citados *Macrophomina phaseolina* e os agentes causais de manchas foliares como *Stemphylium solani*, *Ascochyta gossypii*, *Phakopsora gossypii* e *Cercospora gossypina*. Outro patógeno que merece atenção é *Rosellinea* spp., que pode causar apodrecimento de raízes com sintomas semelhantes aos provocados pelo *Fusarium* spp.

Outra questão é a forma de avaliação para o controle de doenças. Para algumas, foram sugeridas a avaliação de severidade (escala de notas), como, por exemplo, as manchas foliares, pois, nesses casos, é mais importante saber qual é a porcentagem de tecido lesionado do que o número de plantas com os sintomas. Para os patógenos de solo e as viroses, principalmente por conta de sua disseminação, a incidência, ou seja, a porcentagem de plantas que apresentam sintomas é, para questões de controle, mais importante que sua severidade.

A seguir, uma sugestão de metodologia de avaliação, níveis de controle e recomendações de manejo das principais doenças ocorrentes em Mato Grosso (Tabela 4).

Tabela 4. Critérios de avaliações das doenças do algodoeiro, níveis de controle e recomendações de manejo

Amostragem	Doenças	Critério de Avaliação	Nível de controle	Recomendação de controle
Caminhamento em zigue-zague, um ponto a cada 2 hectares/5 plantas por ponto, a cada 3-5 dias	**Mancha de ramulária***	***Nota 1:*** planta sem sintomas. ***Nota 2:*** planta com até 5% de área foliar infectada, sem incidência no terço médio. ***Nota 3:*** planta com 5-25% de área foliar infectada com incidência no terço médio. ***Nota 4:*** planta com 25-50% de área foliar infectada e incidência no terço superior. ***Nota 5:*** planta com área foliar infectada acima de 50%, incidência no terço superior e queda de folhas no terço inferior.	Com o aparecimento dos primeiros sintomas (nota 2) e/ou no fechamento entre linhas da cultura.	*Genético*: utilização de cultivares resistentes /tolerantes. *Químico*: aplicações de fungicidas registrados no Mapa. Recomenda-se alternância dos grupos químicos. *Cultural*: rotação de cultura e destruição de soqueiras.
	Ramulose*	***Nota 1:*** planta sem sintomas. ***Nota 2:*** planta com folhas do ponteiro apresentando manchas necrosadas pequenas, de coloração marrom (início das manchas estreladas). ***Nota 3:*** planta com início de redução dos internódios (no ponteiro), além das manchas pequenas. ***Nota 4:*** planta com superbrotamento no ponteiro, além das manchas, mas sem redução acentuada do porte. ***Nota 5:*** planta com superbrotamento, manchas e redução acentuada do porte.	Com o aparecimento dos primeiros sintomas (nota 2) em reboleira.	*Genético*: utilização de cultivares resistentes. *Químico*: aplicação de fungicidas registrados no Mapa. *Cultural*: rotação de cultura; utilização de sementes sadias; destruição de soqueiras.
	Mancha angular	***Nota 1:*** planta sem sintomas. ***Nota 2:*** planta com até 5% de área foliar infectada com coalescência de lesões. ***Nota 3:*** planta com 5-25% de área foliar infectada, coalescência de lesões. ***Nota 4:*** planta com 25-50% de área foliar infectada, coalescência de lesões e início de rasgadura do limbo foliar. ***Nota 5:*** planta com área foliar infectada acima de 50%, coalescência de lesões e intensa rasgadura no limbo foliar.	Não definido	*Genético*: utilização de cultivares resistentes. *Cultural*: rotação de cultura; utilização de sementes sadias; destruição de soqueiras.
	Manchas de mirotécio, alternária, estenfílio e corynespora*	***Nota 1:*** planta sem sintomas. ***Nota 2:*** Infecção leve – plantas apresentando lesões em até 5% da área foliar. ***Nota 3:*** Infecção moderada – planta apresentando lesões entre 5-25% da área foliar. ***Nota 4:*** Infecção severa – plantas apresentando lesões entre 25-50% da área foliar. ***Nota 5:*** Infecção muito severa – plantas apresentando lesões acima de 50% da área foliar.	Com o aparecimento dos primeiros sintomas (nota 2)	*Químico*: aplicação de fungicidas registrados no Mapa. *Cultural*: rotação de cultura; sementes sadias; destruição de soqueiras.
	Mofo branco*	***Nota 1:*** plantas sem sintomas. ***Nota 2:*** presença apenas de micélio branco em pétalas, folhas, hastes ou capulhos. ***Nota 3:*** presença de micélio branco e escleródios em pétalas, folhas, hastes ou capulhos em até dois ramos. ***Nota 4:*** três ou mais ramos afetados e morte de plantas.	Com o aparecimento dos primeiros sintomas (nota 2)	*Químico*: aplicação de fungicidas registrados no Mapa. *Cultural*: exclusão**, densidade de plantas, sementes sadias, rotação de cultura. *Biológico*: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperelum*.

Continua →

Tabela 4. Continuação

Amostragem	Doenças	Critério de Avaliação	Nível de controle	Recomendação de controle
Caminhamento em zigue-zague, um ponto a cada 2 hectares/5 plantas por ponto, a cada 3-5 dias	**Murcha de fusário***	Número de plantas com sintomas da doença.	Preventivo	*Genético*: utilização de cultivares resistentes. *Cultural*: exclusão**, sementes sadias, rotação de cultura.
	Mela*	Número de plantas com sintomas da doença.	Não definido	*Químico*: aplicação de fungicidas registrados no Mapa (tratamento de sementes e aplicação aérea). *Cultural*: época de plantio.
	Viroses	Número de plantas com sintomas da doença.	Cultivares suscetíveis: nível de pulgão até 5%. Cultivares resistentes: nível de pulgão até 40%.	*Genético*: utilização de cultivares resistentes. *Químico*: manter o nível baixo do vetor da doença. *Cultural*: rotação de cultura; destruição de soqueiras.

* Recomenda-se tratamento químico de sementes, utilizando-se produtos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).
** Evitar a introdução do patógeno em áreas isentas.

Para auxiliar o manejo de doenças, seguem dados da reação de diferentes cultivares aos principais patógenos de ocorrência no Estado de Mato Grosso (Tabela 5).

Tabela 5. Reação de cultivares de algodoeiro a doenças e nematoides na safra 2024/25

Cultivares	Fungos					Bactéria	Nematoides				Viroses	
	Mancha de ramularia**			Ramulose	Mancha alvo	Mancha angular	*M. incognita*		*R. reniformis*		Doença azul	Virose atípica
	Isolado 1	Isolado 2	Isolado 3				Resistência*	Tolerância	Resistência*	Tolerância		
BRS 800B3RF	R	R	S	S	MS	S	R	T	S	MI	R	MS
DP 2111B3RF	R	R	S	S	MS	MR	R	T	S	I	R	MR
DP 2252B3XF	MR	S	S	MS	MS	R	S	MT	S	MI	R	MR
DP 2297B3XF	MS	S	S	S	MS	R	S	MI	S	I	R	MR
DP 1949B3RF	MR	S	S	S	MS	R	S	I	S	I	R	MR
FM 911GLTP	S	S	S	MS	MS	R	S	I	S	I	R	MR
FM 912GLTP	S	S	S	S	MS	R	MR	MT	S	I	R	MR
FM 978GLTP	MR	S	S	MS	S	R	S	MI	S	MI	R	MS
FM 945STP	R	R	S	MS	S	R	R	T	MR	T	R	S
FM 990STP	R	MR	S	MS	S	R	S	MT	S	MI	R	S
IAC RDN	MS	S	S	MR	MS	R	MR	MT	S	MT	R	S
IMA 3764B2RF	MR	MR	S	S	MS	R	R	T	S	MI	R	MR
IMA 3010B2RF	R	R	S	S	MS	S	R	T	MR	T	R	MS
IMA 3408B2RF	R	R	S	S	MS	MR	R	T	S	MT	R	MR
IMA 707B3XF	R	R	S	S	MS	S	R	T	S	I	R	MS
IMA 712B3XF	R	R	S	S	MS	S	R	T	S	I	R	MS
IMA 497B3XF	R	R	S	S	MS	S	R	T	S	I	R	MS
TMG 44B2RF	MR	S	S	S	MS	R	S	I	S	I	R	MR
TMG 63XF	MR	S	S	MR	MS	MR	S	MT	S	I	MR	MS
TMG 38B3RF	R	MR	S	S	MS	R	S	I	S	I	R	MR
TMG 33B3RF	R	R	S	S	MS	R	R	MT	S	I	R	MR
ST ÁPEX B3RF	R	R	S	S	MS	R	R	T	S	MI	R	MS

R: Resistente; **MR:** Moderadamente Resistente; **MS:** Moderadamente Suscetível; **S:** Suscetível; **AS:** Altamente Suscetível; **T:** Tolerante; **MT:** Moderadamente Tolerante; **MI:** Moderadamente Intolerante; **I:** Intolerante; **AI:** Altamente Intolerante.

****Mancha de ramularia:** "Isolado 1", *R. pseudoglycines*, originário de Mato Grosso na cultivar IMA 2106 GL; "Isolado 2", *R. pseudoglycines*, originário de MT na cultivar TMG 47B2RF; "Isolado 3", *R. gossypii*, originário de MT na cultivar IMA 5801B2RF. Atentar para o local de plantio, pois o fungo patogênico apresenta **alta variabilidade** no Brasil.

***Resistência:** Avaliação de resistência aos nematoides em condições de casa de vegetação. **Resistentes:** genótipos com população final de nematoide entre 0 a 10% do valor obtido no padrão de suscetibilidade (FM 966); **Moderadamente Resistente:** 11 a 30% da população final obtida no padrão de suscetibilidade e **Suscetível:** >30% da população obtida no padrão de suscetibilidade.

Mancha de ramularia: *Ramulariopsis pseudoglycines* "Isolados 1 e 2" são origens diferentes do fungo, e *Ramulariopsis gossypii* "Isolado 3"; **Ramulose:** *Colletotrichum gossypii* South. var. *cephalosporioides*; **Mancha-alvo:** *Corynespora cassiicola*; **Mancha angular:** *Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*; **Nematoides:** *Meloidogyne incognita* e *Rotylenchulus reniformis*; Virose **Doença azul:** Cotton leafroll dwarf virus (CLRDV); **Virose atípica:** "mosaico das nervuras atípico", genótipo do CLRDV.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: rafaelgalbieri@imamt.org.br

Jacob Crosariol Netto
IMAmt

Guilherme Gomes Rolim
IMAmt

Paulo Idimar Saran
Consultoria

CAPÍTULO 5.7

Manejo integrado de pragas no algodoeiro em Mato Grosso

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13, com autoria de Miguel Soria e Paulo Degrande. Foi atualizado na reedição de 2014/15, por Paulo Degrande e Miguel Soria. Jacob Crosariol Netto, Guilherme Rolim e Geraldo Papa foram responsáveis pela atualização da edição de 2019/20. Para esta edição de 2025, o capítulo foi novamente atualizado por Jacob Crosariol Netto, Guilherme Rolim e Paulo Saran.

Ao longo dessas atualizações sucessivas, partes dos capítulos anteriores podem ter sido reutilizadas pelos novos autores. Assim, o documento atualizado desta edição de 2025 pode ser considerado o resultado de um trabalho em equipe, com a contribuição de todos os autores citados anteriormente. Os autores agradecem aos autores das edições anteriores pelo aproveitamento de parte do texto e das informações geradas em conjunto com a equipe de pesquisa do IMAMT e com os produtores da Ampa, apresentadas ao público de forma sintética.

Introdução

Atualmente, o Brasil é considerado o principal exportador mundial de pluma. A cada safra, a cultura do algodoeiro ganha mais importância, consolidando-se como uma das principais culturas para compor o sistema de cultivo, principalmente nas regiões do Cerrado brasileiro. Apesar de a maior área semeada no cronograma de plantio ocorrer em situação chamada de segunda safra, este cultivo já pode ser considerado como a principal fonte de renda para muitos produtores. Os benefícios são muitos e vão além da rentabilidade, incluindo a diluição dos riscos climáticos e os custos de produção outrora pagos pela soja e, muitas vezes, empatados pelo risco do cultivo do milho "safrinha".

Quando a cotonicultura avançou para o Cerrado, havia muita demanda por mão de obra qualificada, por ser um cultivo exigente. Sendo assim, houve a necessidade da busca e formação de novos profissionais, muitas vezes aprendendo na prática, gerando uma importância de grande impacto social, impacto este maior do que nas culturas de soja e milho, que até aquele momento eram consideradas culturas "menos técnicas", do ponto de vista entomológico, do que o próprio algodoeiro.

Muitas das informações iniciais demandadas por este cultivo no Cerrado vieram de outras regiões, como Paraná e São Paulo, consideradas verdadeiros polos de produção dessa malvácea, nas décadas de 1980 e 1990. No entanto, nem tudo se aplicou de maneira semelhante, sendo os ajustes técnicos aplicados ao Cerrado e moldados de maneira gradativa.

Essa difusão de informações fez com que novas técnicas fossem gradativamente incorporadas ao manejo das lavouras, que foram com isso melhoradas safra após safra, adaptando-se a uma nova realidade da cotonicultura no Cerrado. Dentre as informações difundidas inicialmente, a necessidade de monitorar as lavouras talvez tenha sido a mais importante para dar a segurança necessária frente ao alto investimento para a implantação, a colheita e o beneficiamento do algodoeiro.

Com o passar das safras, as boas experiências e os bons resultados ob-

tidos com a cultura do algodão fizeram com que culturas como soja e milho passassem a adotar a estratégia dos amostradores técnicos de campo, popularmente conhecidos como "monitores" ou "pragueiros". No entanto, esse avanço, de certa forma, trouxe um impacto negativo ao algodoeiro, pois, ao incluir a soja e o milho dentro dos programas de monitoramento, as fazendas diluíram a prioridade das amostragens no algodoeiro. Entretanto, houve a necessidade de compensar esta situação por meio da contratação novos colaboradores, dando origem a uma segunda geração de profissionais especializados e dedicados a aperfeiçoar os manejos culturais do algodão, nascendo então os coordenadores, gerentes e consultores técnicos.

Com a inclusão do monitoramento das culturas de soja e milho, descobriu-se a necessidade de entender cada vez mais o sistema produtivo implantado no Cerrado como um todo. Esse entendimento tornou o manejo de pragas mais eficiente, uma vez que, neste ambiente, insetos considerados pragas, na sua grande maioria, apresentam hábitos polífagos, tornando as culturas que compõem o sistema alvos constantes de sua ocorrência e proliferação.

Devido ao seu período de plantio e por apresentar ciclo mais longo se comparado ao das culturas de milho e soja, as lavouras de algodão tornaram-se verdadeiros oásis para artrópodes, que se dispersam naturalmente nesta cultura, buscando no algodoeiro seu "novo" nicho de ocorrência.

Das aproximadamente 250 espécies de insetos que povoam as lavouras de algodão, cerca de 30 a 35 espécies podem ser consideradas pragas no Brasil, ou seja, espécies que causam danos e geram impacto negativo na produtividade deste cultivo. Apesar desse número alto, normalmente, em cada safra, são cinco ou seis espécies as que se apresentam de maneira mais crítica, demandando as principais ações necessárias para o controle populacional; caso contrário, sua ocorrência pode elevar riscos à produção e gerar maior impacto no aumento dos custos de produção.

A variação da importância dos insetos-praga em cada safra ocorre de maneira regional, sendo influenciada por fatores que podem ser controlados ou não controlados. Dentre os **fatores controlados** destacam-se: o monitoramento e controle das populações de pragas no final de safra; qualidade da destruição de restos culturais; controle de plantas voluntárias em cultivos que não sejam o algodoeiro; sistema de plantio adotado; uso ou não de cultivos de cobertura (brachiária, crotalária, mix de plantas, etc.); cultivo mínimo; ciclo vegetativo (precoce ou tardio); escolha de cultivares; tecnologias transgênicas que podem conter proteínas de ação inseticida e/ou resistência e tolerância a uma série de herbicidas; e, por fim, sanidade quanto a doenças (tolerância e resistência a patógenos transmissíveis ou dissemináveis). Alternativamente, esta variação pode estar ligada a **fatores não controlados**, como condições climáticas, tipos de solo, microclimas regionais, distribuição de chuvas, paisagem agrícola, qualidade e manejo realizado nas lavouras de uma mesma região.

Para um bom uso do Manejo Integrado de Pragas, seria necessário conhecer todos ou pelo menos a maioria dos artrópodes existentes nesse ambiente, para assim avaliar não só os impactos das ações sobre os insetos nocivos, mas também a seletividade dos produtos quanto aos insetos benéficos e neutralistas (coexistentes).

Conhecendo e classificando os artrópodes e os microrganismos

Independentemente do grau de risco, se um artrópode causa impacto na produtividade do algodoeiro, ele deve ser considerado uma praga, sendo que seu potencial de dano depende de vários fatores ecológicos e comportamentais. É importante conhecer aspectos como sua distribuição, capacidade de deslocamento, se é ou não um inseto vetor de doenças, suas preferências, o tipo de dano provocado e o período de ocorrência na lavoura e no sistema. Esses fatores devem ser conhecidos para um melhor entendimento e construção de estratégias de manejo mais efetivas.

Além das pragas, existem os artrópodes que não causam danos ao cultivo e trazem benefícios relevantes ao sistema. Esses agentes são classificados como inimigos naturais, pois atuam como controladores naturais de pragas, utilizando estratégias como parasitismo e predação. Existem também agentes polinizadores que, ao estarem presentes no cultivo, aumentam a taxa de polinização das flores, impactando positivamente na produção.

Existem ainda outros insetos que convivem no mesmo ambiente dos insetos-praga ou benéficos, mas não causam danos à produção nem proporcionam algum tipo de benefício à cultura.

Esses organismos simplesmente hospedam-se na lavoura, coexistindo em determinadas estruturas da planta ou no solo, onde atuam como decompositores ou necrotróficos.

Os microrganismos (vírus, fungos e bactérias) têm impacto relevante sobre a entomofauna, podendo apresentar efeitos entomopatogênicos, ou seja, que interferem diretamente na dinâmica populacional de insetos, reduzindo ou controlando suas populações. É importante salientar que esses agentes são totalmente dependentes de condições específicas para sua funcionalidade, sendo sua ocorrência natural ou até mesmo provocada por meio de pulverizações (controle biológico inundativo).

Distribuição de insetos e seus danos

Quanto à distribuição de um inseto, ela pode ser **generalizada**, quando ele ocorre em todas ou praticamente todas as regiões que cultivam determinada cultura, independentemente das tecnologias utilizadas, das épocas de plantio ou das condições climáticas; ou **regionalizada**, quando ocorre em regiões que apresentam condições favoráveis e/ou específicas que facilitam ou auxiliam na adaptabilidade ou no aumento populacional da espécie em questão.

Quanto à sua capacidade de deslocamento, podem ser **dispersantes**, quando se deslocam a curtas distâncias, geralmente entre vizinhos (para estes grupos de insetos, os manejos individuais ou regionais prolongam a "vida" dos produtos); ou podem ser **migrantes**, quando se deslocam a longas distâncias, por todo o território nacional, podendo também se deslocar a curtas distâncias (para estes grupos de insetos-praga, os manejos individuais estão expostos aos manejos de outras áreas).

Quanto ao tipo de ocorrência, podem ser **permanentes**, quando ocorrem em todas as safras ou durante todo o ciclo fenológico da cultura; ou **esporádicos**, quando ocorrem de maneira pontual, não influenciados por fatores externos, como clima favorável ou plantas hospedeiras ou multiplicadoras; ou em **expansão**, quando ocorrem em novas lavouras ou regiões de forma progressiva, ou porque têm sua importância aumentada pelo crescimento populacional que eleva os danos ou passa a causar prejuízos, passando de importância terciária para secundária ou primária. Em resumo, a expansão pode ser territorial ou de importância econômica.

Quanto à sua importância, podem ser **primárias**, se consideradas as mais importantes para a cultura ou para o sistema produtivo da região, pela grande capacidade de danos ou pelos altos custos de controle. Geralmente são permanentes e provocam danos crônicos ou agudos, sendo a "chave" para as aplicações. Ou podem ser **secundárias** e **terciárias**, quando têm menor importância para o período da cultura ou para o sistema produtivo da região, devido à baixa capacidade de causar danos ou aos baixos custos de controle. Na maioria das vezes, são esporádicas, estão em expansão ou provocam danos agudos, sendo controladas simultaneamente pelos produtos utilizados para as primárias.

Quanto ao tipo de dano provocado, pode ser **direto**, quando o ataque danifica diretamente a estrutura reprodutiva (flores, vagens, grãos, botões florais, flores, frutos) ou mata a planta atacada, reduzindo essas estruturas. Ou pode ser **indireto**, quando é capaz de provocar danos em alguma estrutura, como as folhas ou hastes, que refletem na redução de estruturas reprodutivas ou na qualidade da produção pela redução da capacidade fotossintética da planta; ou ainda quando atua na transmissão de patógenos que comprometem a sanidade da planta. Tanto os danos diretos quanto os indiretos podem ser

crônicos, quando os sintomas do ataque provocam danos permanentes ou irreparáveis na planta atacada; ou podem ser **agudos**, quando ocorre um pico populacional gerando potencial risco à produção. Geralmente insetos-praga de danos agudos têm ocorrência intermitente.

Quanto ao período de ocorrência na lavoura, podem ser do estabelecimento, quando causam falhas de "stand", cortando plantas ou prejudicando o desenvolvimento, injetando toxinas ou destruindo o meristema apical, tornando a planta inviável ou dominada; do vegetativo, quando causam danos de desfolha ou corte de estruturas vegetativas (ramos e pecíolos), reduzindo a capacidade fotossintética da planta; do reprodutivo, quando causam danos nas estruturas reprodutivas (flores e frutos), reduzindo a produtividade ou a qualidade; ou do final de ciclo da cultura, quando causam danos próximos ao período de senescência da planta, podendo afetar parte da produtividade e, principalmente, a sua qualidade antes da colheita ou durante o armazenamento.

Manejo Integrado de Pragas e Manejo Estratégico de Pragas

O manejo integrado de pragas (MIP) consiste em um conjunto de táticas que visam auxiliar o produtor a evitar perdas pelo ataque de insetos e/ou ácaros, levando em consideração três fatores: o social, que relaciona aspectos de segurança e respeito aos envolvidos no manejo de pragas da propriedade (por exemplo, uso de equipamento de proteção individual (EPI) por quem manipula ou aplica os defensivos, ou oportunidade de trabalho e emprego); o ambiental, que relaciona o impacto das ações de controle no meio ambiente (por exemplo, evitar derivas, armazenamento adequado dos defensivos agrícolas e descarte correto e seguro de embalagens vazias); e o econômico, que leva em conta a eficiência das táticas de controle sobre as pragas, de maneira a evitar as perdas financeiras ocasionadas pelos ataques desses organismos e possibilitar o retorno econômico esperado pela atividade.

Para que todo programa de MIP tenha sucesso, é necessário o desenvolvimento de várias estratégias, o que é conhecido como Manejo Estratégico de Pragas (MEP).

Para o desenvolvimento do MEP, além dos preceitos do MIP é necessário o conhecimento do comportamento e da capacidade de dano dos insetos-praga na região em questão; ou seja, o MEP nada mais é do que um programa de MIP realizado por uma equipe experiente e competente.

Tanto para o **MIP** quanto para o **MEP**, devemos manter os cuidados com a segurança e a saúde dos envolvidos no processo, disponibilizando equipamentos de proteção individual adequados para os produtos a serem manipulados, sinalizando as áreas de manipulação e aplicação, além de respeitar ao ambiente em risco direto, armazenando os defensivos adequadamente e evitando vazamentos e derivas. Para outros ambientes, deve-se dar destino adequado às embalagens descartadas (recipientes, tampas, lacres e caixas), e se assegurando de cuidados no transporte, destruição e ou reciclagem dessas embalagens.

Em comparação ao passado, atualmente devemos entender que a planta não poderá mais sofrer pequenas desfolhas ou perdas de estruturas reprodutivas, sendo necessária a atualização dos parâmetros de ação. Isso se deve ao fato de que, a cada safra, os programas de melhoramento genético lançam cultivares mais precoces e sensíveis, sendo essas plantas mais eficientes na sua capacidade fotossintética e apresentando naturalmente uma maior retenção de estruturas, com baixa capacidade de compensação em caso de perdas.

Responsabilidades dos Amostradores Técnicos de Campo

Todo bom programa de MIP ou MEP, na prática, tem como a base para as tomadas de decisão as amostragens, sendo estas uma engrenagem fundamental para o bom funcionamento do programa. Portanto, é essencial contar com um bom amostrador ou monitor de campo.

Os amostradores e/ou monitores são responsáveis por detectar e alertar sobre a existência de problemas. Devem conhecer as características de resistência, tolerância ou suscetibilidade às doenças das cultivares a serem semeadas, bem como a vulnerabilidade dessas cultivares ao ataque de pragas ou ao agravamento de ocorrências de doenças associadas à fisiologia da planta. Esse profissional deve acompanhar a evolução da ocorrência das pragas em outras culturas que possam servir como fornecedoras de insetos dispersantes para a cultura do algodão. São eles que vão detectar o aparecimento de pragas nocivas à

cultura em questão, mas precisam ter uma visão do sistema de cultivo como um todo.

Esse profissional deverá fazer o reconhecimento da praga em si, sempre considerando o sistema de cultivo como um todo, mesmo antes da instalação das lavouras. Em algumas situações, pode ser necessária a antecipação do controle de forma estratégica ou profilática. Além disso, deve, acompanhar e monitorar ervas invasoras, identificando espécies e estádios vegetativos, denunciando a necessidade de controle ou manejo dessas invasoras, que corriqueiramente são hospedeiras de insetos ou ácaros praga.

Durante o processo de monitoramento, o monitor deve estar atento a todos os sinistros e adversidades que possam comprometer a produtividade dos campos, fazendo apontamentos como injúrias, deficiências nutricionais, faixas de aplicação sobrepostas ou distantes. Deve também realizar coletas de amostras para análises, tanto de solo quanto foliares, acompanhar o desenvolvimento vegetativo da cultura por meio de medições de altura das plantas e comprimento dos entrenós, além de realizar a contagem de estruturas produtivas. É responsabilidade do amostrador orientar, regular e dar acompanhamento técnico a todas as práticas operacionais de preparo do solo, tratamento e armazenagem de sementes e limpeza de máquinas, desde a pré-semeadura até a pós-colheita.

Além disso, um bom monitor deve estar inteirado e participando de todo o processo operacional que envolve a condução de lavouras, garantindo a quantidade correta de sementes por metro linear, com a profundidade adequada da semente e o correto posicionamento do adubo, assegurando uma distribuição uniforme das plântulas e um stand ideal (recomendado a depender da cultivar e do sistema de cultivo).

Ele deve participar também de maneira efetiva na orientação do armazenamento de defensivos agrícolas, fiscalizando datas de vencimento, empilhamento máximo permitido de embalagens, identificando vazamentos, acompanhando dosagens, diluições e combinações dos produtos em calda, garantindo o uso correto da vazão, das doses recomendadas e a distribuição adequada da calda, além de acompanhar o processo de colheita. Embora todas essas atividades possam ser atribuídas aos amostradores técnicos de campo, poderá haver uma separação de ações por função.

Como prioritárias para um bom desempenho das estratégias do MIP, destacam-se:

- Conhecer o ambiente e as tecnologias a serem monitoradas, assim como os principais insetos nocivos à cultura, podendo identificá-los em suas fases, identificar seus danos e conhecer seus comportamentos, histórico de ocorrências e fatores que possam influenciar a dinâmica das populações, acelerando ou desacelerando seus ciclos biológicos, como condições climáticas, sistemas de cultivo que hospedam e multiplicam as pragas, entre outros, bem como suas rotas de entrada e saída das lavouras.
- Conhecer os principais insetos benéficos e neutralista, bem como suas influências e benefícios para o equilíbrio das populações de insetos-praga.
- Conhecer ou desenvolver técnicas e sistemas de organização de dados e de monitoramento que facilitem a amostragem, a análise e a representatividade das populações, identificando as diferentes espécies em suas fases nocivas à planta ou antecipando os danos, monitorando

a fase cronológica que precede o potencial de danos, por meio de indicadores instalados nas lavouras monitoradas ou de mapas de infestação e distribuição de ocorrências.
- Conhecer os níveis de danos econômicos ou níveis de controle para cada inseto-praga e para o período avaliado, decidindo pelo método mais adequado a ser utilizado.
- Conhecer os produtos, seus ingredientes ativos, concentrações, formulações e modos de ação, para um melhor posicionamento, sempre respeitando as recomendações de dose, épocas de uso, número de apliçações, entre outros.

1. Táticas e estratégias de controle

Várias são as estratégias que podem ser utilizadas em um Programa de Manejo Integrado de Pragas, e é fundamental conhecer cada tática para entender quais poderão ser utilizadas para elaborara uma estratégia de controle bem-sucedida.

Dentre as principais táticas de controle de pragas, sete métodos destacam-se na cultura do algodoeiro.

- O controle químico é quando se utiliza de produtos inseticidas ou acaricidas em pulverizações ou em tratamento de sementes.
- A resistência de plantas é quando se utiliza de cultivares geneticamente modificadas, sendo do ponto de vista entomológico, cultivares que carregam proteínas inseticidas para o controle de insetos da ordem Lepidoptera (lagartas) e/ou cultivares resistentes ou tolerantes a nematoides e doenças.
- O controle cultural é quando se utiliza do preparo do solo, rotações de culturas, destruição de restos culturais obedecendo datas de plantio e colheita e do vazio sanitário vigente em cada região.
- O controle biológico é quando se utiliza de parasitas e predadores liberados nas lavouras ou de pulverizações de agentes entomopatogenicos como Bt (*Bacillus thuringiensis*), vírus (NPV) e fungos previamente registrados para o alvo em questão.
- O controle comportamental é quando se utiliza de armadilhas e/ou aplicações de feromônios e iscas atrativas alimentares como ferramentas de monitoramento ou supressão/moderação de pragas.
- O controle físico é quando se utiliza de algum método mecânico para moderação ou controle de populações de pragas, os principais exemplos são as gradagens para controle mecânico de pupas e insetos de solo.
- O controle legislativo é o cumprimento do vazio sanitário, sendo necessária uma visão coletiva, pra evitar possíveis irregularidades no cumprimento de datas por que coloquem em risco a região produtora.

Além dos conhecimentos básicos, para o bom desempenho das funções dos Amostradores Técnicos de Campo é importante a ideia de capacitação e aprimoramentos técnicos periódicos e constantes para atualizar as sugestões e informações disponíveis.

Observação: Consultas sobre feromônios, inseticidas químicos e biológicos registrados para uso na cultura do algodoeiro podem ser realizadas acessando-se, na internet, o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários - Agrofit, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

1.1. Inseticidas e acaricidas

A intensificação da agricultura no cerrado tem trazido muitos benefícios econômicos para a sociedade, gerando riqueza e distribuição de renda, otimizando o uso do solo, diluindo os custos operacionais e gerando novas oportunidades de negócio. No entanto, com o crescimento das áreas de cultivo, surgem muitos desafios que envolvem questões como logística, armazenamentos, estruturações, capacitação de pessoas, gestão administrativa e sustentabilidade.

Um dos desafios é a crescente evolução na dinâmica populacional dos insetos-praga principalmente em regiões tropicais. Devido às temperaturas compatíveis e à farta disponibilidade de alimento e abrigo, algumas espécies são totalmente favorecidas, o que torna a capacidade técnica e a administração dos custos com defensivos um desafio para garantir a rentabilidade no sistema.

Fatores como primeira safra, segunda safra, sequeiro, irrigado e tipo de cobertura criam, no ambiente produtivo, rotações e sucessões de forma simultânea, tornando as tomadas de decisão cada vez mais complexas.

O impacto desse aumento populacional frenético e a não utilização de um programa robusto de MIP estão totalmente ligados à elevação do número de aplicações e ao uso mais frequente de inseticidas, acelerando o processo de seleção de populações de pragas resistentes ou ainda tornando o ambiente mais propício para a multiplicação de insetos não alvo, desencadeando, inclusive, aumento dos riscos de contaminação ambiental.

Dessa forma, o conhecimento do funcionamento da molécula inseticida (grupo químico, modo de ação, seletividade) é fundamental, entendendo-se que o controle químico é uma ferramenta dentro de um programa de MIP e deve ser utilizado em conjunto com as demais técnicas de manejo.

A qualidade dos novos defensivos, com o descobrimento de novos grupos químicos e modos de ação, maior seletividade a insetos benéficos, doses mais seguras e maior segurança ambiental, contribui significativamente para a redução de riscos de intoxicação, facilitando, inclusive, a armazenagem e o transporte. Isso tem contribuído para um manejo mais racional no controle de pragas e maior segurança aos agricultores, iniciando-se uma substituição gradativa dos grupos químicos de pesticidas mais tóxicos e de amplo espectro de ação por grupos menos tóxicos e mais seletivos.

Em contrapartida, no cenário atual, vindo ao encontro do anseio dos produtores em reduzir os custos de produção, surgem no mercado empresas, principalmente no segmento de moléculas pós-patente (genéricos), que apresentam defensivos de menor custo. No entanto, ao longo das últimas safras, observou-se que muitos destes produtos apresentam qualidade inferior quando comparados ao produto referência (original). Essa diferença se dá devido a diferentes de formulações e/ou à presença de materiais, principalmente inertes de baixa qualidade, impactando e afetando a performance e a permanência do ingrediente ativo no ambiente. Consequentemente, isso desencadeia uma série de efeitos que impactam no aumento das doses e reaplicações, muitas vezes de maneira sequencial, encurtando significativamente a vida útil da molécula, gerando um cenário de maiores problemas com pragas e aumento do custo de produção.

Portanto, os inseticidas e acaricidas utilizados para o controle das pragas devem apresentar controle superior a 80% de eficácia sobre o alvo, devem estar registrados para uso na cultura e ser utilizados dentro dos intervalos das dosagens recomendadas no registro. O uso de subdosagens (menores que o recomendado) ou superdosagens (maiores que o recomendado) contribui para que as pragas se tornem resistentes mais rapidamente aos produtos utilizados. Ao optar pela escolha de inseticidas genéricos, deve-se obedecer aos preceitos citados anteriormente e garantir a qualidade e a performance do produto.

A rotação do uso de produtos com diferentes modos de ação, utilizando blocos ou janelas de grupos químicos (conforme modelos abaixo propostos pelo IRAC-Br, na Figura 1) ao longo do ano agrícola, contribui para retardar a resistência das pragas aos produtos utilizados e para assegurar a eficiência de controle pelo defensivo por várias safras. Deve-se levar em conta o modo de ação dos produtos já utilizados na cultura na safra anterior, especialmente quando o cultivo do algodoeiro ocorre em modalidade de segunda safra. Essas são táticas do manejo da resistência de insetos (MRI), que está inserido no MIP. Nesse contexto, deve-se dar preferência a produtos menos tóxicos e mais seletivos aos inimigos naturais (para mais informações, consultar a Circular Técnica IMAmt nº 14).

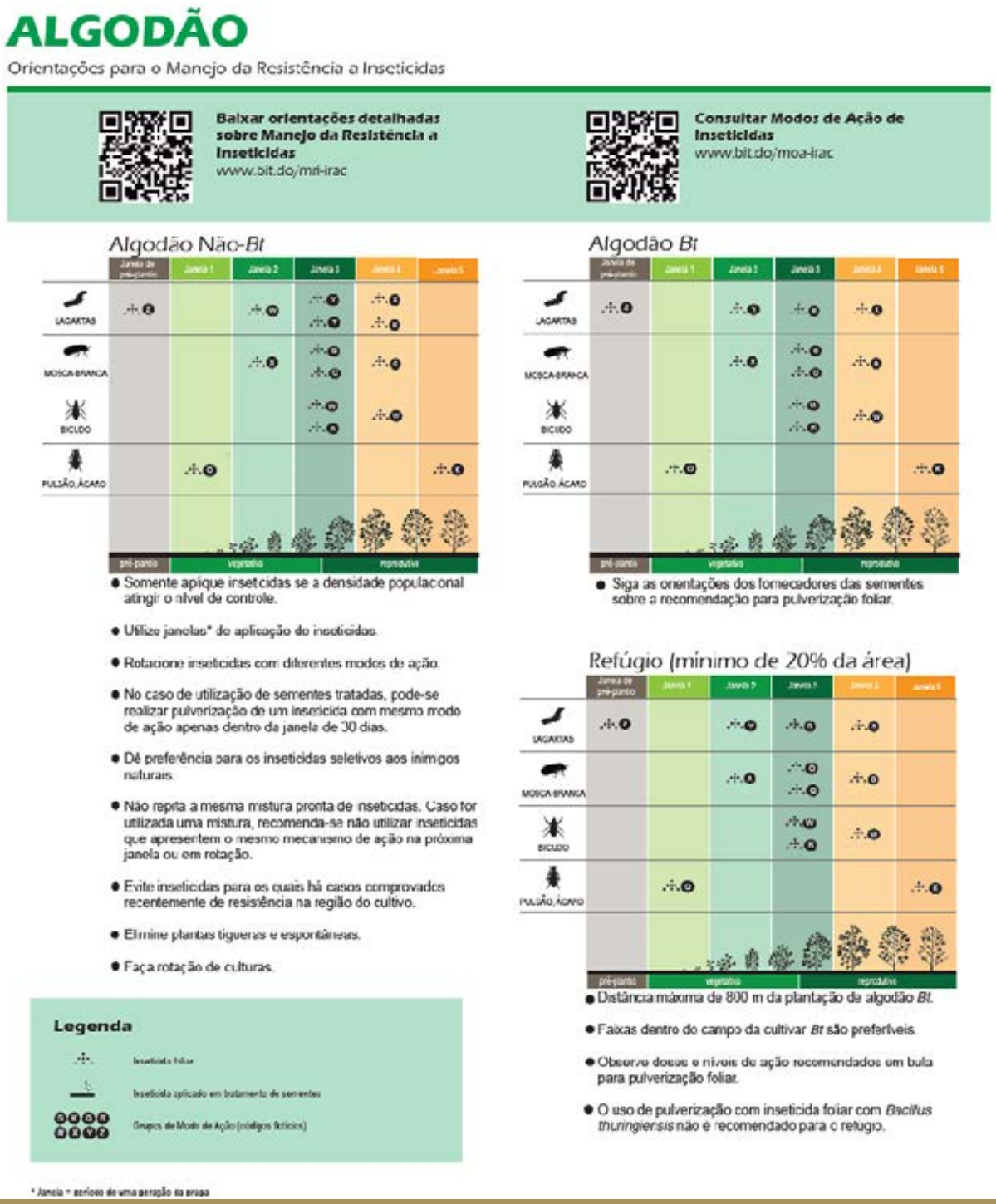


Figura 1. Orientações para manejo de resistência a inseticidas propostas pelo Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas Brasil (Fonte: IRAC-Br)

1.2. A escolha de cultivares e o algodão *Bt*

As cultivares de algodão Bt surgiram como uma ferramenta revolucionária para o manejo de lepidópteros praga. No Brasil, a cultura do algodão foi a pioneira na introdução das tecnologias Bt, sendo portanto, liberada comercialmente no cenário nacional em 2005, com o evento Bollgard I. Desde então, passaram-se 20 anos e, no mercado nacional, surgiram novas construções e opções para o controle de lepidópteros. Estas novas construções foram motivadas principalmente pelo objetivo de aumentar a performance de controle principalmente sobre *Spodoptera frugiperda*, esta considerada a principal espécie de lepidóptero-praga do Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Tecnologias de algodoeiro Bt liberadas comercialmente no Brasil (Fonte: CTNBio)

Tecnologia	Proteína expressa	Ano de liberação
Bollgard I	Cry1Ac	2005
Widestrike	Cry1Ac + Cry1F	2009
Bollgard II	Cry2Ab2 + Cry1Ac	2009
TwinLink	Cry1Ab + Cry2Ae	2011
Bollgard III	Vip3A + Cry1Ac + Cry2Ab2	2016
TwinLink Plus	Cry1Ab + Cry2Ae + Vip3A(a)	2017
WideStrike 3	Cry1Ac + Cry1F + Vip3A	2018
Seletio TwinLink Plus	Cry1Ab + Cry2Ae + Vip3A(a)	2019

De modo geral, levando-se em consideração o complexo de espécies de lepidópteros que são consideradas pragas da cultura do algodoeiro, as biotecnologias, independentemente da composição, têm apresentado bons resultados de eficiência de controle. No entanto, as tecnologias Bt atualmente não têm trazido grandes benefícios para o controle de espécies como *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea*. Ambas as espécies atualmente vêm causando danos significativos ao algodoeiro nas principais regiões produtoras.

A busca por produtividade crescente, não apenas no algodão, mas também em outros cultivos, provoca, muitas vezes, uma falta de planejamento, influenciando na não adoção das áreas de refúgio estruturado. Aliado a isso, a coexistência de cultivos expressando as mesmas proteínas inseticidas exerce uma pressão de seleção acelerada, sendo esses fatores, embora não exclusivos, os principais responsáveis pela seleção de populações resistentes no campo.

Atualmente, a escolha das variedades está relacionada principalmente a outras características que vão além simplesmente das proteínas (Cry ou VIP). Fatores como teto produtivo, rendimento de fibra, qualidades intrínsecas desejáveis, resistências e tolerâncias a doenças, nematoides e herbicidas também são fatores importantes para a escolha da cultivar dentro de uma propriedade.

Para o controle de *Spodoptera frugiperda*, independentemente da escolha da cultivar Bt, todas as tecnologias disponíveis ficaram abaixo do esperado. Desde a safra 2015/2016, o IMAmt vem monitorando as populações mato-grossenses de *S. frugiperda*. Ao longo da última década, observa-se como a característica da população mudou (Figura 2).

Apesar do gráfico representado na Figura 2 mostrar 0% de viabilidade larval de lagartas de *S. frugiperda*, desde a safra 2022/2023, cerca de 30-40% dessas lagartas conseguem se desenvolver nos bioensaios até o estádio de pré-pupa, ou seja, lagartas que, em condições de campo, são capazes de causar danos significativos em cultivos de algodão. Esses dados corroboram as observações em campo, sendo que, ao longo das últimas safras, observou-se com frequência lagartas de *S. frugiperda* causando danos significativos em cultivares de algodão que expressam um conjunto de proteínas, e dentre elas a proteína VIP3.

Na safra 2022/2023 observou-se *S. frugiperda* acometendo significativamente lavouras de milho e algodão VIP no Estado do Maranhão e no Oeste da Bahia Esses danos foram novamente observados na safra 2024/2025 no estado de Mato Grosso, com a mesma intensidade, demonstrando que o problema se agravou. Além de *S. frugiperda*, na safra 2012/2013, a recém-chegada ao Brasil *Helicoverpa armigera* já acometia cultivos de algodão Bt. Na época, essas observações foram constatadas nas biotecnologias Bollgard I, Bollgard II, Widestrike e TwinLink.

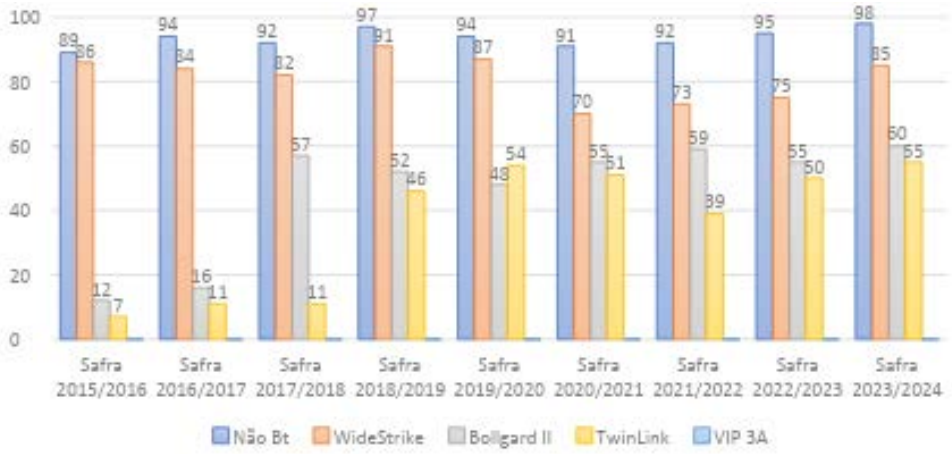


Figura 2. Viabilidade larval de *Spodoptera frugiperda* alimentada com folhas de cultivares de algodoeiro de diferentes tecnologias. Primavera do Leste, MT. Safra 2024/2025

Ao longo dos anos, com as mudanças ocorridas do ponto de vista biotecnológico, outras espécies passaram a ganhar importância, como *Helicoverpa zea* na safra 2020/2021. Tanto para a cultura do milho quanto para a cultura do algodão, *S. frugiperda* e *H. zea* atingiram uma ampla capacidade de expansão territorial, o que naturalmente intensifica a ocorrência populacional e a necessidade de pulverizações em ambas as culturas para as próximas safras.

As maiores intensidades de ataque em algodão VIP aparentemente estão relacionadas à proximidade e ao sucesso ou fracasso no controle dessas pragas nas lavouras de milho VIP. Embora as mariposas migrem e dispersem, a dispersão parece ter grande influência na intensidade dos ataques às lavouras de algodão; ou seja, quanto mais próximas estiverem as lavouras de algodão das lavouras de milho, mais intensos serão os ataques.

Quando uma tecnologia *Bt* começa a falhar – ou seja, quando a praga-alvo ultrapassa a linha de frequência crítica – e essa falha passa a ser percebida pelos monitoramentos, ocorrem prejuízos à produção estimada, aumento nos custos para preservar a produtividade esperada pelo aumento do número de pulverizações com produtos até então não programados, o que provoca elevação nos custos de produção e no preço dos produtos devido à alta demanda do período.

Abaixo, apresentam-se duas tabelas comparativas entre as eficácias esperadas (geradas pelas empresas) e as eficácias observadas a campo. As eficácias destacadas em vermelho indicam resultados diferentes e ou inferiores aos esperados.

Tecnologias atuais e eficácias esperadas

Tecnologia	Proteínas	*Elasmopalpus lignosellus*	*Alabama argillacea*	*Chrysodeixis includens*	*Heliothis virescens*	*Helicoverpa zea*	*Spodoptera frugiperda*	*Spodoptera eridania*	*Pectinophora gossypiella*
Bollgard	Cry 1Ac	MR	AR	S	AR	S	AS	AS	AR
Bollgard II	Cry 1Ac + Cry2Ab2	MR	AR	AR	AR	MR	MR	MR	AR
Bollgard III	Cry 1Ac + Cry 2Ab2 + Vip 3a	MR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
Twinlink	Cry 1Ab + Cry 2 Ae	MR	AR	AR	AR	MR	MR	MR	AR
Twinlink Plus	Cry 1Ab + Cry2Ae + Vip 3a	MR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
WideStrike	Cry 1Ac + Cry 1F	MR	AR	AR	AR	S	AR	AR	AR
WideStrike III	Cry 1Ac + Cry1F + Vip 3a	MR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR

AS – Alta suscetibilidade **S** – Suscetílidade **MR** – Moderada resistência **AR** – Alta resistência **I** – Imunidade

Tecnologias atuais e eficácias sugeridas

Tecnologia	Proteínas	*Elasmopalpus lignosellus*	*Alabama argillacea*	*Chrysodeixis includens*	*Heliothis virescens*	*Helicoverpa zea*	*Spodoptera frugiperda*	*Spodoptera eridania*	*Pectinophora gossypiella*
Bollgard	Cry 1Ac	S	AR	S	AR	AS	AS	AS	AR
Bollgard II	Cry 1Ac + Cry 2Ab2	MR	AR	AR	AR	S	S	MR	AR
Bollgard III	Cry 1Ac + Cry 2Ab2 + Vip3a	MR	AR	AR	AR	S	S	AR	AR
Twinlink	Cry 1Ab + Cry 2Ae	MR	AR	AR	AR	S	S	MR	AR
Twinlink Plus	Cry 1Ab + Cry 2Ae + Vip3a	MR	AR	AR	AR	S	S	AR	AR
WideStrike	Cry 1Ac + Cry 1F	S	AR	MR	AR	AS	AS	MR	AR
WideStrike III	Cry 1Ac + Cry 1F + Vip3a	MR	AR	AR	AR	S	S	AR	AR

AS – Alta suscetibilidade **S** – Suscetílidade **MR** – Moderada resistência **AR** – Alta resistência
I – Imunidade

Refúgio: Com o intuito de evitar ou retardar o processo de seleção de populações resistentes a cultivos Bt, recomenda-se a adoção de técnicas de manejo da resistência, que consistem na utilização conjunta de ações e o uso de boas práticas agrícolas, que envolvem:

a. **Utilização da área de refúgio:** trata-se de uma área cultivada destinada a atuar como fornecedora de indivíduos (normalmente adultos - mariposas) não resistentes (suscetíveis) à tática de controle, como inseticida ou variedade Bt. Seu objetivo é multiplicar no ambiente indivíduos suscetíveis, para que acasalem com eventuais indivíduos resistentes presentes na área com a variedade Bt ou com o uso de determinado modo de ação de inseticida. Dessa forma, resulta em descendentes, ou na próxima geração, suscetíveis ao inseticida em questão ou às toxinas Bt que a planta expressa, aumentando a vida útil da tecnologia para o produtor. A ação faz parte do que se chama de manejo da resistência de insetos (MRI) às táticas de controle, que integra o MIP. A resistência às toxinas de Bt pode ser decorrente de fatores genéticos, sendo essa uma característica herdável, cuja frequência no ambiente pode aumentar de uma safra a outra, uma vez que indivíduos resistentes existem naturalmente em uma população da praga e, ao sofrerem constante pressão de seleção pela toxina de Bt expressa na planta – sobrevivendo e cruzando entre si –, a frequência de indivíduos resistentes na população (ambiente) aumenta, acarretando em falhas de controle. Por isso, a área de refúgio de tamanho adequado é uma estratégia fundamental da boa prática agrícola (variedade não Bt), pois mantém um fluxo contínuo de indivíduos suscetíveis no ambiente (Figura 3). Quando

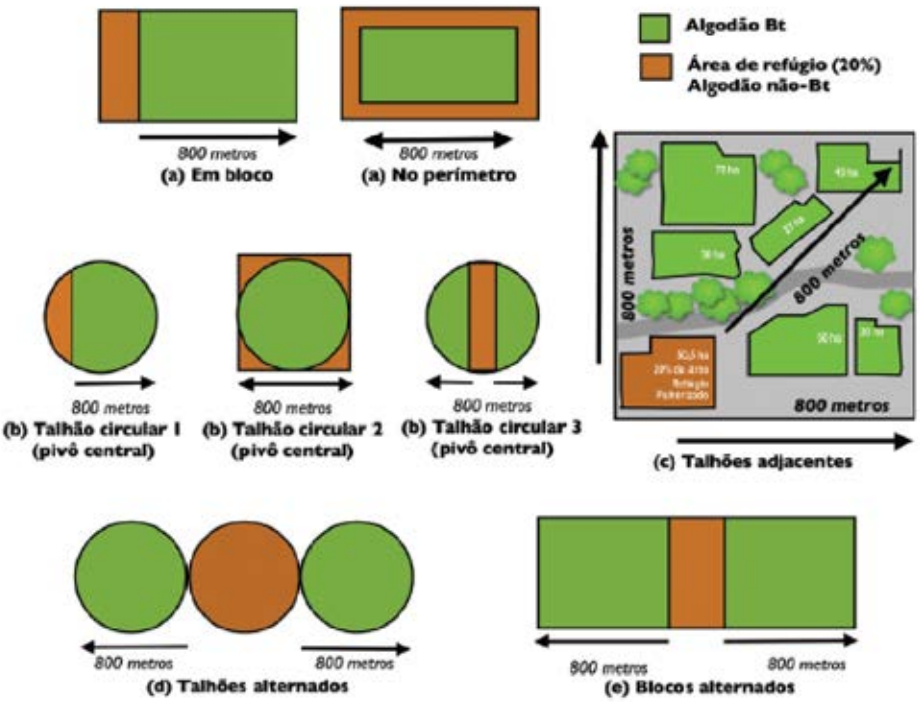


Figura 3. Sugestões de configurações para o estabelecimento de área de refúgio (Fonte: www.planterefugio.com.br)

qualquer variedade Bt for cultivada (expressando uma ou mais toxinas inseticidas), as seguintes ações devem ser tomadas:

1. No caso das culturas de soja e algodão, cultivar uma área com variedade não Bt correspondente a 20% (*) da área total cultivada com variedade Bt, independentemente da proteína ou do conjunto de proteínas expressos. Observação: para o milho, o recomendado é de 10% da área.
2. A área de refúgio pode seguir distribuição e configuração na área cultivada em: (a) bloco ou no perímetro do talhão; (b) talhões circulares (pivô central); (c) talhões adjacentes/vizinhos; (d) talhões alternados; ou (e) em blocos alternados.
3. A variedade não Bt a ser cultivada deverá ter ciclo, porte e resistência a doenças semelhantes aos da variedade Bt, além de ser semeada ao mesmo período, com uma defasagem máxima de quinze dias antes ou após a semeadura da variedade Bt.
4. A área de refúgio deve estar a uma distância máxima de 800 metros da área cultivada com a variedade Bt.
5. O monitoramento de pragas nos talhões/áreas com a variedade Bt deve ser realizado da mesma maneira que nas áreas com a variedade convencional (não Bt).
6. Se qualquer praga atingir o nível de controle (NC) na área cultivada com a variedade Bt, esta deverá ser controlada da mesma forma que na área cultivada com a variedade não Bt, utilizando-se inseticidas recomendados ou qualquer outra tática de controle.
7. Não devem ser aplicados/utilizados inseticidas biológicos à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt) na área de refúgio.

(*) Tomadas com base na recomendação da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio, Parecer Técnico Conclusivo nº 513/2005), que esclarece as ações para o MRI em algodão Bt1 (Bollgard®).

b. **Utilização de sementes certificadas:** essa técnica tem como objetivo garantir o uso de sementes com controle de qualidade, incluindo o conhecimento da origem genética e o controle de gerações, conforme define o MAPA. A utilização de sementes certificadas garante ao produtor segurança sobre o grão cultivado e seus benefícios, além de assegurar o conjunto de proteínas realmente expressas para cada tecnologia.

c. **Tratamento de sementes:** o tratamento de sementes (TS) consiste na aplicação de ingredientes químicos e/ou biológicos nas sementes. Assim, a aplicação tem como objetivo proteger o potencial genético do grão, ajudando no controle de pragas ou doenças na fase inicial do desenvolvimento da cultura e auxiliando o estabelecimento das plantas na área semeada.

d. **Controle de plantas daninhas:** plantas daninhas podem hospedar insetos-praga, permitindo que uma grande quantidade sobreviva e permaneça na área de cultivo. A maior parte das plantas daninhas é considerada hospedeira de pragas como lagartas, mosca-branca e ácaros. Logo, o controle efetivo dessas plantas auxilia na redução populacional de pragas; dentre as técnicas recomenda-se o uso de herbicidas em pré e pós-emergência da cultura do algodoeiro (mais informações no capítulo 5.5 sobre manejo de plantas daninhas).

2. Referências para um bom monitoramento de lavouras

Os amostradores técnicos de campo, ou monitores, deverão ser os responsáveis pelo monitoramento de insetos-praga das lavouras de algodão e, ao mesmo tempo, devem estar atualizados com as ocorrências de pragas em outros cultivos. Atualmente, os amostradores são responsáveis em monitorar todas as culturas do sistema produtivo dentro da propriedade.

As amostragens podem apresentar muitas variáveis e podem ter caráter de ser "definidoras", quando são a base para a tomada de decisão, ou "conferidoras" quando fiscalizam ou acompanham os resultados das aplicações e/ou os manejos pré-determinados com aplicações calendarizadas, como, por exemplo, aplicações de fungicidas, herbicidas e aplicações voltadas para a nutrição da planta.

Em grandes propriedades, onde existe um grupo de amostradores, é importante que um dos membros mais experientes, caso solicitado, seja responsável por realizar contraprovas de monitoramentos de amostradores dos menos experientes, em casos de discrepância de resultados ou haja dúvidas quanto ao resultado do monitoramento. Essa técnica visa antever e corrigir erros dos novos integrantes da equipe.

Para uma melhor uniformização dos dados gerados entre os amostradores, são necessárias a realização de cursos periódicos que visam a reciclagem de técnicas, além de reuniões técnicas internas, com o intuito de transferência de conhecimento e informações entre a equipe.

Mesmo com treinamento e reuniões para troca de informações, caso se julgue necessário, um amostrador experiente deverá acompanhar e orientar outros profissionais menos experientes até a independência técnica ou confiança na execução dos monitoramentos.

Essa base é fundamental para o sucesso na implantação e na realização de um programa de Manejo Integrado de Pragas (MIP) na cultura do algodoeiro, sendo de extrema importância o entendimento de todos os pontos envolvidos

na execução do programa. Ou seja, o profissional que realiza o monitoramento deve estar em consonância e ciente de todos os aspectos apresentados pelo sistema de cultivo adotado regionalmente, devendo estar treinado e atualizado, com o intuito de enfrentar situações de forma rápida e precisa, de maneira a reduzir ao máximo as perdas ocasionadas pelas pragas presentes no sistema.

Áreas de monitoramento: a divisão das lavouras é, na maioria das propriedades, denominada como talhões e tem tamanho variável, com intuito de ser mais assertiva no momento e na tomada de decisão. Recomenda-se que cada talhão tenha no máximo entre 100 e 150 hectares. Em tomadas de decisão para talhões maiores, recomenda-se a subdivisão da área em blocos menores. Essa recomendação existe para que erros de sub ou superestimação da incidência de pragas não ocorram, uma vez que, quanto maior a área, maior a chance de concentração dos pontos de amostragem em locais com ou sem a presença da praga. Isso pode resultar em aplicações quando não há necessidade e em recomendações para que aplicações não sejam realizadas, mesmo havendo necessidade.

A qualidade do caminhamento pode induzir ao erro de interpretação da distribuição das pragas por sobreposição de pontos na área monitorada. Os sistemas informatizados de monitoramento com pontos georreferenciados e pré-determinados praticamente eliminam os erros no caminhamento e na interpretação, utilizando o recurso de "ondas de calor", que possibilita identificar as áreas críticas de necessidade de controle e economizar pulverizações em parte da área com menor intensidade de ataque e/ou abaixo do nível de controle (NC) ou do nível de decisão de entrada (NDE).

Caracterização do talhão: para a uniformização das áreas a serem definidas como talhões devem ser consideras as características comuns, como: datas de plantio, ciclos (precoce, intermediário ou tardio), variedades (transgênicas ou convencionais, resistentes, tolerantes ou suscetíveis), fertilidade da área, tipo de solo etc.

Em talhões de tamanhos superiores ao tamanho médio da propriedade que apresentem características uniformes, é sugerida a subdivisão pela linha morta dividindo a área ao meio ou em mais partes, sempre superiores a 100 ha e inferiores a 200 ha. Por exemplo, um talhão de 300 ha pode ser dividido em duas partes de 150 ha cada, ou em uma parcela de 100 ha e outra de 200 ha. Na grande maioria das propriedades, os talhões são nominados por números ou nomes, e, para casos de subdivisões, recomenda-se a fragmentação acrescendo letras (A, B, C, D) para um melhor acompanhamento e futura comparação dos diferentes manejos ou custos. Todavia, é importante considerar a capacidade ou dinâmica operacional da propriedade para não inviabilizar áreas consideradas pequenas (geralmente inferiores a 100 ha), assim como viabilizar ações em grandes blocos de talhões, otimizando aeronaves ou equipamentos terrestres de pulverização em aplicações.

Pontos de amostragem: são os locais no interior da área onde o monitor de pragas realizará a amostragem de pragas nas plantas de algodoeiro. Preconiza-se a realização de um ponto de amostragem por hectare de área cultivada, normalmente resultando entre cem e duzentos pontos por Unidade de Benefício Direto (UBD), dependendo do tamanho da área. Preconiza-se, ainda, que:

1. Até 40 dias após a emergência (DAE), sejam monitoradas entre três e cinco plantas por ponto de amostragem.
2. Após 40 DAE, seja monitorada uma planta integral por ponto de amostragem.

Intervalos entre amostragens: três diferentes intervalos entre amostragens são sugeridos, a depender da fase de desenvolvimento da cultura:

1. Da emergência ao primeiro botão floral: até cinco dias de intervalo, no máximo.
2. Do primeiro botão floral ao primeiro capulho: até três dias de intervalo, no máximo.
3. Do primeiro capulho à colheita: até cinco dias de intervalo, no máximo.

Observação: a exceção ocorre para variedades suscetíveis à virose, quando se deve priorizar um intervalo de, no máximo, até três dias durante todo o ciclo da cultura.

A manutenção do número de pontos, aliada à redução do número de plantas por ponto à medida que a lavoura cresce, garante a confiabilidade e representatividade dos dados, bem como a preservação do tempo dedicado às amostragens.

Caminhamento do monitor: para a realização do monitoramento, o monitor de pragas deve caminhar no interior de cada talhão, distribuindo os pontos de amostragem uniformemente ao longo do percurso, representando o máximo possível a área correspondente, evitando erros de sub ou superestimação da população/ataque das pragas presentes. Dentre as diversas possibilidades de o monitor realizar o caminhamento, o monitor deve ter em mente a importância de pontos bem distribuídos, ou seja, realizar tanto amostragens nas bordaduras quanto no interior dos talhões. Quanto maior o número de pontos de amostragem, mais confiável será a estimativa do nível populacional de pragas no talhão.

Planejamento de realização de amostragens: para obter um levantamento preciso que sirva de base para a tomada de decisão de controle de pragas, deve-se, inicialmente, ter um bom planejamento, garantindo que a equipe de monitoramento realize as amostragens dentro dos intervalos preestabelecidos e percorra todos os talhões da fazenda. Um planejamento adequado evita que monitores diferentes avaliem talhões já monitorados, prevenindo perda de rendimento do levantamento em um mesmo período de amostragem. Dessa forma, o planejamento deve ser periódico, todos os membros da equipe, com o intuito de organizar a distribuição dos monitores de forma homogênea dentro da fazenda.

Os monitoramentos, quando avaliados individualmente, funcionam como uma fotografia, orientando a tomada de decisão sobre quais ações devem ser realizadas para o momento, mais quando avaliadas em sequência como um filme, mostram a evolução das ocorrências e os resultados dos controles, criando um histórico da flutuação populacional das lavouras, permitindo a comparação entre elas e os ajustes no manejo.

Todos os dados coletados durante o monitoramento e anotados em fichas impressas devem ser organizados por datas e talhões; e para os monitoramentos digitais, essa organização não é necessária.

3. Metodologia para a amostragem de pragas

Avaliação visual

A amostragem de pragas no algodoeiro é realizada por inspeção visual, em que todas as partes do dossel (parte aérea) da planta – caule, ramos, pecíolos, folhas, brotações, botões florais, flores, maçãs e capulhos – devem ser criteriosamente observadas pelo monitor. Se, durante a amostragem, o monitor notar manchas que indiquem redução do porte da planta, a raiz também deve ser observada. Além disso, o monitor deve utilizar de armadilhas que sirvam de maneira complementar – nunca substitutiva – durante a inspeção visual.

Como monitorar

Deve-se seguir a sequência de etapas: (1) escolha da planta a ser monitorada, preferencialmente ao acaso; (2) observação inicial da infestação por insetos-praga voadores, que se dispersam facilmente (adultos de mosca-branca e percevejos, por exemplo); (3) toque na planta, iniciando a vistoria pela parte superior e ir descendo: observar atentamente brotações, folhas, brácteas, ramos e frutos (botões, flores e maçãs), dando maior atenção às estruturas menos desenvolvidas, e abrindo as brácteas; (4) observação de sintomas de dano e porcentagem de desfolha; (5) memorização do foi observado/contabilizado e (6) anotação das informações levantadas na ficha de amostragem ou em planilha eletrônica do software específico para monitoramento.

Também é importante realizar a avaliação fenológica de uma planta representativa de tamanho médio, medindo sua altura, contando o número total de nós (desconsiderando o nó cotiledonar) e medindo o tamanho dos três últimos nós da planta, assim como a posição do nó da última flor branca em relação ao ponteiro da planta.

Coleta das informações

A coleta das informações é realizada em planilhas de amostragem, que podem ser em formato físico (papel) ou digital, por meio de aparelhos portáteis com software específico para esse fim. Independentemente do método utilizado, a planilha deve conter, no mínimo, as espécies de maior relevância e incidência na região, acompanhadas de suas respectivas fases de desenvolvimento (ovo, larva/ninfa e/ou adulto). Além disso, o monitor deve registrar a presença de insetos benéficos na área.

Informações adicionais e complementares

Para executar uma amostragem eficaz, é necessário conhecer bem a planta do algodoeiro, suas estruturas e fases de desenvolvimento, assim como os principais danos que podem ocorrer em cada período e, claro, os insetos-praga ou alvos predominantes em cada fase.

Além da identificação de insetos e doenças, também é importante identificar durante o caminhamento as plantas daninhas, associados às doenças, condições nutricionais da planta, e agentes invisíveis como nematoides e patógenos do solo.

Para algumas pragas, as avaliações podem ser feitas por meio de notas ou níveis, assegurando que todos os amostradores da propriedade ou do grupo sigam o mesmo padrão para a quantificação visual das populações, como no caso de adultos de mosca-branca, crisomelideos, thrips, pulgões, entre outros.

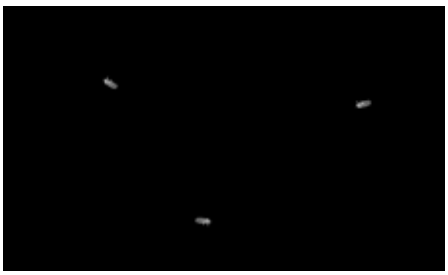
Exemplos de quantificação visual de mosca-branca por notas

Notas	Percepções da quantidade de adultos por batida
0	Nenhum adulto na batida
01	De um até 03 adultos
02	Aproximadamente 10 adultos
03	Aproximadamente 30 adultos
04	Aproximadamente 50 adultos
05	Mais de 100 adultos

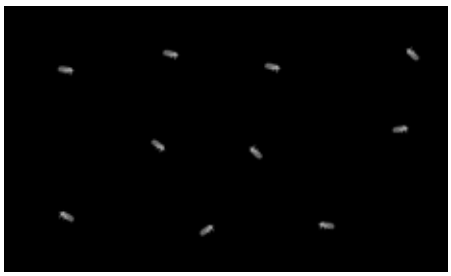
Abaixo estão ilustrados quadros de percepção visual para quantificar adultos de mosca branca, de acordo com as notas atribuídas na amostragem:

Nota 0

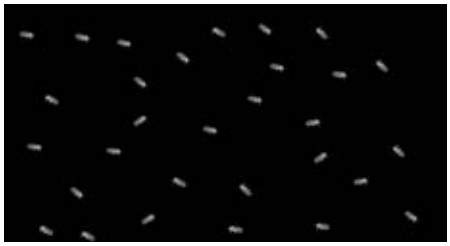
Nota 01



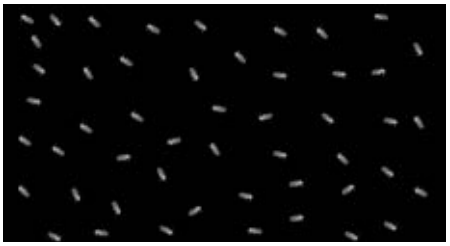
Nota 02



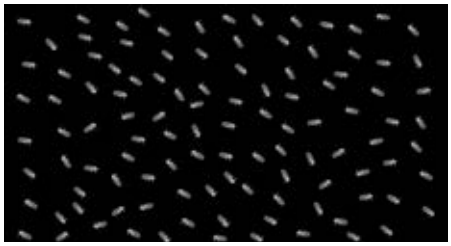
Nota 03



Nota 04



Nota 05



Além das amostragens realizadas nas plantas, os amostradores devem também avaliar indicadores populacionais, como armadilhas para captura de adultos e plantas demarcadas para acompanhamento populacional de insetos raspadores, picadores e sugadores, além do monitoramento no desenvolvimento dos sintomas e desenvolvimento das plantas atacadas.

Durante o caminhamento entre os pontos de amostragem, deverão ser registradas observações importantes, tais como a presença de plantas daninhas, plantas foco (Figura 4) ou reboleiras iniciais de ácaros, sinistros (Figura 5), entre outros aspectos relevantes para o manejo integrado da lavoura.

Figura 4. Exemplos de plantas foco, com ácaro rajado (Fonte: Paulo Saran)

Figura 5. Exemplos de descarga de raio em reboleira (A) e danos na planta (B) (Fonte: Paulo Saran)

3.1. O caso especial do bicudo-do-algodoeiro

Em clima temperado, devido às condições de climáticas (estações bem definidas com invernos rigorosos), o bicudo-do-algodoeiro apresenta um comportamento bem característico, geralmente iniciando sua atividade a partir do equinócio de outubro, quando ocorrem quedas de temperatura e mudanças no fotoperíodo (dias mais curtos e noites mais longas). Esses "sinais" climáticos, aliados ao avanço fenológico da cultura (redução de estruturas preferenciais como os botões florais), fazem com que os insetos reduzam a alimentação e a oviposição e iniciem um processo de migração para os abrigos preferidos, que são as regiões de matas nativas. reflorestamentos ou pastagens. onde entram em diapausa. Nesses locais, hibernam protegidos em

cascas de árvores, fissuras no solo, "mantas de folhas" ou qualquer outra opção de abrigo, permanecendo assim durante todo o inverno.

A partir do início das chuvas, com a emergência de plantas de algodão no ambiente, e a partir do equinócio de primavera, os insetos sobreviventes retornam às lavouras pelas bordaduras, iniciando muitas vezes a alimentação em folhas jovens. Logo que surgem os botões florais, os insetos recém-saídos do refúgio se alimentam dessas estruturas, que fornecem nutrientes e aminoácidos essenciais para a produção dos feromônios sexuais e de agregação, bem como para a produção de ovos e espermatozóides. Dessa forma, é iniciada a multiplicação e colonização de toda a lavoura.

No Brasil, esse comportamento predominante do bicudo-do-algodoeiro foi mantido principalmente mais ao sul, como, por exemplo, os estados do Paraná e São Paulo, regiões onde a cotonicultura predominava nas décadas de 1980 e 1990. Naquele modelo de agricultura, com a ausência do algodão no campo durante o período de entressafra, o bicudo deixava as áreas de cultivo no fim da safra e se refugiava em áreas adjacentes que apresentassem outras culturas ou tipos de vegetação nativa, em busca de abrigo e alimento, à espera da próxima safra de algodão (Showler 2006, Ribeiro *et al*. 2010, Showler 2010, Neves *et al.* 2018).

Porém, ao longo dos anos, a cotonicultura migrou para o cerrado brasileiro, uma região que apresenta maior volume de chuvas e menor amplitude térmica, com transições entre a s estações do ano mais sutis, ou seja, com curtos períodos no ano em que se observa gradiente de temperatura inferior a 12°C, e quando isso ocorre, normalmente dura menos de uma semana. Nessas condições, a temperatura não representa fator limitante para o desenvolvimento do bicudo-do-algodoeiro, possibilitando que grande parte da população brasileira apresentasse adaptações comportamentais, como alimentação e reprodução em estruturas de final de ciclo (maçãs do ponteiro) e permanência nos restos culturais após a desfolha e colheita da lavoura. Nesses restos culturais, os insetos se abrigam em plantas vegetadas pertencentes à antiga lavoura, o que aumenta significativamente a longevidade dos adultos, pois eles não precisam investir energia migrando e buscando alimentos alternativos em refúgios.

Figura 6. Botão preferido do bicudo-do-algodoeiro dispersante (Fonte: Paulo Saran)

Importante salientar que, nos sistemas de cultivo do cerrado, a cultura do algodão, em grande parte das áreas, é caracterizada como segunda safra, ou seja, semeada após a colheita da soja. Além disso, atualmente, há uma ampla adoção de cultivares de algodão geneticamente modificados, resistentes a diversas moléculas herbicidas, aumentando as dificuldades para a destruição dos restos culturais. Portanto, a presença constante de plantas de algodão dentro do sistema, aliada a curtos períodos de baixas temperaturas, cria um ambiente ecologicamente favorável para o bicudo.

Dessa forma, a colonização das lavouras de algodão pode variar conforme o sistema de cultivo. No caso do algodão safra, parte da população pode advir de áreas de refúgio, assim como de lavouras de soja adjacentes, onde existiam plantas tigueras e/ou rebrotes de algodão. Neste contexto, os adultos que se dispersam das lavouras de soja em senescência colonizam as lavouras receptoras de algodão, atacando o botão floral mais visível das plantas, localizado na primeira posição do ramo, entre o 5º e o 7º nó abaixo do ponteiro (Figura 6), também chamado de botão preferido.

No caso do algodão de segunda safra, a grande maioria dos insetos colonizadores pertence à própria área, pois permaneceram e se multiplicaram em plantas tigueras e rebrotadas presentes na soja que antecedeu o algodão. Isso foi evidenciado no trabalho de Arruda *et al.* (2020), quando se observou que, no início da safra, com a cultura em estádio vegetativo inicial (plantas com apenas duas folhas verdadeiras), já eram capturados insetos no interior da área (Figura 7). Em trabalhos mais recentes realizados pela equipe do IMAmt,

observou-se, por meio do uso de armadilhas instaladas em forma de "malha" dentro do talhão durante toda a safra da soja e a entressafra, que boa parte dos insetos permanece na área mesmo após a colheita da soja, pois as capturas continuam ocorrendo no meio dos talhões, mesmo antes da emergência das plantas de algodão (Figura 8).

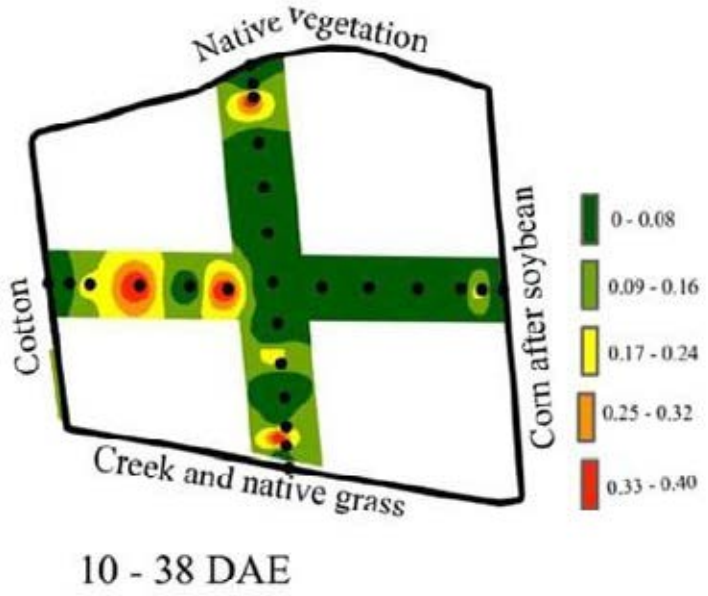


Figura 7. Ataque prematuro, devido à permanência do inseto dentro da área (Fonte: Arruda *et al.*, 2020)

Figura 8. Influência da soqueira em meio a soja, na manutenção e multiplicação do bicudo-do-algodoeiro durante a entressafra (Fonte: Arruda *et al.*, 2020)

Estratégias para o bom manejo do bicudo

Em áreas classificadas como Zona Vermelha (conforme resultados do armadilhamento), o monitoramento dessa praga deve começar quando as plantas estiverem no estádio V2. Nas demais áreas, o monitoramento deve iniciar-se quando as plantas emitirem os primeiros botões florais (estádio B1), com o objetivo de identificar reboleiras infestadas iniciais. A partir desse momento, deve-se monitorar, no mínimo, 250 botões por Unidade de Benefício Direto (UBD) – equivalente a 2,5 botões/ha (um botão por planta) – para detectar sintomas de alimentação e oviposição do bicudo. O tamanho do botão deve ser padronizado em 6 mm de diâmetro (aproximadamente a espessura de um lápis) e os botões devem ser coletados de plantas que se destaquem no talhão,

conhecidas como "plantas dominantes" ou "plantas girafas". O monitoramento dos botões deve ser realizado ao longo do caminhamento no talhão, entre um ponto e outro. Pode-se estabelecer o "dia do bicudo" na fazenda, a partir do início da emissão de botões (B1). Nesta data, o monitoramento se concentra na bordadura dos talhões (nos primeiros 15 a 20 metros), tomando a decisão de realizar o controle por inseticidas apenas na bordadura (ou nas reboleiras) ou na área total. Entretanto, em talhões que contarem com a presença de plantas de algodão rebrotadas (soqueiras) ou germinadas (tigueras) da safra anterior, recomenda-se que o monitoramento não seja restrito à bordadura, uma vez que a praga pode estar já estabelecida no interior do talhão.

Para o controle eficaz do bicudo-do-algodoeiro (Figura 9), é necessário compreender seus aspectos biológicos e ecológico. O bicudo apresenta comportamento de oviposição e completa seu desenvolvimento imaturo (larva e pupa) no interior das estruturas reprodutivas do algodoeiro. Além de destruir a parte produtiva da planta, esse comportamento dificulta o contato direto da praga com o inseticida, obrigando a adoção de práticas curativas de controle, visando o controle da fase exposta, ou seja, a fase adulta. A partir da colonização da lavoura e das oviposições que acontecem ao longo de vários dias, ocorrem subsequentes gerações de adultos, o que demanda aplicações seriadas de inseticidas em intervalos de aproximadamente cinco dias, visando reduzir a população de adultos na área de cultivo.

É importante salientar que, atualmente, cerca de 70% dos inseticidas e misturas comerciais registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para o controle do c bicudo-do-algodoeiro no Brasil são compostos por piretroides. Essa predominância deve-se a diversos fatores, dentre eles: não causam fitotoxicidade em aplicações subsequentes com as dosagens recomendadas; apresentam baixa toxicidade a mamíferos e toxicidade para diversas pragas, além do baixo custo. Porém, por conta do uso frequente, nos últimos anos, estudos periódicos realizados pelo IMAmt (Circulares Técnicas 27, 31, 39, 44, 46, 50, 56, 58 e 60) mostram que, anualmente, vem ocorrendo redução na eficiência de moléculas pertencentes a esse grupo químico. Em estudos adicionais, foi constatado que a população

Figura 9. O bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis* (Fonte: José Medeiros)

do estado de Mato Grosso apresenta resistência a inseticidas pertencentes a este grupo químico, sendo essa resistência caracterizada como alteração do sítio-alvo.

Desse modo, em primeiro momento, deve-se evitar o uso de piretroides de forma isolada para o controle do bicudo-do-algodoeiro, esperando-se o reestabelecimento da suscetibilidade das populações.

Outros fatores favoráveis importantes à espécie são, por conta da dinâmica dos agroecossistemas de cultivo do Cerrado, a adoção de cultivares resistentes a herbicidas e o curto intervalo de tempo transcorrido entre a colheita do algodão e o plantio da soja, o que dificulta a destruição efetiva dos restos culturais do algodoeiro. Essas plantas servem de abrigo e sítio de reprodução, onde adultos do bicudo-do-algodoeiro têm conseguido manter-se nas áreas durante a entressafra, em plantas rebrotadas e/ou tigueras dentro das culturas subsequentes. Isso acarreta o surgimento precoce de grandes populações na fase inicial das lavouras de algodão da próxima safra.

Dessa forma, para o controle da praga, é necessário um plano regional estruturado de manejo. Desde a safra 2015/2016, foram formados em Mato Grosso grupos regionais chamados Grupos Técnicos do Algodão (GTAs), o que tem surtido efeito positivo sobre o controle do bicudo. As ações adotadas em cada região são norteadas por um plano de ação elaborado e validado, levando-se em consideração características regionais. Basicamente, esse conjunto de ações é dividido em ações pré e pós-plantio do algodão, além de ações complementares.

Medidas pré-plantio

1. Levantamento do histórico de infestação das áreas e talhões;
2. Mapeamento dos focos conhecidos, considerados portas de entrada e saída do bicudo, com identificação de possíveis áreas de refúgio;
3. Após a identificação dos focos de entrada e saída, planejar, antecipar e executar medidas de controle diferenciadas;
4. Monitoramento das áreas de soja que sucedem algodão, verificando a presença de soqueiras e/ou tigueras de algodoeiro;
5. Armadilhamento de 30 a 60 dias antes do plantio, com monitoramento estendido até a emissão dos primeiros botões florais;
6. Concentração do calendário de semeadura;
7. Treinamento de monitores.

Medidas pós-plantio

1. Aplicação de inseticida em bordadura, indicada apenas para áreas de primeira safra de algodão;
2. Aplicação de inseticida nas áreas em fase vegetativa;
3. Realização de inspeção visual semanal, com pelo menos um monitor para cada 800 ha de algodão;
4. Aplicação obrigatória de inseticida em forma de bateria no surgimento dos primeiros botões florais;
5. Aplicação em forma de bateria no surgimento da primeira flor e do primeiro capulho;
6. Colheita rápida e bem executada;
7. Destruição efetiva dos restos culturais;
8. Cumprimento rigoroso do vazio sanitário;
9. Uso de tubos mata-bicudo (TMB);
10. Carregamento adequado de cargas e limpeza de acessos e rodovias.

Ações complementares

1. Fazer o "dia do bicudo", um dia dedicado à realização de ações coordenadas em uma mesma propriedade;
2. Promover ações conjuntas e trocas de informações;
3. Validar sistemas, doses e métodos de destruição química ou mecânica de soqueira;
4. Validar sistemas relacionados à tecnologia de aplicação.

Caso especial de estratégia: Plantio Isca e "Filtro"

A técnica de implantação do **Plantio Isca** (Figura 10) deve ser utilizada exclusivamente para as lavouras de plantio safra e é complementar a todas as outras estratégias já sugeridas, não devendo substituir nenhuma delas.

O **Plantio Isca** é uma técnica bastante antiga que, devido à grande dimensão das lavouras, deve ser complementada com a implantação de uma técnica denominada **Filtro**. O **Plantio**

Figura 10. Plantio Isca na Fase B1 (A) e na área Desfolhada (B) (Fonte: Paulo Saran)

Isca deve ser instalado nas áreas bordaduras das lavouras e nas rotas de entrada identificadas pelo armadilhamento ou já conhecidas da propriedade, além de possíveis rotas identificadas fora da propriedade e que ofereçam risco de dispersão, como áreas de vizinhas. Já o **Filtro** deve ser instalado nas áreas de bordaduras das lavouras de soja em rotação com o algodão da safra passada, ou seja, nas lavouras de soja que contenham plantas tiguera ou soqueiras de algodão capazes de hospedar e multiplicar o bicudo durante a safra.

O conceito do **Plantio Isca** é antecipar um plantio parcial da lavoura nas rotas de entrada conhecidas e esperadas dos adultos do bicudo, com o objetivo de atraí-los para matar, utilizando-se dos conhecimentos básicos do comportamento da praga e técnicas de controle.

O conceito do **Filtro** consiste em concentrar plantas em faixas nas bordaduras dos restos culturais da safra anterior e nas rotas previstas e ou esperadas dos adultos dispersantes, com o objetivo de atra os insetos para matar e reduzir a grande quantidade de adultos. Essa técnica também se baseia no conhecimento do comportamento do bicudo e nas estratégias de controle.

O **Plantio Isca** é consistituído por uma faixa de plantio de algodão nas bordaduras e rotas de entrada conhecidas das lavouras de algodão, como cerrado, pastagens, alagados, restos culturais. A instalação deve ocorrer 15 dias antes do plantio da lavoura de algodão e essa faixa deve ser colhida. Além disso, é importante obedecer as variedades, os espaçamentos, a plantabilidade e os manejos semelhantes aos da lavoura comercial. É importante manter entre o Plantio Isca e a lavoura principal um espaço não vegetado (carreador), para desestimular o alastramento dos adultos tardios.

O **Filtro** consiste em uma faixa de plantio de algodão nas bordaduras das lavouras de soja em rotação (sucessão) com as áreas de algodão da safra anterior. A instalação do Filtro também deve ocorrer 15 dias antes do plantio da lavoura de algodão, mas essa faixa não será colhida e, portanto, não há a necessidade de obedecer as variedades, os espaçamentos, a plantabilidade e os manejos semelhantes aos da lavoura comercial. Entretanto, a manutenção inicial do **Filtro** deverá seguir o mesmo critério de manejo adotado no **Plantio Isca**.

A antecipação do **Plantio Isca** e do **Filtro** não deve ultrapassar o período do vazio sanitário. Caso haja esse risco, a situação deverá ser comunicada aos órgãos fiscalizadores, que farão o georreferenciamento e acompanhamento da área. O conhecimento e informações técnicas, disciplina e perseverança dos responsáveis são fatores importantes para o sucesso da estratégia. **Vale salientar que, em muitos casos, essa técnica pode não ser aplicada, devido a restrições legais e à necessidade de cumprimento rigoroso do vazio sanitário.**

3.2. Pragas associadas ao solo

Pragas como o percevejo-castanho (*Scaptocoris castanea, S. carvalhoi* e *Atarsocoris brachiariae*) e a broca-da-raiz (*Eutinobothrus brasiliensis*) (Figura 11) não são monitoradas rotineiramente sendo necessário apenas verificar periodicamente sua incidência por meio de vistorias ao longo do ano agrícola na área a ser cultivada. No caso do percevejo-castanho, o monitoramento pode ser realizado por meio de trincheiras com dimensões 0,30 × 0,30 × 0,75 m. Para a broca-da-raiz, a avaliação deve ser feita no colo e/ou sistema radicular da planta de algodoeiro. O histórico de ocorrência desse grupo de pragas na área é um ótimo indicador de risco de ocorrência.

Pragas que ocorrem com frequência no período de pré-semeadura em culturas de cobertura, como sorgo, milheto e capim-sudão, incluem a lagarta-elasmo (*Elasmopalpus lignosellus*) e a lagarta-rosca (espécies do gênero *Agrotis* spp., além de *Spodoptera frugiperda, Striacosta albicosta e Helicoverpa armigera*). Estas devem ser o alvo principal da vistoria da palhada, que precisa ser realizada semanalmente, duas a três vezes antes da semeadura. A inspeção deve observar uma área de 1 m^2 da cultura de cobertura, seja verde ou dessecada, utilizando uma armação de 1 × 1 m, distribuída em dez locais diferentes no interior da Unidade Básica de Diagnóstico (UBD), sendo sete pontos na bordadura e três no interior da área.

Figura 11. Percevejo-castanho (A) e broca-da-raiz (B) (Fonte: Paulo Saran)

As vistorias de pré-safra para constatação das espécies de pragas na área a ser cultivada, aliadas aos históricos de ocorrência, fornecem respaldo para a tomada de decisão sobre as seguintes ações: (1) realizar o tratamento de sementes com inseticidas, (2) aplicar inseticidas na cultura de cobertura, isoladamente ou em conjunto com o herbicida dessecante, (3) efetuar a dessecação antecipada da cultura de cobertura, (4) realizar a semeadura em época menos favorável à incidência das pragas mencionadas e/ou (5) efetuar adubação de cobertura (complementar e/ou sequencial) visando o fortalecimento do sistema radicular das plantas.

4. Níveis de controle

Os níveis de controle (NC) são parâmetros utilizados para determinar se é necessário aplicar alguma tática para o controle das pragas incidentes na UBD, com o intuito de evitar perdas (Tabela 2). Com base nas informações coletadas pelos monitores em campo, é feita a comparação com o NC estabelecido e, então, a decisão de controle é tomada, normalmente pelo gerente-técnico da propriedade. O NC é estabelecido geralmente abaixo do Nível de Dano Econômico (NDE), em torno de 4% a 8% inferior, de modo a assegurar um período de segurança até o momento da intervenção efetiva via inseticida (que pode durar mais de um dia, em alguns casos), evitando que a população da praga ultrapasse o NDE. O NDE representa o nível populacional ou grau de injúria da praga capaz de causar danos econômicos iguais ou superiores ao custo do controle.

Tabela 2. Níveis de controle (NC) das pragas que atacam a cultura do algodoeiro em MT – observações, ações e/ou práticas

Nome Comum	Nome Científico	Nível de Controle (NC)	Observações, ações e/ou práticas
Lagarta-rosca	*Agrotis* spp., *Spodoptera frugiperda* e/ou *Striacosta albicosta*	Não definido.	Vistoria de palhada pré-dessecação/semeadura. Levar em consideração o estande (plantas/m e distribuição) desejado. Controle preventivo em função da detecção/histórico da praga.

Continua →

Tabela 2. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Nível de Controle (NC)	Observações, ações e/ou práticas
Lagarta-elasmo	*Elasmopalpus lignosellus*	Não definido.	Vistoria de palhada pré-dessecação/semeadura. Em função do histórico de ocorrência. Semeadura fora de época (risco de veranico)/solo arenoso/tipo de planta de cobertura favorável.
Tripes	*Frankliniella schultzei* *Caliothrips phaseoli* *Caliothrips brasiliensis*	20% de plantas infestadas e/ou com sintomas de ataque (constatada a presença da praga na área).	Sintomas de ataque: folhas deformadas, brilhantes, quebradiças e retorcidas. Atenção em bordaduras.
Pulgão-do-algodoeiro	*Aphis gossypii*	Cultivares tolerantes à virose (pulgão vetor): até 40% de plantas com pelo menos uma colônia – somente colônias. Cultivares suscetíveis à virose (pulgão vetor): 0-2% de plantas viróticas (5-10% de plantas infestadas); 2-6% de plantas viróticas (até 3% de plantas infestadas); > 6% de plantas viróticas (presença ou ausência). Usar esses níveis de controle após a primeira avaliação de plantas viróticas aos 30 DAE; antes, a meta é não permitir a instalação de virose na área (presença e ausência) – alados entram na avaliação. Final do ciclo (após o primeiro capulho): 20% de plantas infestadas com colônias e sinais iniciais de melado.	Simbologia da infestação: Presença (P): adulto e/ou ninfa encontrado isoladamente na planta. Alados (A): pulgões com asas encontrados na planta ou nas colônias. Colônia (C): grupos de 2-10 pulgões (adultos, ninfas e/ou alados) encontrados na planta. Colônia (C+): grupos de 10 ou mais pulgões (adultos, ninfas e/ou alados) encontrados na planta. C++: planta com duas ou mais colônias na planta. Quanto mais infestada, acrescentar "+". Atentar-se ao controle no final do ciclo: problemas com qualidade de fibra (caramelização ou melado).
Larva-minadora	*Liriomyza* spp.	10% de desfolha da planta associada à presença da larva na folha e/ou galerias nas folhas.	Atentar-se a infestações/injúrias nas folhas do baixeiro e bordaduras.
Cigarrinha-cinza	*Agallia* sp.	20% de plantas infestadas e/ou com sintomas de ataque (constatada a presença da praga na área).	Plantas enfezadas, com folhas e brotações deformadas. Folhas atacadas apresentam sinais semelhantes à ramulose em estádio inicial (evitar confundir). Atenção em bordaduras.

Continua →

Tabela 2. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Nível de Controle (NC)	Observações, ações e/ou práticas
Lagarta-curuquerê	*Alabama argillacea*	Até 30-40 DAE: 10% de desfolha da planta ou 2 lagartas/m (o que ocorrer primeiro). Após 30-40 DAE: 10% de desfolha da planta ou 25% de desfolha do ponteiro, ou 2 lagartas/planta (o que ocorrer primeiro).	Atentar-se a desfolha por granizo, fitotoxicidade de defensivos e fertilizantes, dano mecânico etc. Padronização de tamanho: Pequena (P) – até 7 mm Média (M) – 7-15 mm Grande (G) – maior que 15 mm
Lagarta-falsa-medideira	*Chrysodeixis includens* e *Trichoplusia ni*	Até 30-40 DAE: 10% de desfolha da planta ou 2 lagartas/m. Após 30-40 DAE: 10% de desfolha da planta ou 2 lagartas/planta.	Idem curuquerê. Atentar-se à infestação no baixeiro e no terço médio. Uso de armadilhas luminosas para captura de adultos, detecção do início da infestação e confirmação de qual espécie está ocorrendo.
Lagarta-eridania	*Spodoptera eridania*	Idem curuquerê.	Idem curuquerê. Atentar-se ao risco de ocorrência em reboleiras.
Lagarta-das-maçãs	*Chloridea virescens, Helicoverpa zea, Helicoverpa armigera*	6-8% de plantas infestadas (planta infestada: planta com pelo menos uma lagarta). 30-50 ovos/100 plantas: período de atenção – 2 dias após verificar a eclosão: não aplicar para controle de ovos; aplicar somente se o NC for atingido. Para *Helicoverpa zea* e *Helicoverpa armigera* considerar o nível de controle de 5-8 lagartas em 100 plantas amostradas, pois é muito rápida em causar danos.	Padronização de tamanho: Pequena (P) – até 7 mm Média (M) – 7-15 mm Grande (G) – maior que 15 mm Confirmar espécie ocorrente: *C. virescens*: tem microespinhos visíveis nas pintas mais proeminentes – examinar com lupa de bolso (mín. 20x). *H. zea/H. armigera*: não tem microespinhos visíveis nas pintas mais proeminentes – examinar com lupa de bolso (mín. 20x). Uso de armadilhas luminosas (ou feromônios) para captura de adultos, detecção do início da infestação e confirmação de qual espécie está ocorrendo. No algodão adensado (0,45 m entrelinhas) o NC pode ser reduzido. Ocorrência simultânea com *Spodoptera frugiperda*, considerar a somatória das espécies.

Continua →

Tabela 2. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Nível de Controle (NC)	Observações, ações e/ou práticas
Lagarta *Spodoptera* (Lagarta-militar)	*Spodoptera frugiperda*	6-8% de plantas infestadas (planta infestada: planta com pelo menos uma lagarta).	Padronização de tamanho: Pequena (P) – até 7 mm Média (M) – 7-15 mm Grande (G) – maior que 15 mm Observar lagarta *Spodoptera* com hábito de lagarta-rosca. Ocorrência simultânea com a lagarta-das-maçãs; considerar a somatória das espécies.
Lagarta-rosada	*Pectinophora gossypiella*	10 adultos capturados por armadilha de feromônio a cada duas noites ou até 3-5% de maçãs com sintomas de ataque.	Instalação das armadilhas de feromônio a partir do início do florescimento. Atentar-se a flores em roseta.
Bicudo-do-algodoeiro	*Anthonomus grandis*	Número de BAS (bicudo/armadilha/semana) em pré-semeadura (60 dias antes da semeadura). Máximo de 5% de botões preferidos (com 6 mm de Ø) atacados (com sinais de alimentação e/ou oviposição). **Em locais considerados zona vermelha, trabalhar com índice de presença e ausência.	Definição de zonas verde (0 BAS), azul (0-1 BAS), amarela (1-2 BAS) e vermelha (> 2 BAS). Monitoramento da bordadura (30 m iniciais): "dia do bicudo" (tratamento da bordadura). Vigilância e combate das reboleiras.
Percevejos invasores da soja (complexo)	*Euschistus heros, Edessa meditabunda, Nezara viridula, Piezodorus guildinii* e/ou *Dichelops melacanthus*	0,1–0,3 percevejos/planta	Priorizar a inspeção de maçãs mais suscetíveis (25 mm de diâmetro) para sintomas de injúrias/danos. Uso de pano de batida. Uso de rede de varredura. Atenção em bordaduras e período de colheita da soja vizinha.
Percevejo-rajado (complexo)	*Horciasoides nobilellus, Niestrea sidae* e/ou *Taedia stigmosa*	20% de plantas com presença de ninfas/adultos.	-
Percevejo-manchador	*Dysdercus* sp.	Idem percevejo rajado.	Atentar-se às infestações de final de ciclo.
Percevejo-castanho	*Scaptocoris castanea* e/ou *Atarsocoris brachiariae*	Não definido.	Histórico de infestação da praga na área. Presença da praga na área de cultivo (abertura de trincheiras para vistoria)

Continua →

Tabela 2. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Nível de Controle (NC)	Observações, ações e/ou práticas
Mosca-branca	*Bemisia tabaci* biótipo B	20% de plantas com adultos, ninfas e início de formação de melado.	Atentar-se ao controle no final do ciclo: problemas com qualidade de fibra (caramelização). Combate de reboleiras iniciais de ninfas (bordaduras).
Ácaro-rajado	*Tetranychus urticae*	10% de plantas com sintomas/atacadas (avermelhamento das folhas, presença de teias e ácaros na parte abaxial das folhas).	Priorizar combate de reboleiras.
Ácaro-vermelho	*Tetranychus ludeni*	Idem ácaro-rajado.	Priorizar combate de reboleiras.
Ácaro-branco	*Polyphagotarsonemus latus*	40% de plantas com sintomas de ataque (folhas do ponteiro brilhantes, coriáceas, bronzeadas, quebradiças e/ou com rasgaduras).	Atentar para áreas próximas a matas nativas e com alta umidade.
Broca-da-raiz	*Eutinobothrus brasiliensis*	Não definido.	Histórico de infestação da praga na área. Cultivos mais precoces tem maior risco.
Broca-da-haste (broca-do-ponteiro)	*Conotrachelus denieri*	Até 3-5% de maçãs atacadas.	Histórico de infestação da praga na área. Cultivos mais precoces têm maior risco.
Cochonilhas	*Phenacoccus solenopsis* *Planococcus* spp.	Não definido.	-
Vaquinhas desfolhadoras, cascudinhos e besouros desfolhadores	*Diabrotica speciosa*, *Cerotoma* sp., *Costalimaita ferruginea*, e/ou *Cyclocephala melanocephala*	Idem curuquerê (desfolha).	Atenção a bordaduras e período de colheita da soja vizinha. Constatar a presença da praga na área.
Formiga-cortadeira (saúva e quem-quem)	*Atta* spp. e/ou *Acromyrmex* spp.	Presença de formigas forrageando a área e/ou cortando folhas/ramos. Idem curuquerê (desfolha).	Atentar-se à bordadura e aos primeiros 40 dias da cultura.

5. Estratégias e táticas de controle das pragas

Tabela 3. Condições favoráveis, estratégias, práticas e/ou medidas de controle das espécies de pragas ocorrentes em algodoeiro em MT

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Lagarta-rosca	*Agrotis* spp., *Spodoptera frugiperda, Striacosta albicosta*	Clima quente e seco. Culturas de cobertura para plantio direto são hospedeiras: gramíneas em geral (milheto, capim-sudão e braquiárias). Dessecação mal feita da cultura de cobertura: plantas tigueras no meio do algodoal. Plantas daninhas hospedeiras no entorno dos cultivos e na área de cultivo.	Destruição de restos culturais, soqueira e plantas tigueras. Vistoria da palhada [10 pontos (m^2)/talhão: 7 na bordadura (15-20 m) e 3 no centro]. Pulverização de inseticidas na cultura de cobertura (em pré-dessecação e dessecação) e/ou na palhada (em pré-semeadura). Dessecação antecipadas (30 dias antes da semeadura). Tratamento de sementes com inseticidas.
Lagarta-elasmo	*Elasmopalpus lignosellus*	Clima quente e seco. Algumas culturas de cobertura para plantio direto são hospedeiras, especialmente o sorgo forrageiro e capim-pé-de-galinha. Plantas daninhas hospedeiras no entorno dos cultivos e na área de cultivo: aumento da infestação na área. Solos arenosos: menor retenção de água.	Destruição de restos culturais, soqueira e plantas tigueras. Vistoria da palhada [10 pontos (m^2)/talhão: 7 na bordadura (15-20 m) e 3 no centro]. Dessecação antecipadas (30 dias antes da semeadura). Tratamento de sementes com inseticidas. A infestação na área é desfavorecida por solos com elevada umidade. Variedades Bt minimizam o problema (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de resistência).
Tripes	*Frankliniella schultzei* *Caliothrips phaseoli* *Caliothrips brasiliensis*	Clima seco com temperaturas amenas. Veranicos.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Tratamento de sementes com inseticidas.

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Pulgão-do-algodoeiro	*Aphis gossypii*	Clima quente e relativamente úmido. Após adubações nitrogenadas (plantas tenras). Brotações nas plantas favorecem a alimentação da praga: sugam seiva do floema. Viroses iniciais em reboleiras.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Tratamento de sementes com inseticidas. Controlar infestações de final de ciclo: mela afeta a qualidade da fibra. Realizar catação (*roguing*) de plantas com sintomas de viroses.
Larva-minadora	*Liriomyza* spp.	Plantas da fase inicial (primeiros 40 dias) são mais sujeitas ao ataque. Época seca favorece a praga. Folhas do baixeiro sofrem maior ataque.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Placas adesivas amarelas (armadilhas) podem contribuir para a captura de adultos e diminuir a infestação.
Cigarrinha-cinza	*Agallia* sp.	Clima quente e úmido. Após a eliminação de gramíneas invasoras da área de cultivo pela aplicação de herbicidas, ocorre a dispersão da praga para as plantas de algodoeiro.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Tratamento de sementes com inseticidas. Verificar se o ataque não é apenas localizado.
Lagarta-curuquerê	*Alabama argillacea*	Período ensolarado com chuvas regulares. Temperatura e umidade altas.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes).

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Lagarta-falsa-medideira	*Chrysodeixis includens* e *Trichoplusia ni*	Clima quente e úmido. Lavouras densas e com ruas fechadas (difícil de atingir o alvo). Cultivo adensado (difícil de atingir o alvo). Aplicações indiscriminadas de fungicidas (eliminação de fungos entomopatogênicos/benéficos). Plantio safrinha após soja. Rotação soja-algodão por várias safras: aumento da população.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes). Uso de pingentes ou pulverizadores tipo "vortex" favorece a tecnologia de aplicação. Uso de armadilhas luminosas para detectar o início das infestações. Inserir outras culturas não hospedeiras no sistema de rotação. Reduzir a janela de cultivo.
Lagarta-eridania	*Spodoptera eridania*	Clima quente e úmido. Aplicações indiscriminadas de fungicidas (eliminação de fungos entomopatogênicos/benéficos).	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes).
Lagarta-cosmioides	*Spodoptera cosmioides*	Clima quente e úmido.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes).

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Lagarta-das-maçãs	*Chloridea virescens* *Helicoverpa zea* *Helicoverpa armigera*	Clima quente e úmido. Lavouras densas e com ruas fechadas (dificuldade em atingir o alvo). Plantio safrinha após soja. Cultivo adensado (dificuldade em atingir o alvo). Aplicações indiscriminadas de fungicidas (eliminação de fungos entomopatogênicos/benéficos). Maior atividade de adultos (mariposas) em fase de lua nova. Rotação soja-algodão por várias safras: aumento da população.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes). Utilizar o controle biológico com *Trichogramma* e vírus da poliedrose nuclear (NPV) Uso de armadilhas luminosas para detectar o início das infestações. Inserir outras culturas não hospedeiras no sistema de rotação. Reduzir a janela de cultivo. Atentar-se às dosagens diferenciadas em função da espécie ocorrente.
Lagarta *Spodoptera* (Lagarta-militar)	*Spodoptera frugiperda*	Clima quente e seco (estiagem dificulta o controle, favorecendo a infestação). Cultivo de milho não Bt nas adjacências dos cultivos. Lavouras densas e com ruas fechadas (dificuldade em atingir o alvo).	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes). Uso de armadilhas luminosas e/ou de feromônio para detectar o início das infestações. Utilização de aplicações de atrativo alimentar visando o controle de adultos (atrai e mata).

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Lagarta-rosada	*Pectinophora gossypiella*	Época seca, após temporada chuvosa, com temperaturas elevadas. Maior incidência em cultivo tardio ou em áreas sem destruição de soqueira no ano anterior. Plantios tardios. Proximidade de algodoeiras e usinas de beneficiamento. Ataque maior nas bordaduras.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Uso de armadilhas de feromônio/luminosas para detectar o início da infestação (usar o índice de captura nas armadilhas de feromônio para a determinação do NC). Confundimento de machos pela saturação no ambiente com feromônio sexual – técnica do confundimento. Variedades Bt (adotar áreas de refúgio para evitar problemas de seleção de populações resistentes).
Bicudo-do-algodoeiro	*Anthonomus grandis*	Clima quente e úmido. Permanência de botões/maçãs infestadas sobre o solo; possibilidade de rebrota das plantas, com emissão de botões e formação de frutos. Rebrota de plantas desfolhadas e/ou dessecadas em final de ciclo (chuvas indesejadas no final do ciclo). Áreas próximas aos refúgios de entressafra são mais sujeitas às infestações. Ataque inicial é maior nas bordaduras. Plantas tigueras nas proximidades dos talhões na entressafra. Áreas sem rotação e sem vazio sanitário adequado. Lavouras densas (dificuldade em atingir o alvo). Primeiros talhões semeados. Fluxo de bicudos de áreas vizinhas em colheita. Proximidade de algodoeiras e usinas de beneficiamento.	Plantio concentrado na região. Pulverização foliar de inseticidas nas bordaduras a partir de V2. Aplicações semanais no 1º botão floral (B1) em função da zona de classificação pelo número BAS – bicudos capturados/armadilha/semana (Zona Verde: não aplicar; Azul: uma aplicação; Amarela: duas aplicações; Vermelha: três aplicações). Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Aplicações de inseticidas no final da safra: redução da população de entressafra (hibernante). Colheita rápida. Destruição de soqueiras, plantas tigueras e outros hospedeiros ao redor e no interior dos talhões. Utilização de tubo mata bicudo – TMB (na entressafra). Monitoramento da população na entressafra com armadilha de feromônio.

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Percevejos invasores da soja (complexo)	*Euschistus heros, Edessa meditabunda, Nezara viridula, Piezodorus guildinii* e/ou *Dichelops melacanthus*	Clima quente e úmido. Plantio safrinha após soja. Cultivos de soja adjacentes às áreas de cultivo (dispersão quando da maturação e/ou colheita da soja), especialmente de áreas destinadas à produção de grãos. Ataque inicial é maior nas bordaduras. Diminuição das aplicações de inseticidas de amplo espectro (áreas em que se cultivam variedades Bt ou em que a pressão populacional de bicudo é menor). Uso de inseticidas mais específicos para o controle de outras pragas.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Intensificar o monitoramento da população e de sintomas de injúrias no período de colheita da soja das adjacências. Intensificar o monitoramento nas semanas iniciais do florescimento do algodoeiro (da 1ª a 5ª semana): quando a lavoura apresenta maior quantidade maçãs suscetíveis ao ataque de percevejos (com 25 mm de diâmetro).
Percevejo-rajado (complexo)	*Horciasoides nobilellus, Niestrea sidae* e/ou *Taedia stigmosa*	Clima quente e seco.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Combate simultâneo com outras pragas.
Percevejo-manchador	*Dysdercus* sp.	Clima quente e seco. Últimos talhões a serem colhidos são mais sujeitos à infestação: dispersão da praga dos talhões já colhidos.	Idem percevejo-rajado.

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Percevejo-castanho	*Scaptocoris castanea* e *Atarsocoris brachiariae*	Período chuvoso: aumenta o deslocamento da praga à superfície do solo, bem como sua dispersão, deixando às raízes das plantas mais sujeitas ao ataque e infestando outras áreas. Áreas anteriormente cultivadas com pastagens são de maior risco. Ataque em reboleiras.	Após a primeira chuva, depois da colheita da cultura de verão: preparo do solo (subsolagem ou aração seguida de gradagens). Entressafra sem cobertura (pousio). Antecipação do plantio: escape do sistema radicular pouco desenvolvido. Pulverização de inseticidas no sulco de semeadura. Adubação de base adequada, acrescida de Ca e P para aumentar enraizamento. Uso de bioestimuladores de enraizamento. Bom controle de plantas daninhas (na entressafra e na cultura). Aplicar de adubação de cobertura com sulfato de amônio nas reboleiras infestadas.
Mosca-branca	*Bemisia tabaci* biótipo B	Clima quente e seco. Aplicações indiscriminadas de fungicidas (eliminação de fungos entomopatogênicos/benéficos). Plantio safrinha após soja. Rotação soja-algodão por várias safras: aumento da população. Facilmente dispersada pelo vento. Ataque inicial de ninfas em reboleiras.	Destruição de restos culturais. Preparo antecipado do solo (30 dias). Evitar plantio escalonado. Controle de plantas daninhas hospedeiras. Utilizar barreiras protetoras (sorgo/milho). Rotação de culturas. Combate de reboleiras ou bordaduras infestadas. Controlar infestações de final de ciclo: mela afeta a qualidade da fibra.

Continua →

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Ácaro-rajado Ácaro-vermelho	*Tetranychus urticae* *Tetranychus ludeni*	Tempo quente e seco. Ataque em reboleiras. Plantio safrinha imediato após soja ou outra cultura hospedeira. Rotação soja-algodão por várias safras: aumento da população. Lavouras desequilibradas. Aplicações de inseticidas piretroides antes dos 80 dias após a emergência (DAE) favorecem a praga na área de cultivo. Aplicações indiscriminadas de fungicidas (eliminação de fungos entomopatogênicos/benéficos).	Pulverização foliar de acaricidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Rotação com culturas não hospedeiras. Destruição de soqueira. Eliminar plantas hospedeiras pelo menos 30 dias antes da semeadura. Combate nas reboleiras.
Ácaro-branco	*Polyphagotarsonemus latus*	Tempo quente e úmido.	Pulverização foliar de acaricidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência).
Broca-da-raiz	*Eutinobothrus brasiliensis*	Solos de mais úmidos/frios. Proximidade de áreas de pastagens e de refúgios de entressafra. Ataque mais comum nas bordaduras. Áreas sem rotação e vazio sanitário adequado.	Destruição de soqueira e rebrotas. Tratamento de sementes, seguido de duas a três pulverizações de inseticidas a partir da emergência. Destruição de soqueiras, plantas tigueras e outros hospedeiros ao redor e no interior dos talhões. Aplicações de inseticidas no final da safra ou dessecação: redução da população de adultos de entressafra.

Continua ⟶

Tabela 3. Continuação

Nome Comum	Nome Científico	Condições favoráveis e outras observações	Estratégias/práticas/ medidas de controle
Broca-da-haste (Broca-do-ponteiro)	*Conotrachelus denieri*	Clima úmido e quente. Primeiros cultivos: plantio antecipado serve como cultura atrativa/isca – maior incidência de ataque/infestação. Ataque mais comum nas bordaduras.	Tratamento de sementes, seguido de duas a três pulverizações de inseticidas a partir da emergência. Destruição de soqueiras, plantas tigueras e outros hospedeiros ao redor e no interior dos talhões. Aplicações de inseticidas no final da safra ou dessecação: redução da população de adultos de entressafra. Aplicações de inseticidas em florescimento pleno para a proteção de maçãs.
Cochonilhas	*Phenacoccus solenopsis* *Planococcus* spp.	Clima quente e seco. Ataque em reboleiras. Permanência de soqueira, plantas tigueras e rebrotas na área de cultivo (ausência de vazio sanitário e entressafra livre de plantas hospedeiras). Dispersadas facilmente na área de cultivo por máquinas/implementos agrícolas, homem (monitores) e vento.	Pulverização foliar de inseticidas/acaricidas (não realizar sub e superdosagens para se evitar problemas de resistência). Destruição de soqueiras, plantas tigueras e outros hospedeiros ao redor e no interior dos talhões.
Vaquinhas desfolhadoras, cascudinhos e besouros desfolhadores	*Diabrotica speciosa*, *Cerotoma* sp., *Costalimaita ferruginea*, *Cyclocephala melanocephala*	Cultivos com elevada incidência de plantas daninhas (bordadura e interior da área de cultivo). Cultivos próximos a áreas de soja ou mata.	Pulverização foliar de inseticidas em função do NC (não realizar sub e superdosagens para evitar problemas de resistência). Eliminação de plantas daninhas dos arredores dos cultivos.
Formiga-cortadeira	*Atta* spp. e *Acromyrmex* spp.	Áreas de primeiro ano de cultivo e/ou próximas a capoeiras, matas, cerrado.	Localizar os ninhos e utilizar inseticidas em pó ou em iscas formicidas para o controle.

6. Informações adicionais

Tecnologia de aplicação – Técnicas para Redução de Derivas (TRD) – (inseticidas/acaricidas)

TERRESTRE Umidade: > 55%; vento: até 12 km/h (sem rajadas); temperatura: até 30°C; deposição: mínimo de 40 gotas/cm^2; tamanho da gota (DMV): aproximadamente 200 µm; tipo de pontas: jato cônico; volume de calda: 40-100 l/ha.

AÉREA Umidade: > 55%; vento: 4-15 km/h; temperatura: até 30°C; deposição: mínimo de 40 gotas/cm^2; tamanho da gota (DMV): aproximadamente 100-200 µm; tipo de pontas: atomizador rotativo, barra de pontas; volume de calda: 5-20 l/ha.

Comunicar previamente os apicultores vizinhos sobre os cuidados com as colmeias de abelhas.

Observação: usar adjuvante em BV.

---

*Respeitar intervalo de reentrada na área.
*Obrigatório o uso de EPIs.
*Respeitar a distância de segurança de áreas de mananciais e habitadas (respeitar a legislação).
*Atentar-se ao risco de inversão térmica e derivas.
*Preferir inseticidas seletivos aos inimigos naturais e polinizadores (para mais informações, consultar Nota Técnica do IMAmt n°14/2014).

Referências bibliográficas

AGROFIT. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons

ARRUDA, L.S.; ROLIM, G.G.; BARROS, E.M.; PEREIRA, F.F.; TORRES, J.B. Colonization and Spatial Distribution of Boll Weevil in Commercial Cotton Fields. **Neotrop Entomol**, 49:901–915. 2020.
https://doi.org/10.1007/s13744-020-00813-7

IMAmt. **Circular Técnica**. Disponível em https://imamt.org.br/circulares-tecnicas/

IRAC Brasil & IRAC Internacional. **Recomendações de Manejo de Resistência a Inseticidas e Manejo de Pragas para Soja, Algodão e Milho no Brasil.** http://media.wix.com/ugd/2bed6c_52f993a9b3ed4c548138d3fbf81c283c.pdf. Acesso em 13/01/2020

IRAC Brasil. **ALGODÃO Orientações para o Manejo da Resistência a Inseticidas.** https://docs.wixstatic.com/ugd/2bed6c_a9fb9f257a1a405aa258e30db80ee9cf.pdf. Acesso em 13/01/2020

NEVES R.C.S.; TORRES, J.B.; BARROS, E.M.; VIVAN, L.M. Boll weevil within season and off- season activity monitored using a pheromone-and-glue reusable tube trap. **Sci. Agric.** 75: 313-320. 2018.

RIBEIRO, P.A.; SUJII, E.R.; DINIZ, I.R.; MEDEIROS, M.A.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; BRANCO, M.C.; PIRES, C.S.S.; FONTES, E.M.G. Alternative food sources and overwintering feeding behavior of the boll weevil, Anthonomus grandis Boheman (Coleoptera: Curculionidae) under the tropical conditions of central Brazil. **Neotrop. Entomol**. 39, 28–34. 2010.
https://doi.org/10.1590/s1519-566x2010000100005.

SHOWLER, A.T. Boll weevil damage to cotton bolls under standard and proactive spraying. **J. Econ. Entomol**. 99, 1251–1257. 2006. https://doi.org/10.1093/jee/99.4.1251.

SHOWLER, A.T. Do boll weevils really diapause? **American Entomologist**, 56: 100-105, ISSN 1046-2821. 2010.

Diretrizes técnicas embasadas nas estabelecidas na edição anterior do manual e atualizadas junto aos Grupos Técnicos do Algodão (GTAs) estabelecidos no Estado de Mato Grosso.

Rafael Galbieri
IMAmt

Mário Massayuki Inomoto
Esalq-USP

Rosangela Aparecida da Silva
Fundação MT

Guilherme Lafourcade Asmus
Embrapa Agropecuária Oeste

CAPÍTULO 5.8

Manejo de nematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 e atualizado pelos mesmos autores nas edições subsequentes de 2014/15, 2019/20 e 2025.

Nematoides constituem um dos maiores desafios enfrentados pelos produtores de algodão no cerrado brasileiro. Este capítulo tem como objetivo apresentar, de forma prática, informações relacionadas às espécies mais importantes, sintomatologia, identificação, quantificação, disseminação e medidas de controle. Esta é uma versão atualizada de um material escrito há cinco anos. Nesse curto período, é evidente a evolução de algumas espécies presentes nas áreas de produção, bem como o desenvolvimento e a utilização de novas ferramentas de controle, que serão abordadas no capítulo.

Não se sabe ao certo quanto da produtividade está sendo perdida em função dos nematoides em Mato Grosso. O fato é que existem localidades onde há perdas expressivas e outras onde o problema é menor. Há relatos de perdas de 50 a 60% em casos extremos, com média de até 10 a 12% em determinadas regiões. Estima-se uma perda anual superior a 4 bilhões de reais na cultura do algodoeiro em função de problemas relacionados a nematoides. Existem vários exemplos de áreas de produção que se tornaram inviáveis pela infestação desses parasitas, como ocorreu no passado nos estados de São Paulo e Paraná. Nas condições do Cerrado, criaram-se situações ideais para seu aumento populacional, dentre elas: reduzida diversificação de culturas, sequência de culturas hospedeiras no mesmo ano agrícola (segunda safra), mecanização intensa e utilização de genótipos suscetíveis.

Esse quadro vem se formando na contramão do processo de tecnificação da produção, uma vez que a cultura vem sendo trabalhada com uso intensivo de tecnologias, dentre elas máquinas cada vez mais modernas e eficientes, além da incorporação de eventos transgênicos, que proporcionam mais praticidade e segurança ao produtor. Esse modelo de produção vem funcionando e fazendo do Brasil o maior exportador mundial de fibra de algodão. É um modelo de sucesso, porém exige alto investimento e tecnificação na lavoura, resultando em maiores custos e total dependência de um elevado retorno em produtividade. Nesse contexto, perdas ocasionadas por nematoides são extremamente prejudiciais.

1. Principais nematoides da cultura do algodoeiro

Os principais nematoides que causam danos ao algodoeiro no Brasil são o nematoide-das-galhas (*Meloidogyne incognita*), o nematoide-reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e o nematoide-das-lesões-radiculares (*Pratylenchus brachyurus*). Dentre eles, o primeiro é o mais destrutivo, com alta agressividade para a cultura, merecendo grande atenção quando presente na área. O segundo é o mais persistente, com mecanismos eficientes de sobrevivência no campo, e o terceiro é o mais frequente no Estado de Mato Grosso, distribuído por todas as regiões de cultivo e cujas opções de manejo são difíceis. Além das espécies tradicionais, outras duas vêm ocorrendo em determinadas regiões do

Estado: *Aphelenchoides besseyi* e o *Meloidogyne enterolobii*. Para essas novas espécies, vêm sendo realizados estudos para entender melhor suas dinâmicas no sistema de produção envolvendo a cultura do algodoeiro.

O último levantamento sistemático para determinar a ocorrência de fitonematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso foi realizado no período de 2011 a 2015. Em 1.799 talhões amostrados (solo e raiz), verificou-se, na média, que 96,2% apresentaram *P. brachyurus*, 24,4% *M. incognita* e 12,8% *R. reniformis*. A distribuição dessas duas últimas espécies era consideravelmente variavel em função da região, como, por exemplo, o caso de maior ocorrência de *R. reniformis* na região Sul ou menor incidência de *M. incognita* e *R. reniformis* na região Noroeste do estado. No entanto, mesmo não dispondo de informações atualizadas em trabalhos sistemáticos, é evidente que a dispersão dessas duas espécies ocorre em todas as regiões produtoras do estado.

Os sintomas provocados pelo nematoide-das-galhas ocorrem em "reboleiras" e caracterizam-se pela formação de galhas no sistema radicular (Figura 1), diminuição da área foliar, deficiências minerais e murchamento temporário da planta durante o período mais quente do dia. Nas folhas, é possível observar mudanças de coloração, variando do amarelo ao vermelho intenso; em quadros mais graves, os sintomas podem evoluir para um crestamento generalizado com desfolha muito intensa. Sintoma bastante típico é o mosqueamento amarelo, distribuído pelo limbo foliar, em contraste com o verde normal levemente claro; essas áreas amarelas passam posteriormente a uma tonalidade castanha e, por fim, necrosam-se. Esse sintoma é conhecido pelos cotonicultores como "carijó" do algodoeiro (Figura 2). O ideal é diagnosticar a doença no início do aparecimento dos sintomas, quando o nematoide ainda não está causando danos expressivos, o que normalmente não é tarefa tão fácil, pois os sintomas são menos intensos; por exemplo, as galhas são menores e formam-se em radicelas muito jovens.

Figura 1. Sintomas diretos de "galhas" no algodoeiro causados por *Meloidogyne incognita* (Fonte: Rafael Galbieri)

Figura 2. Sintomas reflexos de "carijó" provocados por *M. incognita*, em Primavera do Leste, MT. Sintomas mais avançados na foto da direita (Fonte: Rafael Galbieri)

Cada galha pode conter de uma a várias fêmeas do nematoide; cada uma delas depositará aproximadamente 400 ovos na parte externa da raiz. Para a visualização das fêmeas são necessárias condições de laboratório com lupas (Figura 3).

É importante relatar a forte interação entre *M. incognita* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, causador da murcha de Fusarium, denominado complexo FUSnem. Nessa interação, o nematoide impede a formação de tiloses (estruturas/mecanismos de defesa que a planta produz no xilema para impedir a colonização pelo fungo), além de predispor a planta ao ataque do fungo. Esse é um grande problema, principalmente em solos com textura arenosa. A ocorrência da murcha de Fusarium no Mato Grosso ainda está regionalizada, mais concentrada nas regiões Centro-Leste e Centro. Nos últimos anos, diferentes fazendas de outras regiões diagnosticaram a presença da murcha de Fusarium, porém ainda de forma pontual e com severidade baixa.

Figura 3. Ampliação de raiz do algodoeiro com sintomas de galhas provocados por *M. incognita*. Destaque para a fêmea no interior da galha (a parte posterior da fêmea é visível como a estrutura de coloração branco-leitosa) e para a massa de ovos (Fonte: Rafael Galbieri)

Com relação ao nematoide-reniforme (*Rotylenchulus reniformis*), os sintomas caracterizam-se por ocorrerem em reboleiras (Figura 4) maiores e não tão definidas como em *M. incognita*, com diminuição do porte das plantas. As folhas "carijó" ocorrem apenas em algumas cultivares muito suscetíveis ou em condições de altas populações do nematoide (Figura 5). Não ocorrem alterações visuais muito expressivas nas raízes, que apresentam redução no volume e, quando arrancadas, mantêm o aspecto de sujas, mesmo depois de lavadas em água corrente, por conta da aderência de partículas de argila às massas de ovos do nematoide, que são de tamanho diminuto (Figura 6). Esse nematoide tem uma grande capacidade de sobrevivência no solo na ausência de plantas hospedeiras; em condições de baixa umidade, ele entra em estado de anidrobiose, suportando a dessecação. Além disso, apresenta alta capacidade de competição com *Meloidogyne incognita*, prevalecendo em locais onde ocorrem as duas espécies. Por essas características, o nematoide-reniforme é um grande problema no Estado de Mato Grosso, a exemplo de áreas tradicionais de cultivo como em Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo.

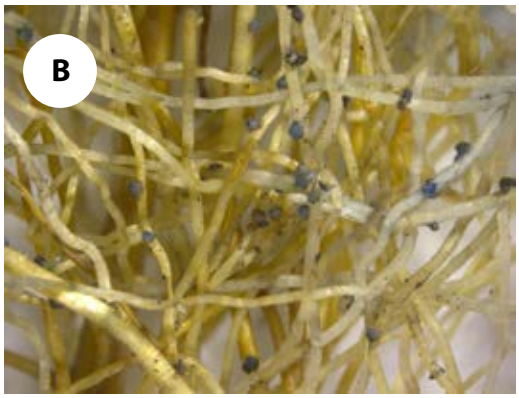
Figura 4. Reboleira em lavoura de algodoeiro causada por *Rotylenchulus reniformis* (Fonte: Guilherme L. Asmus)

Figura 5. Sintomas reflexos de "carijó" provocados por *R. reniformis*, em Pedra Preta, MT, em área com alta infestação do nematoide (Fonte: Rosangela Silva e Rafael Galbieri)

Os sintomas provocados por *Pratylenchus brachyurus* ocorrem somente sob alta infestação e são caracterizados pelo escurecimento de longos trechos das raízes e pela diminuição do porte das plantas. Os sintomas causados por esse nematoide são mais difíceis de serem observados quando comparados aos dos nematoides anteriores, diferentemente do que ocorre com a soja, cultura na qual os danos são maiores do que na do algodoeiro. Como não apresenta sintomas tão característicos e evidentes como os outros nematoides, a quantificação em laboratório se faz necessária para diagnóstico correto. Por esses fatores, os danos e sintomas provocados por esse nematoide em algodoeiro podem ser subestimados e, muitas vezes, confundidos com aqueles provocados por questões físicas e químicas do solo.

A partir de 2017, a espécie de nematoide *Aphelenchoides besseyi* foi relatada parasitando o algodoeiro no cerrado brasileiro. Sua incidência é maior no Noroeste e Norte de Mato Grosso, bem como no estado de Rondônia. Esse nematoide pode aparecer também em outras regiões, uma vez que a cultura da soja também é hospedeira. Há sazonalidade na ocorrência e nos danos causados pelo nematoide no algodoeiro, sempre associada a condições meteorológicas, como elevada umidade e temperatura.

Os sintomas causados por *A. besseyi* no algodoeiro ocorrem preferencialmente na parte aérea das plantas, sendo caracterizados por: engrossamento de nós, bolhas no limbo foliar, diminuição de porte, perda de botões florais e não finalização do ciclo da cultura, com dificuldade na desfolha (Figura 7). Esse complexo de sintomas pode ser confundido com outras causas, sendo recomendada a análise nematológica da parte aérea das plantas com sintomas para confirmação do diagnóstico.



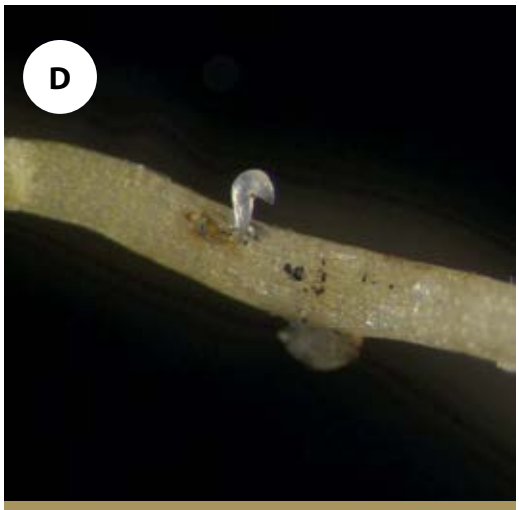


Figura 6. Massas de ovos de *R. reniformis* após lavagem e coradas com Trypan Blue (A e B) e fêmeas em raízes de algodoeiro sob lupa (C e D) (Fonte: Rosangela Silva e Rafael Galbieri)

Figura 7. Sintomas de *Aphelenchoides besseyi* em algodoeiro: perda de estruturas reprodutivas, engrossamento dos nós, rugosidade das folhas no ponteiro das plantas e não fechamento do ciclo da cultura (Fonte: Rafael Galbieri)

2. Distribuição e flutuação populacional de nematoides

Os nematoides apresentam distribuição espacial (vertical e horizontal) influenciada principalmente pela umidade e pela presença de raízes. Para culturas anuais, as maiores populações concentram-se até 25 cm de profundidade, com algumas exceções, como no caso de *R. reniformis*, que, em determinadas situações, apresenta maiores populações entre 20 e 40 cm de profundidade. Já a distribuição horizontal é irregular ou desuniforme (distribuição agregada), o que necessariamente deve ser considerado e compreendido pelos técnicos de campo no momento da amostragem para quantificação.

A análise de poucas subamostras em grandes áreas pode gerar valores que não representam a realidade da área amostrada. As densidades populacionais normalmente são maiores na época

de desenvolvimento pleno da cultura, em condições ideais de umidade, o que compreende os meses de abril e maio. Após a colheita, durante a entressafra, a população de nematoides diminui drasticamente até a ocasião do plantio na safra seguinte. Essa flutuação populacional durante a safra é influenciada por inúmeros fatores que estão constantemente sendo modificados, tornando difícil prever exatamente essa dinâmica.

Vários fatores físicos, químicos e biológicos afetam diretamente a dinâmica populacional dos nematoides no campo, dentre eles:

Planta hospedeira: a resistência dos genótipos tem grande influência na multiplicação do nematoide no campo.

Fatores climáticos: - *Temperatura*: exerce influência direta na atividade do nematoide e na duração de seu ciclo de vida, além de afetar na expressão da resistência da planta hospedeira; extremos de temperatura (muito altas ou muito baixas) limitam a multiplicação dos nematoides - *Umidade*: importante na mobilidade e na atividade dos nematoides, porém, em excesso, afeta sua sobrevivência; ocorrência de estresses hídricos (veranicos) em áreas infestadas pode acentuar os danos causados por nematoides.

Textura e fatores edáficos do solo: *M. incognita* tem preferência por solos mais arenosos e *R. reniformis* é mais frequente em solos argilosos.

Química do solo: Observa-se solos com maior teor de Potássio com maior população de *R. reniformis*. pH também influência população do nematoide. Mais alcalino, mais sintomas causados por *M. incognita* e, mais ácido, mais sintomas de *P. brachyurus*.

Fatores biológicos: relacionam-se principalmente à competição entre espécies, na qual a presença de uma pode interferir na população de outra, o que acontece entre *M. incognita* e *R. reniformis*, sobressaindo-se a segunda espécie. A microbiológica do solo tem efeito direto na população dos nematoides fitoparasitas. Também a presença da resistência genética na cultura, no caso de *M. incognita* e *R. reniformis* irá ter um efeito direto na dinâmica populacional do nematoide alvo de controle.

Práticas agrícolas: rotação de culturas, uso de nematicidas, data de plantio, controle de plantas daninhas, preparo de solo.

3. Quantificação de nematoides no campo

3.1. Coleta de amostras

Para um sistema eficiente de manejo de nematoides, é fundamental saber qual ou quais espécies de fitonematoides estão presentes, e qual é a sua densidade populacional, necessitando-se de auxílio de laboratório de nematologia. O ideal seria proceder a essa análise na safra anterior, quando a cultura está em seu pleno desenvolvimento (volume de raízes), para tomar as medidas de manejo necessárias na safra posterior. Há diferentes laboratórios de nematologia que fornecem orientações para coleta de amostras; é importante que o interessado entre em contato previamente com os responsáveis desses laboratórios para que possam tomar ciência da recomendação dos procedimentos de coleta. De qualquer forma, a seguir será sugerido um esquema de coleta de solo e raízes para análises nematológicas (Figura 8).

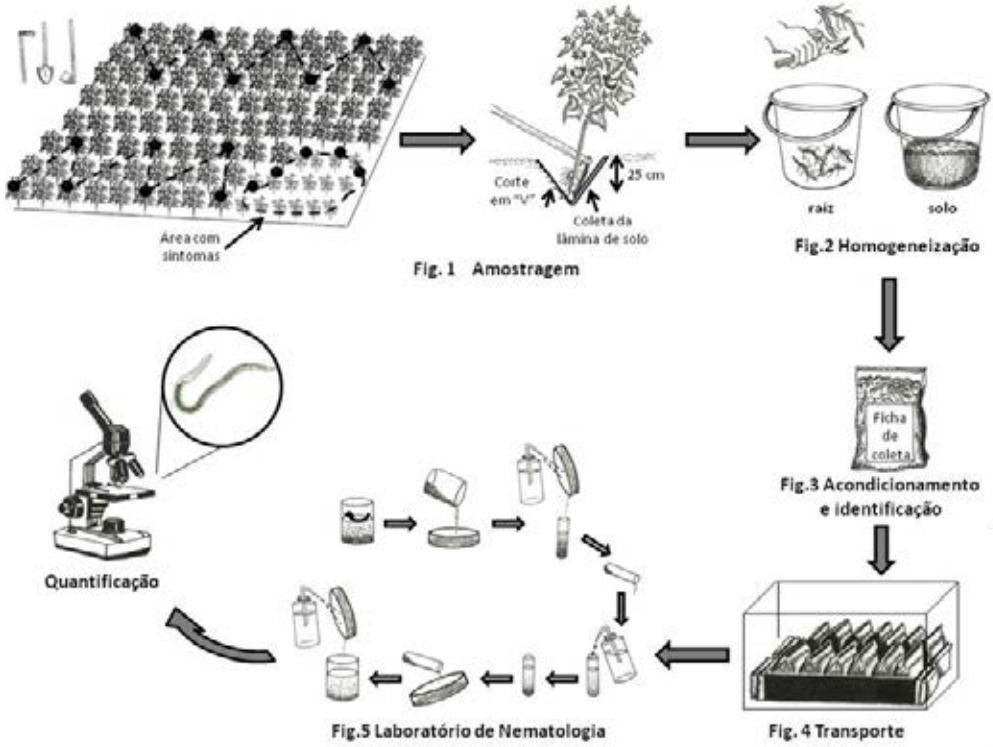


Figura 8. Esquema de amostragem, homogeneização, acondicionamento, identificação e transporte de amostras de solo e raiz na cultura do algodoeiro para quantificação de fitonematoides (Fonte: Ilustração Patricia Milano)

Data de coleta. Preferencialmente em pleno desenvolvimento da cultura, entre 60 e 120 dias após o plantio. É importante lembrar que a população de nematoides apresenta grande flutuação durante o ano, relacionada à quantidade e à idade das plantas e raízes presentes na área, bem como à umidade do solo. O pico populacional é atingido normalmente após os 60 dias.

Equipamentos necessários. Enxada, enxadão e/ou trado; sacolas plásticas com 1 a 2 litros de volume (normalmente fornecidas pelos laboratórios de nematologia), balde de 15 a 20 litros; tesoura de poda; caixa térmica ou isopor.

Forma de amostragem. Coletar as amostras de solo com umidade natural, evitando períodos extremamente secos ou úmidos. Realizar o caminhamento em zigue-zague no talhão, amostrando na linha de plantio, na região da rizosfera das plantas. Os nematoides permanecem preferencialmente onde há maior quantidade de raízes; assim, recomenda-se a coleta na profundidade de 0 a 25 cm. No caso de *R. reniformis*, observam-se populações mais elevadas em profundidades maiores, entre 20 e 40 cm, em determinados períodos do ano, o que justifica a realização deste procedimento em áreas com suspeita da presença do nematoide. Deve-se coletar 20 subamostras a cada, no máximo, 10 hectares. A distribuição de nematoides no campo ocorre de forma desuniforme, com formação de agregados (reboleiras), o que deve ser levado em consideração na amostragem. Por isso, o caminhamento na área deve ser realizado em zigue-zague, evitando-se fazer a amostragem no centro das reboleiras, pois, nesse local, as plantas e raízes provavelmente já estão muito danificadas, podendo a população de fitonematoides estar em baixa densidade. Nessas condições, amostrar as plantas e raízes nas bordas de áreas com plantas sadias (Figura 8).

Material coletado. Formar uma amostra composta de, no mínimo, 500 cm^3 de solo e 20 g de raiz por área amostrada. Lembrar que as maiores quantidades de nematoides estão nas raízes laterais e radicelas, e não na raiz pivotante. O material coletado, solo ou raiz, deve ser devidamente homogeneizado no balde.

Acondicionamento e identificação da amostra. As amostras devem ser acondicionadas em saco plástico, depositando-se o solo e, posteriormente, as raízes no centro, pois isso auxilia na preservação do sistema radicular para análise. As amostras deverão ser acompanhadas de uma ficha de identificação, que deverá conter, no mínimo, os seguintes

itens: propriedade, data de coleta, produtor interessado e seu contato, identificação do talhão, cultura, profundidade de amostragem, identificação da fase da cultura (dias após o plantio), relato e descrição da presença de sintomas. A seguir, exemplo de ficha de acompanhamento de coleta.

FICHA DE COLETA Nº: .....

1. Propriedade (fazenda): .....

2. Responsável interessado: .....

3. Telefone para contato: .....

4. Data de coleta das amostras: ...../...../.....

5. Nº do talhão (identificação): .....

6. Cultura anterior: .....

7. Cultura atual: .....

8. Espaçamento entre linha utilizado: ( ) 0,90 m ( ) 0,76 m ( ) 0,45 m

9. Tipo de solo: ( ) Arenoso ( ) Areno-Argiloso ( ) Argiloso

10. Sintomas-reflexo provocados por nematoides:
( ) Sem sintomas visíveis
( ) Sintomas em reboleiras
( ) Presença de galhas no sistema radicular
( ) Presença de folhas com sintomas de "carijó"
( ) Variação no porte de crescimento das plantas
( ) Presença de regiões com escurecimento no sistema radicular
( ) Presença de vasos escurecidos pela murcha de fusário

11. Data de semeadura do talhão: ...../...../.....

12. Cultivar utilizada: .....

Na ocasião da coleta, observar a ocorrência de sintomas de murcha de Fusarium (Figura 9). Recomenda-se indicar esse fato na ficha de coleta, pois essa informação da ocorrência de interação nematoide x fungo é de extrema relevância no manejo da área.

Figura 9. Amostragem em áreas infestadas por *M. incognita* x *Fusarium* em Primavera do Leste, MT (Fonte: Rafael Galbieri)

Transporte da amostra. Nematoides não sobrevivem em solos ou raízes secas e não toleram altas temperaturas. Assim, o transporte do campo ao laboratório deve ser feito o mais breve possível, de preferência dentro de caixas térmicas para evitar temperaturas elevadas. Quando as amostras não puderem ser transportadas ao laboratório imediatamente, é preciso armazená-las em locais frescos, podendo ser em geladeira (6-8 °C), mas nunca em freezer. Deve-se evitar armazenar as amostras em locais com temperaturas altas.

Todo o esquema apresentado acima restringiu-se aos nematoides presentes no solo e nas raízes. Com o objetivo de quantificação de *Aphelenchoides besseyi*, a coleta do material deve ser realizada na parte aérea das plantas. Quando as plantas estiverem pequenas, deve-se coletar toda a parte aérea, cortando-as 10 cm acima do nível do solo. Caso a coleta seja realizada em fases mais avançadas da cultura, com as plantas maiores, deve-se concentrar a coleta na região do ponteiro (maior população do nematoide), nos 6 primeiros nós de cima para baixo nas plantas. O material pode ser acondicionado em sacos plásticos para ser encaminhado diretamente para o laboratório. A sensibilidade e a degradação desse material são ainda maiores comparativamente com raízes e solo.

3.2. Análise nematológica

Processamento de amostra. Os laboratórios processarão essas amostras de acordo com metodologias específicas, que consistem em extrair/isolar os nematoides do solo e/ou de tecidos das plantas. Essa separação é possível basicamente pela diferença de densidade dos nematoides em relação aos outros componentes da amostra, associada à retenção deles em peneiras específicas. Para isso, são utilizados de 100 a 200 cm^3 de solo e de 5 a 10 g.

Quantificação dos nematoides. Após extrair e separar os nematoides, a identificação e a quantificação são realizadas com auxílio de microscópio em laboratório.

Laudo/resultado de análise. O laudo normalmente refere-se à quantificação de nematoides encontrados no solo (100 cm^3) e na raiz (5 g). É importante verificar o valor da unidade, pois, dependendo do laboratório, podem ocorrer variações (200 cm^3 de solo ou 10 g de raízes, por exemplo). Os laudos contemplarão a quantificação dos nematoides de importância para a cultura do algodoeiro, como já relatado: *Pratylenchus brachyurus* e *Rotylenchulus reniformis*. Para *Meloidogyne*, o laudo simples de quantificação normalmente indicará apenas o gênero "*Meloidogyne* sp.". Caso o produtor ou técnico queira saber a espécie presente, é possível uma análise mais elaborada no laboratório, envolvendo técnicas tradicionais como a observação do padrão perineal de fêmeas, complementadas por análise de enzimas (esterases) ou por técnicas moleculares no nível de DNA, com custo mais elevado.

Para o *Aphelenchoides besseyi*, o laudo é específico, uma vez que a coleta para quantificação do nematoide é restrita à parte aérea das plantas com sintomas. Neste caso particular, a unidade de quantificação no laudo será o número de nematoides por grama de tecido vegetal.

Interpretação dos resultados. O resultado da quantificação da população de nematoides em determinada área é muito variável, dependendo da época e da forma de amostragem. Assim, para comparação de resultados, os procedimentos de amostragem (época, local, profundidade) devem ser os mesmos. É importante lembrar que a presença de altas densidades populacionais de nematoides no resultado de análise não estará necessariamente correlacionada à ocorrência de perdas. Outros fatores, como fertilidade, umidade e densidade do solo (presença ou não de camada compactada), teor de matéria orgânica, resistência/tolerância de cultivares, entre outros, podem afetar a intensidade dos danos causados por determinada população de nematoides. De forma geral, as densidades populacionais de nematoides por 100 cm^3 de solo, observadas antes do plantio, que provavelmente causarão perdas na produção de algodoeiro são as seguintes: para *M. incognita* e *M. enterolobii*, aproximadamente entre 10 e 25; para *R. reniformis*, entre 200 e 300 e para *P. brachyurus*, que apresenta densidades mais elevadas em comparação com as demais espécies, não há um valor definido. Para relacionar populações a danos e perdas em uma propriedade específica, é interessante que o técnico forme um banco de dados indicando o histórico dessas análises e a produtividade do talhão objeto do manejo.

4. Manejo de nematoides

Dentro de um programa de manejo de nematoides, o primeiro passo é reconhecer essa praga

como uma prioridade, pois, muitas vezes, o aspecto comercial se sobrepõe à necessidade de aplicar determinadas medidas fundamentais para o controle momento adequado. É essencial compreender que o manejo eficaz não se baseia em uma única prática, mas sim em um conjunto de ações que, ao longo do tempo, permitam a produção satisfatória do algodoeiro em uma área ou regiões infestadas por fitonematoides.

Durante a safra atual, existem poucas medidas efetivas a serem implementadas. Portanto, os procedimentos devem ser cuidadosamente planejados e executados sempre com antecedência. Por isso, é importante acompanhar o histórico da área em relação ao manejo de nematoides, produtividade e fertilidade, para que as decisões sejam fundamentadas na realidade local. Quando a cultura já está estabelecida, as opções de controle são limitadas e, na maioria dos casos, apenas paliativas para evitar perdas. Exemplos desses paliativos são o manejo complementar da fertilidade e a intensificação na irrigação em áreas irrigadas. Assim, evitam-se situações de estresse, pois plantas debilitadas e mal nutridas são mais susceptíveis ao ataque dos nematoides. De fato, em anos de condições climáticas ideais, como chuva adequada e boa adubação, as perdas por nematoides tendem a ser menores.

A medida mais eficiente para o manejo de nematoides é **evitar a introdução** de nematoides-chave para a cultura em áreas, regiões, fazendas ou talhões que ainda estejam isentos. Como os nematoides possuem capacidade limitada de dispersão natural, eles dependem de outros meios de disseminação. Teoricamente, qualquer agente que movimente o solo também tem condição de dispersar

Figura 10. Solo aderido aos discos de corte e carrinhos da plantadeira (Fonte: Rosângela Silva)

os nematoides, como água da chuva, vento, insetos e, principalmente, o homem. Este último pode carregar os nematoides no próprio corpo ou em implementos agrícolas, onde o solo fica aderido, conforme ilustrado na Figura 10. Esse material pode ser transportado para locais dentro do mesmo talhão, para outras fazendas ou até outros municípios.

Para minimizar ou evitar essa disseminação, é fundamental que pelo menos os tratos culturais mecanizados sejam planejados de forma que as áreas ou fazendas problemáticas sejam manejadas por último. Além disso, a limpeza e lavagem dos implementos após os tratos e antes do transporte para áreas isentas são práticas essenciais. Inegavelmente, o ritmo de trabalho imposto às equipes, muitas vezes, torna esse procedimento difícil. Porém é fundamental reconhecê-lo como indispensável, incorporando-o à rotina no manejo de nematoides. Vale ressaltar que essa prática também ajuda a prevenir a disseminação de outras doenças, plantas daninhas e insetos.

Uma espécie extremamente agressiva, diagnosticada recentemente (2019) parasitando o algodoeiro no Brasil, é *Meloidogyne enterolobii* (Figura 11). Sua ocorrência iniciou-se no estado de Minas Gerais, seguida pela Bahia. No Mato Grosso, até o momento, há duas confirmações da presença dessa espécie, registradas em 2023 e 2024. A disseminação da espécie ainda é restrita à região Noroeste do Estado (Figura 12), sendo imprescindível respeitar todos os fundamentos anteriormente citados para evitar a introdução dessa espécie em regiões isentas. Anualmente, o Departamento de Fitopatologia/Nematologia do IMA monitora a expansão dessa espécie por meio do recebimento de amostras suspeitas e avaliações das áreas próximas aos talhões já identificados.

Figura 11. Sintomas causados por Meloidogyne enterolobii no algodoeiro (Fonte: Rafael Galbieri)

Figura 12. Distribuição geográfica da ocorrência de *M. enterolobii* parasitando o algodoeiro no Brasil de acordo com diferentes relatos/publicações. Atualização em agosto de 2025

Em áreas infestadas, os principais métodos de controle de nematoides são os culturais, os genéticos, os químicos e os biológicos. No método cultural, destaca-se a utilização de rotação de culturas com espécies não hospedeiras, considerada uma das principais técnicas de manejo devido à sua eficácia. O princípio consiste em implantar culturas não hospedeiras a determinado nematoide presente na área, restringindo sua alimentação e, consequentemente, dificultando sua sobrevivência. A combinação desse período de escassez alimentar com a ação dos microrganismos presentes no solo tende a diminuir a população de nematoides na área. É importante destacar que a técnica é completamente dependente do tempo em que o local permanece sem a cultura hospedeira. Apesar de ser uma técnica eficiente, a rotação ainda é pouco utilizada no controle de fitonematoides na cultura do algodoeiro. No entanto, para o nematoide *R. reniformis*, o uso da rotação é especialmente importante em áreas infestadas para manter a população abaixo do nível de dano econômico, principalmente por conta da sucessão soja/algodoeiro. Ambas as culturas são hospedeiras, e a maioria das cultivares de soja que antecede o algodoeiro multiplica o nematoide, resultando em alta população para a cultura subsequente. Programas de melhoramento de soja têm desenvolvido cultivares resistentes a *R. reniformis*, com ciclos mais precoces para utilização na sucessão de soja-algodoeiro (Figura 13) em áreas infestadas. Essa prática é importante para manter a população do nematoide em níveis mais baixos para a cultura do algodoeiro, favorecendo a cultura subsequente. O uso de cultivares de soja resistentes a *R. reniformis* antecedendo o algodoeiro comprovadamente diminui a população do nematoide no solo, promovendo reflexos positivos na produtividade.

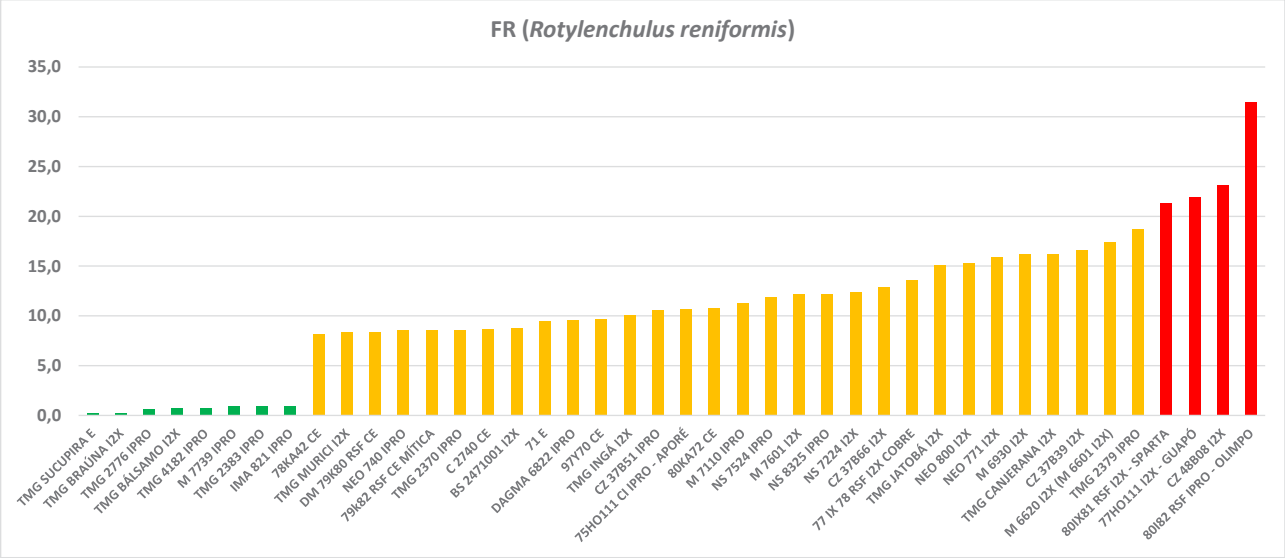


Figura 13. Reação (Fator de Reprodução-FR) de cultivares de soja a *Rotylenchulus reniformis*, Trabalho em parceria com Bom Futuro, 2025

Também têm sido utilizadas plantas não hospedeiras em sucessão com a cultura principal (econômica) na mesma safra agrícola, visando à redução da população de nematoides. Um exemplo é o uso de milho, milheto, braquiária e sorgo — plantas da família das poáceas — para o controle do nematoide-reniforme. Como já mencionado, os benefícios dessas práticas dependem do tempo em que as plantas não hospedeiras são utilizadas. Embora a rotação de cultura seja o ideal, os benefícios da sucessão não devem ser negligenciados.

De acordo com a Tabela 1, que apresenta a reação de diferentes culturas aos nematoides-chave do algodoeiro, o nematoide mais fácil de ser manejar por meio de **rotação ou sucessão** é *R. reniformis*, pois há várias culturas não hospedeiras (indicadas em verde); e o nematoide de controle mais difícil é o *P. brachyurus*. As culturas mais indicadas para rotação ou sucessão nestes casos são as braquiárias, *Panicum maximum* e amendoim, desde que a densidade de *P. brachyurus* não seja elevada. Quando o nematoide a ser controlado for *P. brachyurus*, a principal opção é a *Crotalaria spectabilis*. Para o controle de *M. incognita*, a cultura da mamona é uma alternativa interessante que pode ser implementada, embora deva-se considerar sua alta suscetibilidade a *R. reniformis*.

Por ser um patossistema relativamente recente para o algodoeiro, ainda não há informações suficientes para completar a Tabela 1 sobre a reação de diferentes culturas ao nematoide *Aphelenchoides*. Sabe-se que as culturas como milho, sorgo e crotalária não são hospedeiras desse nematoide, podendo ser indicadas em sistemas de rotação ou sucessão em áreas com infestadas. No entanto, devido à capacidade de se alimentar também de fungos "micófagos", o conceito de implantação de culturas não hospedeiras e redução direta da população do nematoide pode não ser tão evidente para essa espécie, havendo necessidade de estudos adicionais para melhor compreensão desse aspecto.

A sucessão soja-algodão (segunda safra), consolidada no Mato Grosso, traz preocupações específicas, pois os quatro nematoides importantes para o algodoeiro apresentados também são problemas para a cultura da soja. No caso de *R. reniformis*, os danos são maiores na cultura do algodoeiro do que na soja. Quando se planta primeiramente a leguminosa, proporciona-se o aumento populacional do nematoide, com consequências provavelmente negativas para o algodoeiro subsequente. Há variações na reação de cultivares de soja a *R. reniformis*, o que pode ser explorado na escolha do material a ser cultivado no talhão. Outro ponto importante e subestimado é o impacto da utilização do milho safrinha após a soja em áreas infestadas por *M. incognita*. Embora o milho seja tolerante a essa espécie de nematoide, a maioria dos genótipos proporciona alta multiplicação do nematoide. Ou seja, o milho é suscetível a *M. incognita*, deixando para a cultura seguinte uma população elevada. Esse fator deve ser considerado no manejo integrado da área.

Tabela 1. Reação de culturas selecionadas aos principais nematoides do algodoeiro

Cultura	*Meloidogyne incognita*	*Rotylenchulus reniformis*	*Pratylenchus brachyurus*
Soja			
Feijão-comum			
Milho			
Sorgo			
Arroz			
Cana-de-açúcar			
Milheto			
Braquiárias			
Panicum maximum			
Amendoim			
Capim-sudão			
Mamona			
Girassol			
Crotalaria spectabilis			
Crotalaria juncea			
Estilosantes			
Feijoeiro-guandu			
Mucuna-preta			
Nabo-forrageiro			

***Cor vermelha** indica que a cultura multiplica intensamente o nematoide (cultura boa hospedeira), portanto, não deve ser utilizada em rotação ou sucessão com algodoeiro em locais infestados. Assim, uma extensa lista de culturas deve ser evitada em locais infestados com o nematoide-das-galhas *Meloidogyne incognita*: feijão-comum, milho, arroz, milheto, cana-de-açúcar, mandioca, girassol e nabo-forrageiro.

***Cor azul** indica que a cultura multiplica pouco o nematoide (má hospedeira): a mucuna-preta aumenta lentamente a densidade de *M. incognita*.

***Cor verde** indica que a cultura não multiplica o nematoide (cultura não hospedeira); portanto, as braquiárias *Panicum maximum*, amendoim e *Crotalaria spectabilis* reduzirão a densidade de *M. incognita*.

***Cor amarela** é utilizada para representar as plantas que apresentam reação variável: a maioria das cultivares de soja e guandu é suscetível, mas há cultivares resistentes que não multiplicam *M. incognita* (Inomoto, 2011).

O mesmo princípio se aplica às plantas de cobertura, ou seja, a cultura deve ser não hospedeira ou, no mínimo, má hospedeira ao nematoide-alvo em determinada área. Dessa forma, não haverá a multiplicação do nematoide, resultando em redução populacional.

O controle genético é realizado pela utilização de genótipos de algodoeiro **resistentes ou tolerantes** aos nematoides. Inicialmente, é necessário esclarecer o conceito que envolve essa questão. *Resistência* é a capacidade da planta de impedir ou dificultar a reprodução dos nematoides, o que pode ser medido pelo fator de reprodução (FR). Por exemplo, se o FR de um genótipo for 3, significa que esse material multiplica

três vezes a população do nematoide em um determinado período, mediante uma infestação inicial conhecida. Quando esse valor for inferior a 1, significa que o genótipo é resistente, pois reduz a população do nematoide. A *tolerância* refere-se à capacidade da planta de suportar o ataque do nematoide com produtividade mantida.

Do ponto de vista do manejo de nematoides, a resistência genética, quando presente, é uma ferramenta muito importante, pois promove uma redução drástica da população do nematoide em comparação à utilização de apenas genótipos suscetíveis. Desde 2017, cultivares de algodoeiro com alta resistência a *M. incognita* estão disponíveis no Brasil. A redução populacional do nematoide com o uso dessa tecnologia é superior a 90% em comparação com cultivares suscetíveis (Figura 14). Essa resistência é conferida por dois genes (QTL), q-Mi11 e q-Mi14, garantindo eficiência e estabilidade nas áreas de produção. Algumas cultivares possuem apenas um gene de resistência e apresentam resistência moderada, com redução populacional menor que as resistentes, mais ainda considerável, em torno de 70%. A resistência do algodoeiro a *M. incognita* é um método fundamental para o manejo do nematoide e tem sido cada vez mais utilizada a cada safra em áreas infestadas (Figura 15). Devido à alta eficiência dessa tecnologia, a cultura que antes era considerada uma das responsáveis pelo aumento populacional desse nematoide no cerrado e pela inviabilização da produção, agora passa a ser uma opção viável para o manejo de áreas infestadas. Ainda assim, o monitoramento dessa resistência é fundamental, sendo recomendada a rotação no tempo para diminuir a pressão de seleção, mesmo considerando que dois genes estão envolvidos e não há relatos até o momento de quebra dessa resistência.

Figura 14. Sintomas de galhas no algodoeiro causados por *Meloidogyne incognita*. À esquerda, raiz de planta resistente e, à direita, suscetível ao nematoide. Raízes extraídas 70 dias após a inoculação do nematoide em condições de casa de vegetação (Fonte: Rafael Galbieri)

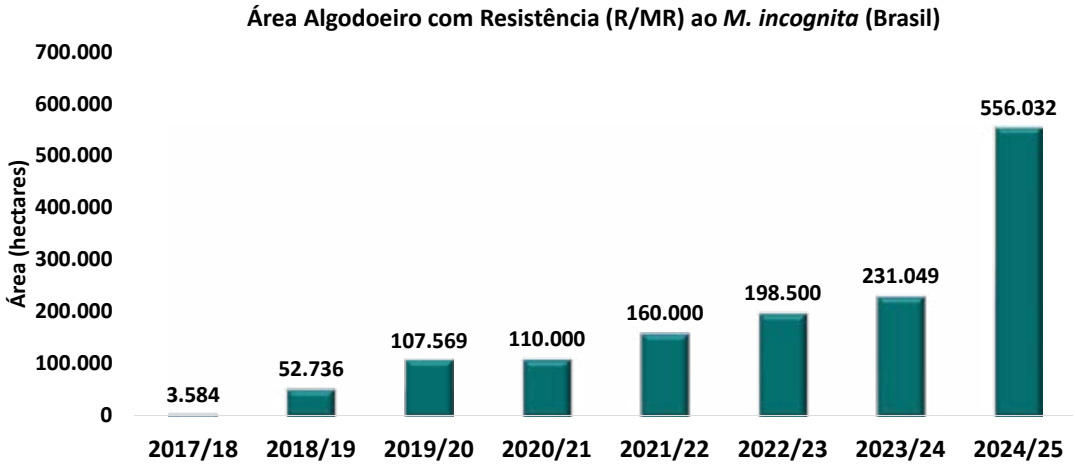


Figura 15. Evolução da área plantada com cultivares de algodoeiro apresentando níveis de resistência (R - resistente ou MR - moderadamente resistente) à *M. incognita* no Brasil (Fonte: Associações de Produtores de Algodão)

A partir da safra 2023-24, foram lançadas cultivares com resistência moderada (parcial) ao nematoide *R. reniformis*. Nesses materiais, a redução populacional do nematoide é cerca de 70% em comparação com cultivares suscetíveis. Essa ferramenta será muito importante no manejo integrado do nematoide em áreas infestadas. Dados de campo demonstram essa redução populacional do nematoide e indicam alto incremento na produtividade dependendo do nível de infestação do nematoide (Figura 16). Entretanto, como a resistência é moderada, o uso dessas cultivares em conjunto com nematicidas químicos e/ou biológicos tem apresentado benefícios claros e passa a ser uma técnica recomendada.

Figura 16. Diferença na produtividade de cultivares de algodoeiro em área com alta infestação de *R. reniformis* (população de 5.000 espécimes em 100 cm^3 de solo). À direita, cultivar com **Resistência Moderada** ; à esquerda, cultivar suscetível ao nematoide (Fonte: Rafael Galbieri)

Para os fitonematoides *P. brachyurus*, *A. besseyi* e *M. enterolobii*, não há ainda cultivares com resistência genética, sendo todas suscetíveis a esses nematoides. Para essa última, é importante relatar que cultivares resistentes a *M. incognita* **não** apresentam resistência a *M. enterolobii*. Por isso, conhecer exatamente qual espécie está presente é fundamental para o manejo genético adequado.

Considerando uma mesma população de nematoides, uma cultivar tolerante produz mais que uma cultivar não tolerante (intolerante). Em comparação a uma cultivar não tolerante, a cultivar tolerante tem um limite maior de tolerância, ou seja, começa a apresentar prejuízos em níveis populacionais maiores do nematoide; essa informação é muito requisitada pelos produtores, pois está diretamente relacionada à produtividade. O comportamento dos genótipos é específico para cada nematoide; um genótipo pode apresentar boa reação a mais de uma espécie, mas isso não é regra, sendo necessário dispor de informação separada para cada nematoide-chave. Há grande variabilidade para tolerância nas cultivares disponíveis para o plantio, principalmente para *M. incognita* e *R. reniformis* (Figura 17). Ressalta-se que a tolerância não é uma técnica essencialmente de controle de nematoide, pois não reduz sua população, mas é exclusivamente focada em manter a produtividade em áreas infestadas.

A reação da tolerância de diferentes cultivares de algodoeiro ao nematoide-das-galhas e reniforme pode ser consultada na Tabela 5 do Capítulo 5.6 de controle de doenças. Essas informações também podem ser solicitadas junto aos obtentores nos programas de melhoramento de algodoeiro em atividade no Brasil.

Figura 17. Reação de cultivares de algodoeiro a *M. incognita*. À esquerda, material **intolerante** e, à direita, **tolerante** ao nematoide. Área com 5,1 mil espécimes de *M. incognita* em 200 cm^3 de solo (Fonte: Rafael Galbieri)

Outro método de manejo de nematoides é a utilização de **nematicidas químicos**. Atualmente, esses produtos são aplicados no tratamento de sementes, no sulco de plantio e em área total do algodoeiro. É importante destacar que essa técnica oferece proteção às raízes por um período aproximado de 30 a 60 dias após o plantio. Considerando que o ciclo do algodoeiro no estado de Mato Grosso pode chegar a 180 dias, há tempo suficiente para que a população do nematoide atinja, ao final do ciclo, níveis próximos aos observados em áreas não tratadas. O foco desse manejo, nesse caso, é o ganho em produtividade, que deve ser avaliado pela relação custo-benefício da utilização da técnica.

O tratamento de sementes como nematicidas como abamectina, tiodicarbe, fluopiram e cyclobutrifluram tem sido utilizado no estado, bem como nematicidas aplicados no sulco de plantio, tais como terbufós e fluopiram. Empresas estão

desenvolvendo novos nematicidas químicos para a cultura do algodoeiro no Brasil, incluindo lançamentos futuros como fluazaindolizina e outros organofosforados. Isso reflete o crescimento dos problemas com nematoide, ampliando as opções dentro do manejo integrado de nematoides no Estado.

Destacam-se também produtos fitoquímicos à base de extrato de vegetais, como *Allium sativum* e *Azadirachta* indica, utilizados tanto no tratamento de semente quanto no sulco de plantio, além de alguns bioquímicos à base de determinados peptídeos.

O controle **biológico** tem ganhado destaque também no manejo de nematoides na cultura do algodoeiro. Nessa modalidade, existem produtos para tratamento de sementes, aplicação no sulco de plantio ou pulverização em área total. Entre os agentes de controle utilizados e testados estão diversas espécies do gênero *Bacillus*, como *B. velezensis, B. thuringiensis, B. amyloliquefaciens, B. paralicheniformis, B. subtilis, B. methilotrophicus, B. firmus* e *B. lentus*; a bactéria *Pasteuria penetrans* (contra *M. incognita*), *Pseudomonas oryzihabitans, Burkholderia rinojensis*; além de fungos como *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma* sp. Esses microrganismos, eficazes, estão sendo testados em diferentes formas para auxiliar no manejo dos nematoides no estado. É importante destacar que, por serem constituídos de organismos vivos, os nematicidas biológicos necessitam de cuidados especiais para garantir sua eficiência. Condições como altas temperaturas e baixa umidade do solo podem comprometer a viabilidade desses agentes de controle biológico. Assim, espera-se uma maior eficácia desses produtos em áreas com boa cobertura vegetal no momento da semeadura da cultura do algodoeiro.

Um ponto a ser considerado na escolha do produto biológico é a espécie do nematoide e o modo de ação do microrganismo. Se o nematoide possui formas de sobrevivência na ausência da planta hospedeira, fungos que se desenvolvem e infestam as diferentes formas do nematoide e ovos no solo são bastante promissores. Porém, se a ideia é formar uma camada de proteção em volta das raízes e diminuir a penetração do nematoide, as bactérias cumprem bem esse papel. Outro fator a ser considerado é o tratamento com esses produtos biológicos nas plantas de cobertura utilizadas na rotação ou sucessão. Nesse caso, para a cultura resistente a todos os nematoides fitoparasitas da área, os fungos podem ser as melhores opções, pois irão parasitar as estruturas de sobrevivência do nematoide. No entanto, para diminuir a multiplicação em culturas com resistência limitada, as bactérias têm apresentado bons resultados.

Importante, dentro do manejo de nematoides, é a utilização de forma **integrada** dos métodos descritos acima (cultural, genético, químico e biológico). Como as ferramentas e técnicas são específicas para a espécie-chave na cultura do algodoeiro, é fundamental que os técnicos saibam exatamente qual o nematoide presente e sua quantificação, bem como todos os métodos de manejo disponíveis para enfrentar o problema nas áreas de produção.

Tabela 2. Descrições dos principais fitonematoides do algodoeiro para o Cerrado brasileiro

Nome comum	Espécie	Sintomatologia	População de dano*	Recomendação de manejo
Nematoide-das-galhas	*Meloidogyne incognita*	Formação de galhas no sistema radicular; sintoma "carijó" nas folhas; presença em "reboleiras" no talhão; diminuição do porte das plantas.	**"Baixa"** >10-25 espécimes por 100 cm^3 de solo	Utilização de genótipos resistentes; utilização de rotação de cultura com espécies não hospedeiras, ex.: *Brachiaria*, amendoim, mamona, *Crotalaria*; estilosantes... **utilização de produtos nematicidas químicos/biológicos.
Nematoide-reniforme	*Rotylenchulus reniformis*	Presença de sintoma "carijó"; em alta infestação, presença em "reboleiras" no talhão; diminuição do porte das plantas; Presença de massas de ovos aderidas às raízes.	**"Média"** >200-300 espécimes por 100 cm^3 de solo	Utilização de genótipos moderadamente resistentes; utilização de rotação de cultura com espécies não hospedeiras, ex.: milho, sorgo, milheto, arroz, braquiária, *C. spectabilis*; **utilização de produtos nematicidas químicos/biológicos.
Nematoide-das-lesões-radiculares	*Pratylenchus brachyurus*	Diminuição do porte das plantas; em alta infestação, presença de escurecimento no sistema radicular.	**"Alta"**, porém não definida	Utilização de rotação de cultura com espécies não hospedeiras, ex.: *C. spectabilis*; **utilização de produtos nematicidas químicos/biológicos.
Nematoide-das-galhas	*Meloidogyne enterolobii*	Formação de galhas no sistema radicular (inclusive na pivotante); sintoma "carijó" nas folhas; presença em "reboleiras" no talhão; diminuição do porte das plantas.	**"Baixa"** >10-25 espécimes por 100 cm^3 de solo	Evitar introdução do nematoide em áreas isentas; utilização de rotação de cultura com espécies não hospedeiras, ex.: *Crotalaria*; Mamona, brachiaria; **utilização de produtos nematicidas químicos/biológicos.
Nematoide-da-haste-verde	*Aphelenchoides besseyi*	Rugosidade nas folhas; engrossamento dos nós; abortamento de estruturas reprodutivas; não finalização do ciclo da cultura com dificuldade na desfolha	**"Baixa"** >1 espécime por g de tecido da parte aérea***	Evitar introdução no nematoide em áreas isentas; utilização de rotação de cultura com espécies não hospedeiras, ex.: Milho, Sorgo, Crotalaria; Revolvimento do solo; **utilização de produtos nematicidas (TS, sulco e pulverização) químicos/biológicos.

*População inicial de dano estipulada antes do plantio do algodoeiro.

** Produtos devidamente registrados em órgãos competentes para utilização em algodoeiro (MAPA).

*** População estimada pela experiência dos autores. No entanto, necessitando de mais estudos para melhor posicionamento.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: rafaelgalbieri@imamt.org.br

Fábio Rafael Echer
Unoeste

Ana Flávia Rorato de Souza
Unoeste

CAPÍTULO 5.9

Manejo de reguladores de crescimento no algodoeiro

Capítulo publicado originalmente na edição de 2019/20, com autoria de Echer, Rosolem e Mello. Atualizado para a edição de 2025 por Echer e Souza.

O algodoeiro é uma planta perene de crescimento indeterminado com complexa morfofisiologia, uma vez que as fases vegetativa e reprodutiva ocorrem ao mesmo tempo. Assim, altas produtividades somente podem ser obtidas quando há adequado balanço na distribuição de carboidratos entre os órgãos vegetativos e reprodutivos.

O uso de reguladores de crescimento vegetal, como o cloreto de mepiquate e o cloreto de clormequate, tornou-se uma prática essencial no manejo do algodoeiro para equilibrar o crescimento vegetativo e reprodutivo, promovendo maior produtividade e qualidade da fibra. Em condições favoráveis de solo e clima, o algodoeiro tende a apresentar crescimento vegetativo excessivo, o que pode comprometer o desenvolvimento dos frutos e, consequentemente, a produção de algodão de alta qualidade. A aplicação desses reguladores permite controlar a altura das plantas, otimizar a arquitetura do dossel e antecipar a maturação, facilitando práticas como a colheita mecânica e o manejo fitossanitário.

O cloreto de mepiquate e o cloreto de clormequate atuam principalmente como inibidores da biossíntese de giberelinas, hormônios vegetais responsáveis pelo alongamento celular e crescimento dos tecidos. Ao inibir a atividade das giberelinas, esses reguladores reduzem o alongamento das células, resultando em plantas mais compactas, com menor distância entre nós e menor área foliar. Além disso, o cloreto de mepiquate influencia o metabolismo de carboidratos, promovendo uma melhor relação fonte-dreno, o que favorece a alocação de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, o que pode impactar tanto na retenção quanto no peso dos capulhos. O cloreto de clormequate, por sua vez, também contribui para a redução do crescimento vegetativo e pode melhorar características como peso de capulho, precocidade e qualidade da fibra, dependendo da dose e do momento de aplicação.

Assim, a utilização estratégica desses reguladores de crescimento no algodoeiro representa uma ferramenta eficiente para maximizar o potencial produtivo da cultura, ajustando o desenvolvimento das plantas às exigências agronômicas e ambientais.

Além dos fatores bióticos, o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro são influenciados por fatores exógenos (água, luz e temperatura, fertilidade do solo), como também por fatores endógenos (hormônios). A ocorrência de estresses que resultem em perda da carga frutífera ou condições que favoreçam o crescimento vegetativo, tais como excesso de N no solo, solo úmido, mas não encharcado, e temperaturas altas (>32ºC), resultam em crescimento excessivo, e, dependendo da fase fenológica, reduzem o índice de colheita, ou seja, a proporção de biomassa reprodutiva em relação ao total produzido pela planta.

Mobilidade do regulador de crescimento

Embora o cloreto de mepiquate (CM) possa ser translocado no algodoeiro, isso ocorre a curtas distâncias (Wang *et al.*, 2014). A aplicação do regulador na 5ª folha resultou, após 24 horas, em maior translocação para o caule abaixo da folha aplicada, e após 48 h foi encontrado no caule acima da folha tratada. A concentração na 7ª folha só foi aumentada 96 h após a aplicação (Figura 1). Assim, a eficiência do controle do crescimento depende da boa cobertura da pulverização, o que, aliado às condições ambientais, irá garantir maior ou menor efeito residual do CM.

Plantas que receberam a aplicação de reguladores de crescimento são mais compactas, com entrenós mais curtos, tanto na haste principal quanto nos ramos vegetativos como nos ramos reprodutivos (Figura 2). As folhas são menores, consequentemente, o índice de área foliar diminui, e isso melhora a transmissão de luz na copa até as partes mais baixas da planta, contribuindo para a fixação dos frutos nessa porção do dossel, além de aumentar a eficiência da aplicação de inseticidas e fungicidas. O efeito do regulador no crescimento da planta depende, fundamentalmente, de sua concentração no tecido. Assim, doses mais altas aplicadas em plantas pequenas podem levar a prejuízo na produtividade, pois o regulador resulta em diminuição do número de frutos. Assim, erro na dose, principalmente em plantas jovens, poderá levar à queda de estruturas e atraso no ciclo.

	Horas após a aplicação				
	6	12	24	48	96
Duas folhas acima	1	1	2	3	14
Caule acima	4	7	9	17	25
Folha aplicada	88	81	69	61	45
Caule abaixo	7	10	19	18	14
Raiz	0	0	0	1	2

Figura 1. Variação percentual da concentração da dose de regulador aplicada nas folhas, caule e raiz do algodoeiro em função do tempo após a aplicação. Adaptado de Wang *et al*. (2014)

Figura 2. Plantas de algodão manejadas de forma diferente quanto ao manejo de regulador de crescimento. (Fonte: Fábio Echer)

Penetração da luz no dossel

O crescimento da planta e o aumento da área foliar reduzem a transmissão de luz no dossel, de modo que, no início do ciclo, mais de 50% da luz que incide no topo da planta chega até o solo no meio das linhas de semeadura. Por outro lado, quando o IAF é alto (acima de 4 ou 5), como ocorre por ocasião do florescimento, metade da radiação incidente chega, no máximo, até o meio da planta, resultando em pouca ou nenhuma radiação que chega até o solo (Figura 3). Assim, a conservação de "frestas" de luz na entrelinha é um indicativo de que alguma radiação chegará até o baixeiro, o que poderá atender à demanda das folhas do baixeiro, que, apesar de serem mais velhas e atingirem a saturação luminosa sob menor intensidade luminosa (Echer & Rosolem, 2015), ainda necessitam de ao menos 300 a 600 µmol m^{-2} s^{-1} de fótons. Dessa forma, o uso de reguladores manterá o IAF controlado, reduzirá o comprimento dos ramos (monopodiais e simpodiais), resultando em maior penetração de luz no dossel.

Considerando a evolução da severidade de algumas doenças fúngicas, tais como ramulária e mancha alvo, e a eficiência de controle dos fungicidas, a manutenção do dossel arejado deixa o microclima menos propício aos patógenos, além de facilitar a deposição da calda de aplicação no terço inferior da planta. Assim, o uso adequado de reguladores pode auxiliar no controle dessas doenças. Nas últimas safras, sobretudo na de 2024, foram relatados casos de abortamento de maçãs grandes (> 4 cm) na região de Diamantino – MT (Figura 4), resultado de um efeito combinado entre alta população de plantas, muitos dias nublados no final de março e começo de abril e alta severidade de mancha alvo. Doenças fúngicas podem estimular a produção de etileno e ácido abscísico nos tecidos foliares e podem atuar em sinergia com a redução da produção de carboidratos provocada pela baixa luminosidade, que intensifica a queda das estruturas reprodutivas. Frutos de até 2 semanas são sensíveis ao abortamento, porém não é comum que maçãs maiores que 2 cm sejam abortadas.

Além disso, plantas tratadas com regulador de crescimento, em função

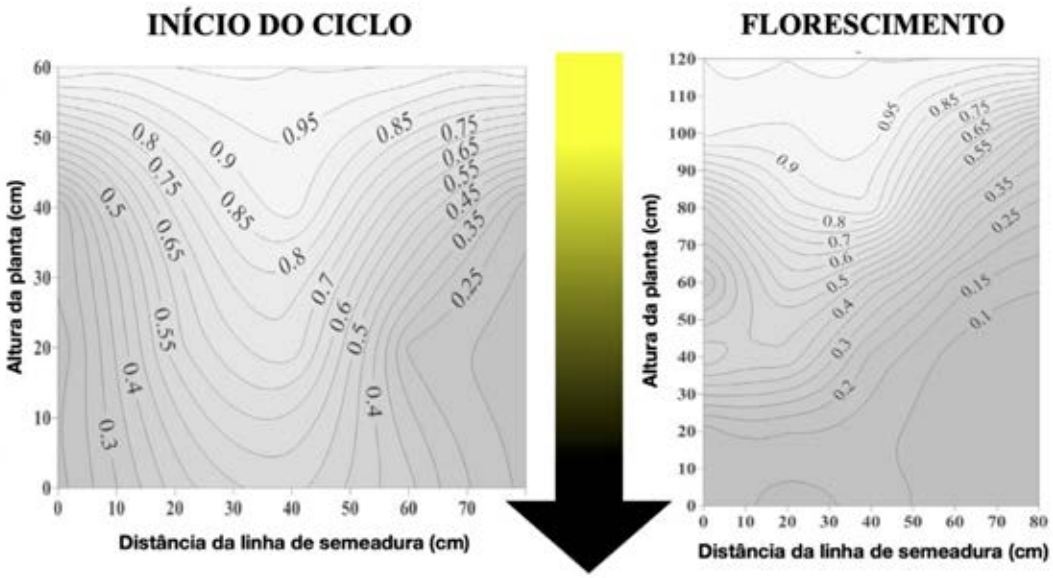


Figura 3. Gradiente de penetração de luz no dossel do algodoeiro em duas fases de crescimento. Adaptado de Zhi *et al.* (2014)

da redução na expansão de área e aumento da espessura foliar, conservam mais água, uma vez que a transpiração é menor. Em ambientes cujo déficit de pressão de vapor é elevado, a redução do consumo de água diminui o risco de estresse hídrico por seca.

1. Perfil desejado da planta e monitoramento do crescimento

A manutenção da carga frutífera sempre será o principal fator para regular o crescimento da planta e, em determinadas situações, resultar em menor demanda de regulador, principalmente em cultivares precoces, em que o excesso de produto pode comprometer a produtividade e a qualidade da fibra, devido ao atraso na emissão de novos pontos de frutificação. Por outro lado, a ocorrência de temperaturas acima do ideal, principalmente se aliada ao tempo nublado, levará ao desequilíbrio no crescimento vegetativo/reprodutivo, com aumento no abortamento e crescimento vegetativo excessivo, levando ao auto-sombreamento. Ainda, a aplicação excessiva de N induzirá crescimento vegetativo intenso, também resultando em desequilíbrio vegetativo/ reprodutivo. Desta forma, o crescimento da planta deve ser monitorado, com intervenções corretivas sempre que necessário.

O monitoramento da altura das plantas deve ser constante. Quando a planta tiver 6 a 7 folhas verdadeiras, o primeiro botão floral deve aparecer no quinto ou sexto nó. Se isso não for observado, é um indicativo de crescimento vegetativo excessivo, e deve ser considerada a primeira aplicação de regulador, em baixa dose. Até a fase B1 (1º botão floral), ocorre intenso crescimento do sistema radicular, enquanto o desenvolvimento da parte aérea é lento.

A maior atenção ao momento de aplicação do regulador de crescimento deve ser dada entre os primeiros botões florais (30-40 DAE) e o florescimento pleno (60-75 DAE), pois é nessa fase que a planta demandará controle do crescimento para melhorar a retenção de frutos. Caso a carga frutífera não seja fixada, haverá muita energia livre para o crescimento vegetativo e será muito difícil controlar o crescimento, mesmo com doses elevadas de reguladores de crescimento, pois a falta dos drenos (maçãs) favorecerá a vegetação.

Figura 4. Maçã do algodoeiro com cerca de 4 cm e 30 dias de idade abortada devido à baixa incidência luminosa e à alta incidência de mancha alvo. (Fonte: Fábio Echer)

A redução da altura da planta ocorre com a diminuição do comprimento dos entrenós, e este é sensível às condições ambientais, sobretudo temperatura, luz, disponibilidade hídrica e nutricional, além das características genéticas da cultivar.

A Figura 5 mostra um padrão de crescimento considerado ideal, tomando-se como base a relação altura de plantas x número de nós para cada perfil de planta desejado, considerando uma planta baixa aquela inferior a 1,0 m na colheita; planta média entre 1,0 e 1,20 m na colheita; e planta alta, uma planta com altura superior a 1,2 m.

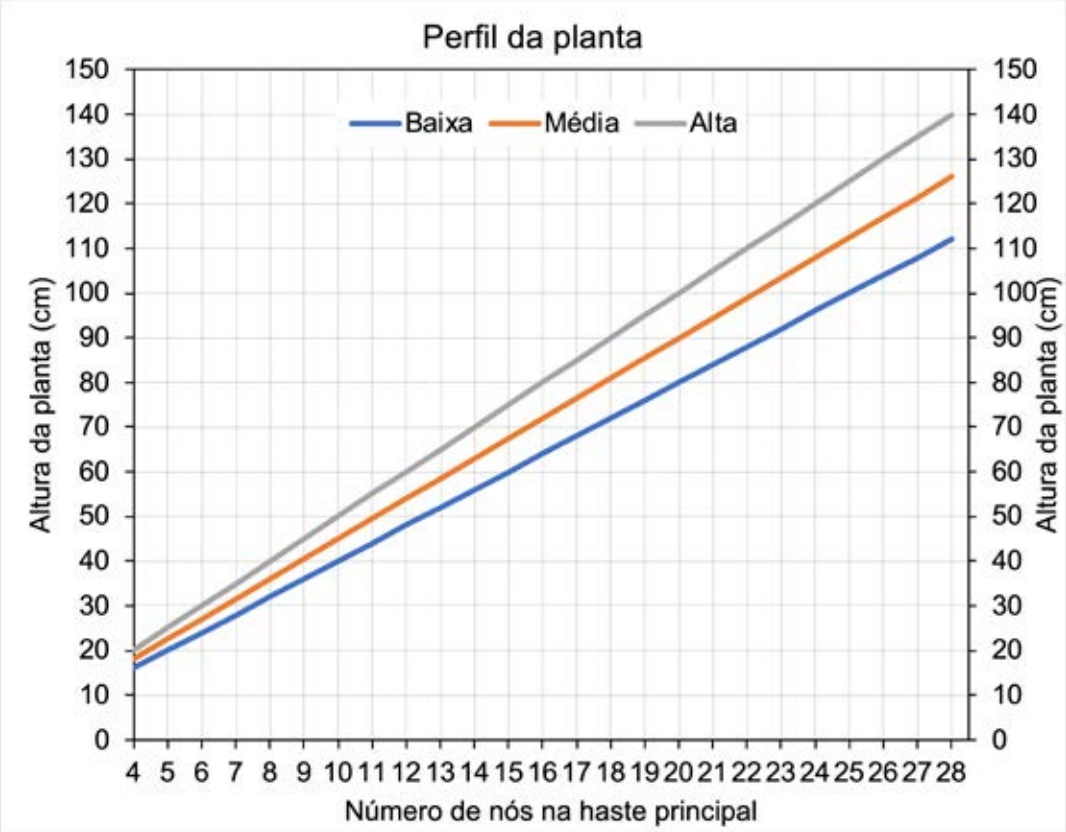


Figura 5. Crescimento ideal de plantas de algodão em relação à altura da planta e ao número de nós na haste principal. Baixa: <1,0 m; Média: entre 1,0 e 1,2 m; e Alta: >1,20 m na colheita

A condução da lavoura de acordo com o perfil de altura escolhido demandará maior frequência de aplicações de regulador de crescimento ou doses mais elevadas. A avaliação do comprimento dos cinco nós do ponteiro é um dos métodos mais eficientes para monitorar a taxa de alongamento dos entrenós, pois a síntese de giberelina se dá no ápice caulinar, portanto, a região de maior influência do hormônio será no ponteiro da planta. A medição é realizada contando-se o primeiro nó do ápice da planta (considera-se como primeiro nó aquele que tenha distância de, no mínimo, 1,2 cm até o segundo nó) até o quinto nó. Essa medida é divi-

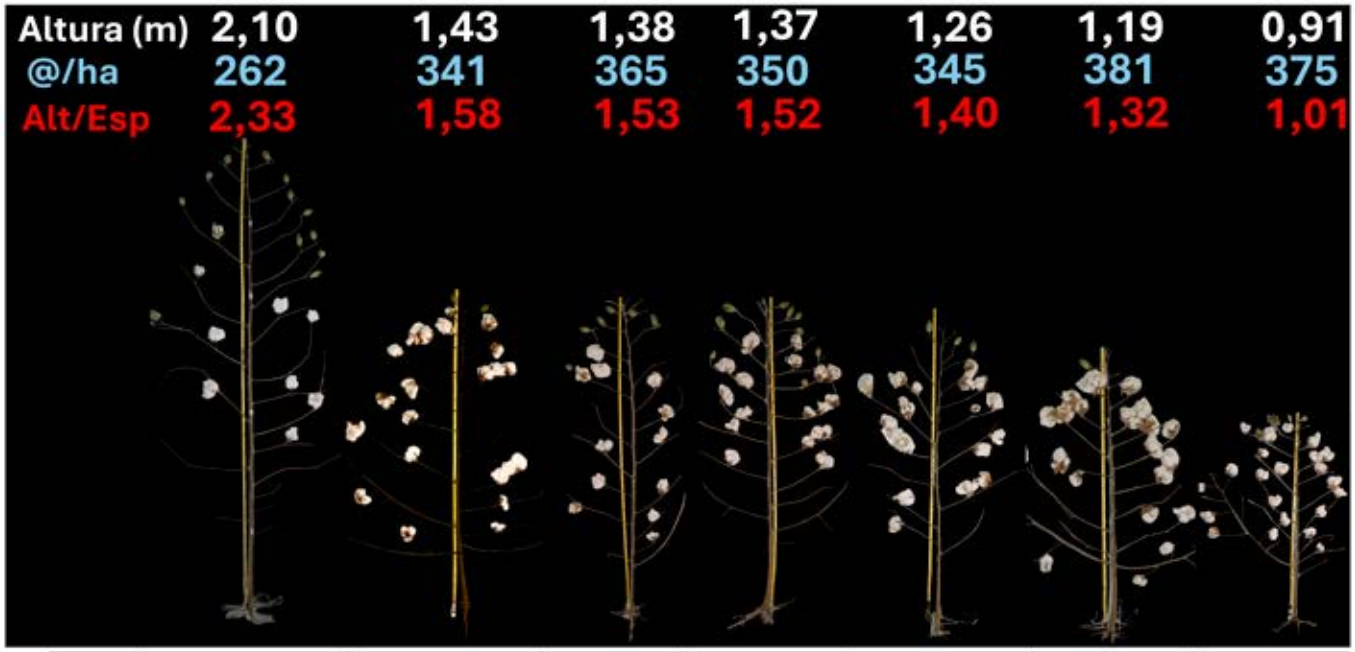
Tabela 1. Interpretação do crescimento de acordo com o comprimento médio dos 5 nós do ponteiro de acordo com o perfil (altura) da planta de 24 nós na colheita

	Altura da planta na colheita		
Crescimento	**Baixa (<1,0 m)**	**Média (<1,2 m)**	**Alta (>1,20)**
Baixo	2,5	2,8	3,2
Ideal	2,8	3,2	3,5
Vigoroso	3,1	3,5	3,9
Muito Vigoroso	3,4	3,8	4,3

dida por 5 para se obter a média dos entrenós. Ex.: distância do 1º ao 5º nó: 16 cm, dividido por 5 = 3,2 cm. O critério de interpretação varia de acordo com o perfil de planta desejado, tomando-se como base uma planta de 24 nós, conforme indicado na Tabela 1. Portanto, percebe-se que, quanto mais baixa for a planta desejada, menor deverá ser o comprimento médio dos entrenós para nortear a aplicação.

A justificativa da utilização do comprimento dos cinco nós do ponteiro e não da taxa de crescimento se dá em função de que a taxa de crescimento normalmente é calculada pela divisão da altura pela idade (DAE), o que poderá não demonstrar o crescimento atual da planta, porque esta taxa poderá estar influenciada por um crescimento excessivo ocorrido no início do ciclo, ou então os primeiros entrenós podem ter ficado curtos devido à fitotoxidez de herbicidas, ou encharcamento, e os entrenós superiores terem crescido demasiadamente e ainda assim a taxa de crescimento diário pode ser baixa ou moderada, mesmo com os entrenós do ponteiro longos. Dessa forma, avaliar os nós em crescimento se torna mais coerente, considerando que a giberelina está sendo sintetizada sempre em maior intensidade nos pontos de crescimento.

A funcionalidade Regula, da plataforma Cotton Apps, pode auxiliar na definição das doses de regulador. Na Figura 6 estão os perfis de plantas tratadas com diferentes doses de regulador, a altura final, a produtividade e a relação altura/espaçamento. Num ano agrícola muito quente e úmido, o uso de doses mais altas foi necessário para promover maior retenção e peso de frutos. Observa-se que as melhores produtividades foram obtidas quando a dose foi dobrada (Regula + 100%) ou triplicada (Regula + 200%). Além disso, nota-se que a relação altura/espaçamento desses tratamentos foi entre 1,01 e 1,32. Echer *et al.* (2024) observaram a altura/espaçamento entre 1,18 e 1,27 em lavouras com produtividades de 483 e 495@/ha. Portanto, a expressão do potencial genético do algodoeiro deve considerar a melhor alocação da biomassa nas partes reprodutivas, o que favorece a retenção e o ganho de peso dos frutos. Os resultados da Figura 6 originaram uma nova classe de interpretação quanto ao vigor de crescimento, o que exige uma dose mais alta de regulador, conforme detalhes a seguir.



DAE	Sem regulador	Padrão Fazenda	Regula	Regula+25%	Regula+50%	Regula+100%	Regula+200%
		ml ha^{-1} de cloreto de mepiquat (250 g L^{-1})					
34	0	120	100	124	152	200	300
42	0	120	100	124	150	200	300
52	0	264	252	312	376	500	752
60	0	300	270	340	400	540	810
65	0	352	300	376	452	600	900
72	0	400	300	375	450	600	900
80	0	400	300	376	452	600	900
90	0	400	300	375	450	600	900
Total	0	2356	1920	2400	2876	3840	5760

Figura 6. Altura, produtividade e relação altura/espaçamento (0,9 m) do algodoeiro sob diferentes doses de regulador de crescimento em Sorriso, MT – Safra 2024. Adaptado de Echer & Godoy (2025)

Uma planilha para gestão do manejo de reguladores de crescimento no algodoeiro

Baixe a planilha apontando a câmera do seu smartphone para o QR code acima ou clicando aqui.

Figura 7. Planilha para gestão do manejo de regulador de crescimento no algodoeiro. Versão 2025

PREENCHER SOMENTE AS CÉLULAS EM AMARELO

TALHÃO	
CULTIVAR	
DATA SEMEADURA	
DATA EMERGÊNCIA	

Autores: Jackson Ganguilhet e Fábio Rafael Echer

Programa de pós-graduação Agronomia | Unoeste

Cultivando Talentos

			ALTURA MÉDIA DE PLANTAS (cm)						NÚMERO DE NÓS				COMPRIMENTO							Dose de Cloreto de Mepiquat 250g/L (mL/ha)			
PERFIL DE PLANTA	DATA AVALIAÇÃO	DAE	PLANTA 1	PLANTA 2	PLANTA 3	MÉDIA	TX CRESC. MÉDIO GERAL (cm)	TAXA CRESCIMENTO (cm)	PLANTA 1	PLANTA 2	PLANTA 3	MÉDIA	PLANTA 1	PLANTA 2	PLANTA 3	MÉDIA	MÉDIA ENTRENÓ (cm)	CRESC. ENTRENÓS	DECISÃO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MUITO ALTO
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	-	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	+
		0				0,00	0,00	0,00				0,00				0,00	-	-	+	-	-	-	-

Tabela 1. Interpretação do crescimento de acordo com o comprimento médio dos 5 nós do ponteiro e o perfil (altura) desejada da planta na colheita. Base de 24 nós.

Crescimento	Baixa (<1,0 m)	Média (<1,2 m)	Alta (>1,20)
Baixo	2,5	2,8	3,2
Ideal	2,8	3,2	3,5
Vigoroso	3,1	3,5	3,9
Muito Vigoroso	3,4	3,8	4,3

A planilha é intuitiva e o preenchimento inicia-se com a identificação do talhão e a cultivar (Figura 7). Define-se qual perfil de planta no momento da colheita será trabalhado, tomando-se como base a emissão de 24 nós totais: baixa (<1,0 m), média (<1,20 m) ou alta (>1,20 m). Para cada perfil, há um comprimento médio dos entrenós (CM-5NP) do ponteiro da planta adequado.

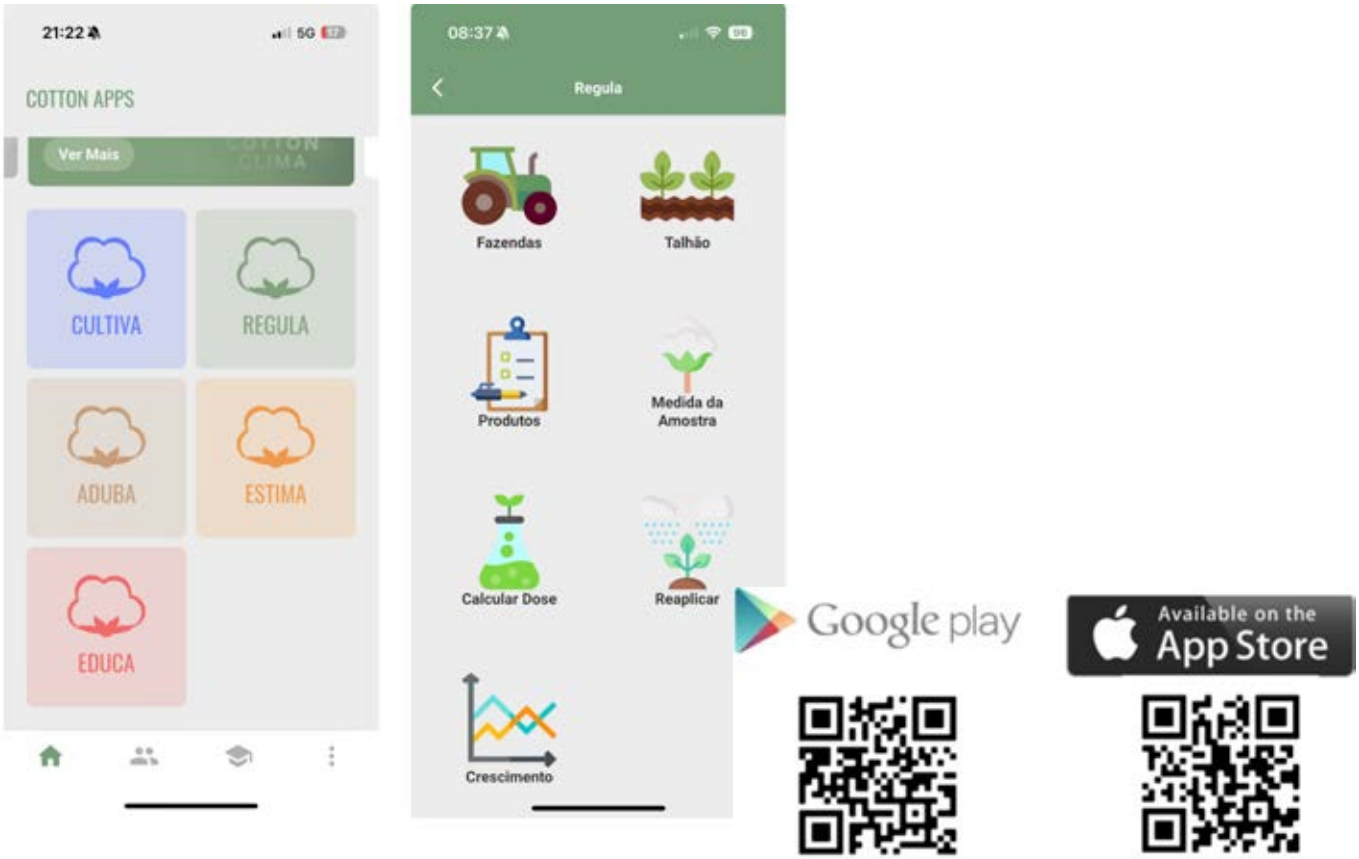
Procede-se então com a informação da data de semeadura e emergência e a data da avaliação, obtendo-se assim os dias após a emergência (DAE), que será necessário para o cálculo da taxa de crescimento diário, tanto a obtida pela divisão da altura pelos DAE quanto a calculada a partir da subtração da altura final (última avaliação) da altura inicial (penúltima avaliação).

Um conjunto de três plantas (plantas que representem a condição geral do talhão) é utilizado para gerar os dados de altura, número de nós e comprimento médio dos cinco nós do ponteiro. A altura será utilizada para cálculo da dose a ser aplicada, e o CM5NP indicará ao usuário se o crescimento é baixo, ideal, vigoroso ou muito vigoroso. Com base nisso, uma decisão será tomada: monitorar ou aplicar. Caso seja a de aplicar, as colunas seguintes trazem as doses sugeridas com base no vigor de crescimento: baixo (cultivar precoce), médio (cultivar de ciclo médio/tardio), alto (cultivar tardia e temperaturas acima de 30 ºC e boa umidade no solo) e muito alto (cultivar tardia, temperaturas acima de 30 ºC, boa umidade no solo, pré ou pós-adubação nitrogenada, entrenós 6 e 7 – do ápice para a base – maiores que 5 cm).

A utilização das informações obtidas pela planilha para tomada de decisão da aplicação deverá ter alguns pontos de atenção, pois é importante a observação dos fatores externos atuais e previsões do tempo, visto que uma planta "regulada" no momento da avaliação poderá mudar rapidamente seu comportamento em função de alguns exemplos: excesso de chuva, altas temperaturas e aplicações de N, assim, deve-se agir e recomendar preventivamente nesses casos para evitar a perda de controle, levando em consideração que os efeitos do regulador dependem do tempo para absorção e ação, que normalmente acontece entre 5 e 7 dias após a aplicação.

Uso do Cotton Apps (Regula) para cálculo da dose de regulador

O Regula pode ser um aliado do técnico/produtor para o manejo dos reguladores no algodoeiro, tanto para o cálculo da dose em cada condição de vigor de crescimento quanto para a reaplicação em caso de chuva após a aplicação. Além disso, é possível acompanhar o crescimento das plantas do talhão ao longo de todo o ciclo e verificar se o crescimento está equilibrado (relação altura/número de nós) e tomar medidas de correção, caso necessário.



Conteúdo do aplicativo COTTON APPS

2. Terminação de crescimento no algodoeiro

A terminação de crescimento (TC), também conhecida como capação, é uma prática amplamente adotada nas lavouras de algodão no Brasil, com o objetivo de interromper o crescimento vegetativo da planta por meio da inibição da emissão de novos nós (Figura 8). Essa técnica consiste, geralmente, na aplicação de uma dose elevada de regulador de crescimento, direcionando os recursos fisiológicos da planta para o enchimento e maturação dos frutos já formados, o que favorece a uniformidade da colheita e a preservação da qualidade da fibra (Figura 6). Em determinadas situações, no entanto, o crescimento pode ser cessado naturalmente, sem necessidade de aplicação de reguladores, especialmente quando a planta apresenta uma alta quantidade de drenos, que aumentam a demanda por assimilados e levam à suspensão espontânea do crescimento vegetativo (Echer *et al.*, 2020; Laca-Buendia, 1982).

Em áreas comerciais, pesquisas demonstram que não há diferenças significativas quanto à eficácia entre os ingredientes ativos mais comumente utilizados para esse fim, como o cloreto de mepiquate e o cloreto de clormequate, ambos eficientes no controle do crescimento vegetativo. A escolha do produto e a dose a ser aplicada devem considerar diversos fatores, incluindo a carga frutífera retida pela planta, o vigor da cultivar, a disponibilidade de água e nitrogênio no solo e

Figura 8. Formação dos frutos do ponteiro da planta determinada pela terminação de crescimento em época oportuna. (Fonte: Fabio Echer)

as condições térmicas do ambiente. Em função dessas variáveis, as doses aplicadas podem variar amplamente, indo desde a ausência de aplicação até valores em torno de 250 gramas de ingrediente ativo por hectare (g i.a. ha^{-1}). Embora não exista um consenso absoluto quanto ao momento ideal para a TC, é certo que essa decisão deve estar alinhada ao manejo empregado ao longo do ciclo da cultura, sempre considerando as características específicas da cultivar, do ambiente de produção e da estratégia de colheita adotada.

A definição do momento ideal para a realização da TC pode ser feita com base na contagem do número de nós acima do último capulho mais alto em primeira posição. Segundo Chiavegato (2006), quando esse número for igual ou inferior a quatro, considera-se seguro iniciar a aplicação do regulador para cessar o crescimento. Estudos realizados por Echer *et al.* (2020) também indicam que a época da terminação pode ser ajustada conforme o padrão de frutificação da cultivar utilizada e as condições climáticas da região de cultivo, incluindo o regime de chuvas, a disponibilidade de água no solo e as temperaturas predominantes. Dessa forma, lavouras conduzidas para maior precocidade, com alta fixação de frutos no baixeiro e no terço médio, que recebem doses adequadas de nitrogênio e mantêm uma densidade populacional equilibrada, tendem a ser capadas mais cedo, geralmente entre 75 e 90 dias após a emergência (DAE). Por outro lado, lavouras de ciclo mais longo, cuja produção se concentra no terço médio e no ponteiro, demandam TC mais tardia, entre 100 e 120 DAE.

A TC promove a uniformização da maturação dos frutos, permitindo programar a colheita de forma mais eficiente e, muitas vezes, antecipá-la. Isso reduz custos com operações de colheita, evita perdas por abertura tardia ou intempéries e otimiza o uso de máquinas e mão de obra. A antecipação da colheita também facilita a logística de pós-colheita e possibilita a implantação mais precoce da cultura subsequente em sistemas de rotação. No entanto, é fundamental que essa antecipação ocorra sem comprometer a produtividade e a qualidade da fibra. Assim, quando bem manejada, a TC contribui para o aumento da produtividade, assegura a qualidade da fibra e ainda exerce papel relevante na racionalização dos custos de cultivo, favorecendo a rentabilidade do sistema.

2.1. Arranjo de plantas

A densidade populacional de plantas é um fator que influencia diretamente a estratégia de TC. Em lavouras com maior adensamento, é comum que a arquitetura da planta favoreça a emissão de estruturas reprodutivas em posições mais altas, transferindo a maior parte da produção para o ponteiro e em capulhos de primeira posição (Adams *et al.*, 2019); esse comportamento pode exigir TC mais tardia, alongando o ciclo da cultura; todavia, esses frutos terão produtividade e qualidade de fibra reduzida, além de aumentar o custo de produção com fertilizantes, controle de bicudo e maquinário (Raphael *et al.,* 2022). Por outro lado, lavouras com menor densidade populacional tendem a apresentar melhor aeração e maior interceptação de luz nas partes inferiores da planta, favorecendo o pegamento de frutos no baixeiro e o desenvolvimento mais equilibrado. Esse tipo de arranjo também facilita a deposição de defensivos agrícolas, contribuindo para um manejo fitossanitário mais eficiente. No entanto, é essencial que a redução da densidade populacional seja feita com cautela, para não comprometer a produtividade em função do subaproveitamento do espaçamento disponível. Dessa forma, o equilíbrio na população de plantas é determinante para

garantir o aproveitamento ideal da arquitetura da planta, o manejo eficiente da TC e a obtenção de fibras de alta qualidade.

2.2. Janela de plantio

A época de semeadura também exerce influência direta na definição do momento ideal da TC, uma vez que determina a disponibilidade de recursos ambientais no final do ciclo. Em lavouras implantadas tardiamente, próximas ao limite da janela recomendada de plantio, é comum que, mesmo com menor pegamento de estruturas reprodutivas nas fases iniciais, não haja vantagens em postergar a TC. Isso porque, à medida que o ciclo avança, as condições climáticas geralmente se tornam desfavoráveis à formação e ao enchimento adequado das maçãs no ponteiro, devido à menor disponibilidade hídrica, à radiação solar e às temperaturas mais amenas. Nessas condições, a continuidade do crescimento vegetativo pode resultar na emissão de estruturas reprodutivas que não se desenvolverão plenamente, comprometendo a produtividade e a qualidade da fibra. Em contrapartida, lavouras estabelecidas no início da janela de semeadura tendem a encontrar melhores condições no final do ciclo, permitindo maior flexibilidade no ajuste da época de TC. Nesses casos, pode-se optar por uma terminação mais tardia, desde que haja expectativa de manutenção de um ambiente favorável ao desenvolvimento dos frutos em posições mais altas da planta. Portanto, o momento da semeadura deve ser considerado em conjunto com o manejo nutricional e o desenvolvimento fenológico da planta ao longo do ciclo, constituindo base fundamental para a tomada de decisão quanto à TC.

2.3. Adubação nitrogenada

A disponibilidade de nitrogênio no solo também influencia diretamente o momento da TC. Doses elevadas de nitrogênio estimulam o crescimento vegetativo, aumentando a emissão de ramos e nós, o que pode retardar o encerramento natural do ciclo. Isso ocorre porque o nitrogênio, sendo essencial para a formação de tecidos vegetativos, prolonga a atividade meristemática e dificulta a concentração de assimilados nos frutos em desenvolvimento. Em lavouras com excesso de nitrogênio ou adubações desequilibradas, é comum haver necessidade de postergar a TC para evitar a aplicação em plantas ainda em expansão vegetativa. Por outro lado, em sistemas bem manejados, com doses equilibradas de nitrogênio em relação aos demais nutrientes, observa-se uma antecipação da frutificação e, consequentemente, a possibilidade de TC em estágios mais precoces. Isso ocorre porque a planta direciona seus recursos de forma mais eficiente aos drenos reprodutivos, especialmente quando há boa retenção de frutos nos terços inferior e médio. Dessa forma, o manejo adequado do nitrogênio torna-se essencial para alinhar o vigor da planta aos objetivos de precocidade da lavoura, influenciando diretamente a definição do momento oportuno da TC.

A qualidade da fibra é um aspecto fundamental para sua valorização na indústria têxtil, e o atraso na TC pode comprometê-la de maneira significativa. A continuidade do crescimento vegetativo permite que a planta siga emitindo novos ramos e frutos em posições tardias, especialmente no ponteiro, que frequentemente não dispõe de tempo suficiente para completar seu enchimento e maturação até o momento da colheita. Como resultado, formam-se fibras mais curtas, finas, imaturas e com menor espessura de parede celular, reduzindo atributos como o índice de micronaire, a resistência, a uniformidade, o comprimento e a maturidade da fibra. Esses efeitos decorrem, em grande parte, da intensificação da competição por assimilados entre estruturas vegetativas em expansão e frutos já estabelecidos, o que dificulta a deposição adequada de celulose nas fibras. Além disso, há impactos negativos sobre as propriedades visuais, como o brilho (grau de reflectância) e a coloração (índice de amarelamento), que ocorrem pelo atraso na colheita ou abertura desuniforme dos capulhos.

2.4. Terminação do crescimento: o efeito dos fatores que promovem precocidade é isolado ou combinado?

Na safra de 2024, foi realizado um estudo em Campo Verde – MT, com épocas de terminação de crescimento (TC), doses de nitrogênio (D) e densidade de plantas (P). A cultivar utilizada foi a FM 978GLTP, de ciclo tardio, semeada após o cultivo da soja, em 15/01/2024.

Observou-se que o número de maçãs foi maior sob a maior dose de N (210 kg ha^{-1}) (Tabela 2), o

que pode ser atribuído ao estímulo mais intenso ao crescimento vegetativo promovido por esse nutriente. Até o mês de maio, as precipitações foram elevadas, favorecendo a emissão de estruturas reprodutivas. Contudo, a partir desse período, houve uma interrupção nas chuvas (Figura 9), o que, aliado ao crescimento vegetativo excessivo e ao alto número de frutos em desenvolvimento, comprometeu o desenvolvimento completo das maçãs. Embora as temperaturas não tenham sido tão baixas quanto nos anos anteriores, a restrição hídrica a partir de maio (Figura 10) resultou em uma maior quantidade de maçãs não desenvolvidas e, consequentemente, em uma redução no rendimento de fibra. Assim, a recomendação é aplicar nitrogênio em doses moderadas (140 kg ha^{-1}) e ajustadas à necessidade da cultura e às condições ambientais, evitando tanto a deficiência quanto o excesso (Raphael *et al.,* 2022).

Tabela 2. Produtividade de fibra, número de capulhos por m^2, número de maçãs, peso médio de capulhos (PMC), rendimento (RF), índice de micronaire (MIC), comprimento (LEN), resistência (STR), uniformidade (UR), índice de fibras curtas (SFI) e maturação da fibra (MAT) de acordo com doses de nitrogênio (D), épocas de terminação de crescimento (TC) e densidade populacional de plantas (P) ao nível mínimo de probabilidade de 5% pelo teste Tukey

	Fibra *kg ha^{-1}*	Capulhos *m^2*	Maçãs *m^{-2}*	PMC *g*	RF *%*	MIC *µg pol^{-1}*	LEN *mm*	STR *g tex^{-1}*	UR *%*	SFI *%*	MAT
Dose de nitrogênio (D) (kg ha^{-1})											
0	1959 a	111 a	13,48 b	4,07 a	43,5 ab	4,06 a	29,8 a	31,64 a	83,0 a	8,18 a	86,0 a
70	1939 a	116 a	14,38 ab	3,89 a	43,6 a	4,03 a	29,6 a	31,48 a	83,2 a	8,34 a	85,8 a
140	2016 a	114 a	17,05 ab	4,06 a	43,3 ab	4,04 a	29,7 a	31,17 a	83,0 a	8,48 a	85,9 a
210	1917 a	112 a	19,28 a	3,87 a	42,9 b	3,92 a	29,5 a	30,93 a	83,0 a	8,72 a	85,5 a
Época de terminação de crescimento (TC)											
01/04	2000 a	115 a	15,23 b	4,05 a	43,1 a	3,98 a	29,7 a	31,3 ab	83,1 a	8,37 a	85,8 a
14/04	2044 a	120 a	15,16 b	3,98 a	43,1 a	4,02 a	29,8 a	31,3 ab	83,0 a	8,57 a	85,9 a
27/04	1919 a	110 ab	12,35 b	3,91 a	43,6 a	4,10 a	29,4 a	30,6 b	83,0 a	8,43 a	86,0 a
Sem TC	1868 a	108 b	21,46 a	3,96 a	43,6 a	3,96 a	29,7 a	31,8 a	82,9 a	8,35 a	85,7 a
Densidade de plantas (P) (m^{-2})											
6,1	1901 b	113 a	16,53 a	3,89 a	42,9 b	4,07 a	29,7 a	32,74 a	83,1 a	8,35 a	86,0 a
9,7	2013 a	113 a	15,56 a	4,07 a	43,7 a	3,95 b	29,6 a	29,87 b	83,0 a	8,51 a	85,6 b
D	0,50^{ns}	0,51^{ns}	0,02*	0,35^{ns}	0,04*	0,32^{ns}	0,62^{ns}	0,33^{ns}	0,82^{ns}	0,26^{ns}	0,29ns
TC	0,05	0,00**	0,00**	0,81^{ns}	0,06^{ns}	0,34^{ns}	0,09^{ns}	0,04*	0,85^{ns}	0,86^{ns}	0,64^{ns}
P	0,02*	0,96^{ns}	0,50	0,08^{ns}	0,00**	0,04*	0,19^{ns}	0,00**	0,62^{ns}	0,41^{ns}	0,01*
DxTC	0,24^{ns}	0,68^{ns}	0,63	0,92^{ns}	0,96^{ns}	0,13^{ns}	0,63^{ns}	0,75^{ns}	0,86^{ns}	0,85^{ns}	0,29^{ns}
DxP	0,69^{ns}	0,74^{ns}	0,80	0,42^{ns}	0,69^{ns}	0,81^{ns}	0,81^{ns}	0,31^{ns}	0,28^{ns}	0,46^{ns}	0,90^{ns}
PxTC	0,54^{ns}	0,34^{ns}	0,05	0,53^{ns}	0,01*	0,07^{ns}	0,95^{ns}	0,30^{ns}	0,23^{ns}	0,66^{ns}	0,01*
DxTCxP	0,24^{ns}	0,19^{ns}	0,93	0,68^{ns}	0,11^{ns}	0,83^{ns}	0,91^{ns}	0,55^{ns}	0,39^{ns}	0,57^{ns}	0,81^{ns}
CV%	13,82	11,86	51,32	14,55	2,30	8,32	2,56	5,39	1,41	13,27	1,03^{ns}

A época de terminação de crescimento também impactou alguns atributos produtivos. O número de capulhos foi maior nas plantas cuja TC ocorreu em 01/04 (73 DAE) ou 14/04/24 (86 DAE) comparado à ausência de terminação, que teve maior número de maçãs. Tal padrão evidencia que, embora a planta tenha continuado a emitir novas posições frutíferas, o ambiente não foi favorável ao seu completo desenvolvimento e abertura, o que pode atrasar a colheita, aumentar o risco de ataque de pragas, como bicudo e mosca- branca, e comprometer a qualidade da fibra. Embora a produtividade não tenha sido significativamente influenciada pela TC (Tabela 2), observa-se uma tendência de redução tanto pela TC precoce (início de abril), quanto pela tardia (final de abril) ou ausência de TC, devido à redução no número de capulhos. Além disso, a resistência da fibra foi menor sob terminação tardia (final de abril), comparada à ausência de TC, o que pode ter ocorrido devido à relação maior fonte/dreno nesse tratamento, uma vez que o menor número de frutos em enchimento resulta em maior disponibilidade de carboidratos para cada fruto.

A densidade de plantas, por sua vez, influenciou tanto a produtividade quanto a qualidade da fibra. Lavouras mais densas (9,7 plantas m^{-2}) apresentaram maior produtividade e rendimento de fibra, conforme indicado na Tabela 2. Entretanto, essa condição resultou em perdas na qualidade, especialmente nos parâmetros de comprimento, resistência e maturidade da fibra. Em populações mais baixas (6,1 plantas m^{-2}), a carga frutífera tende a ser melhor distribuída nos terços inferior, médio e superior, com maior concentração nos capulhos do baixeiro e do terço médio, que são regiões associadas a fibras de melhor qualidade. Já em lavouras mais adensadas, a produção é deslocada para o ponteiro, o que, além de alongar o ciclo da cultura, pode comprometer a qualidade da fibra. Do ponto de vista fisiológico, densidades elevadas reduzem a atividade de enzimas envolvidas no metabolismo da sacarose e na síntese de celulose, impactando negativamente a maturidade e a finura da fibra (Galdi *et al.*, 2022).

O manejo voltado à precocidade do algodoeiro é uma estratégia essencial para assegurar que as fases finais do ciclo da cultura, especialmente o desenvolvimento do ponteiro da planta, ocorram em condições ambientais favoráveis. Atrasos nesse processo podem expor a lavoura a períodos de instabilidade climática, comprometendo diretamente a produtividade e a qualidade da fibra.

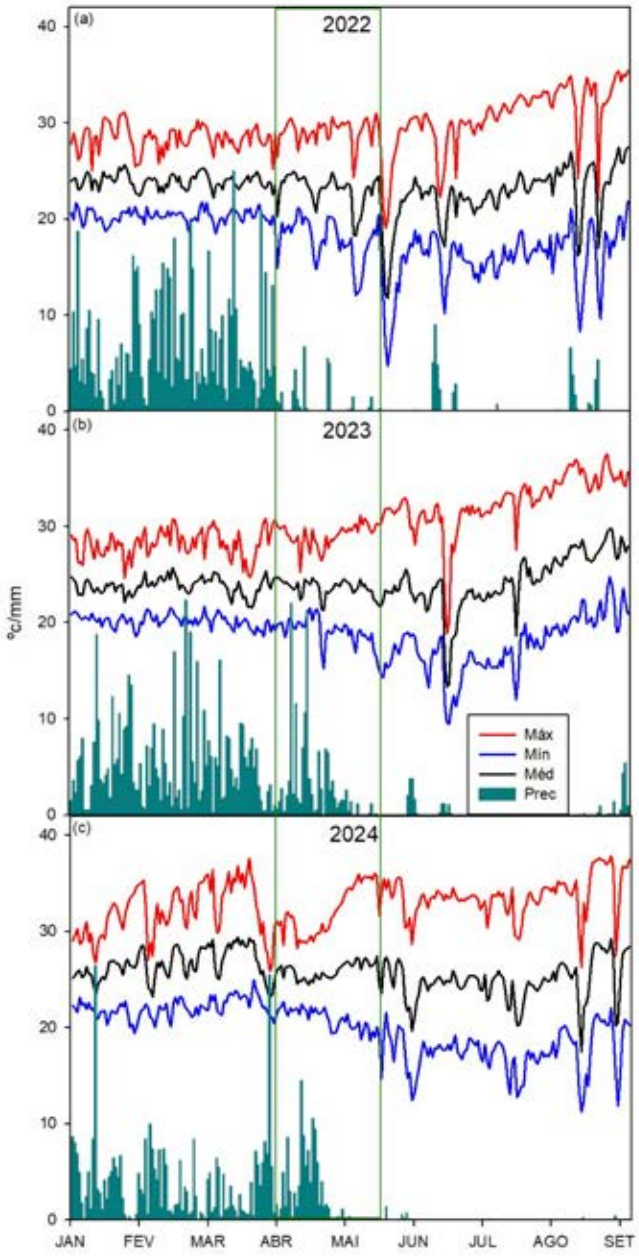


Figura 9. Dados climáticos (temperatura máxima, média, mínima e precipitação) na cidade de Campo Verde – MT, nos anos de 2022, 2023 e 2024

O gráfico da média de temperatura mínima (Figura 10) ilustra bem essa vulnerabilidade. Em 2022, por exemplo, além da antecipação do corte das chuvas, as temperaturas mínimas em abril já estavam significativamente mais baixas em comparação aos anos posteriores (2023 e 2024), ocorrendo inclusive geada nesse local. Essa combinação adversa impacta negativamente o desenvolvimento das estruturas reprodutivas tardias (primeira posição do ponteiro e segunda posição do terço médio), refletindo em perdas expressivas

na produtividade final da cultura.

Mesmo em safras com condições climáticas mais adequadas (ausência de frio na fase de enchimento, de meados de abril até final de junho), como observado em 2024, pode haver algum nível de perda. No entanto, os prejuízos tendem a ser menores se o algodoeiro estiver dentro de uma janela segura de cultivo, que favoreça a formação, o enchimento e a abertura da maioria dos capulhos ainda sob boas condições de temperatura e umidade no solo.

É evidente que o planejamento do cultivo e a tomada de decisões de manejo, como a época de terminação de crescimento (TC), podem ser ajustados com base em previsões do tempo e na dinâmica observada do ambiente ao longo da safra. No entanto, mesmo com o apoio dessas ferramentas, o produtor precisa estar preparado para cenários adversos. Por isso, a precocidade deve ser considerada como base estratégica, oferecendo uma margem de segurança que permite à planta completar seu ciclo antes da transição para condições climáticas potencialmente desfavoráveis.

De forma geral, os dados consolidados ao longo deste estudo demonstram que a terminação precoce ou intermediária (até meados de abril) favoreceu o número de capulhos, refletindo em maior produtividade. Além disso, densidades mais baixas de plantas resultaram em melhor qualidade de fibra, principalmente por favorecer a formação de capulhos nos terços inferior e médio, onde as fibras são mais desenvolvidas e maduras, apesar da menor produtividade. Assim, em algum momento, o produtor terá que tomar a decisão de qual fator será mais impactante na composição da rentabilidade da lavoura. O ideal é que se busque um meio termo, com uma população intermediária (entre 7 e 8 m^{-1} de linha ou 7,7 e 8,8 plantas m^{-2}), associado a um manejo de regulador de crescimento que evite o crescimento vegetativo excessivo e resulte em queda de frutos dos terços inferior e médio.

Em última análise, o manejo eficiente do algodoeiro deve considerar não apenas respostas isoladas, mas o conjunto de variáveis fisiológicas, ambientais e operacionais que determinam a viabilidade e a sustentabilidade da lavoura. A precocidade, dentro desse contexto, permanece como um pilar fundamental da condução agronômica bem-sucedida.

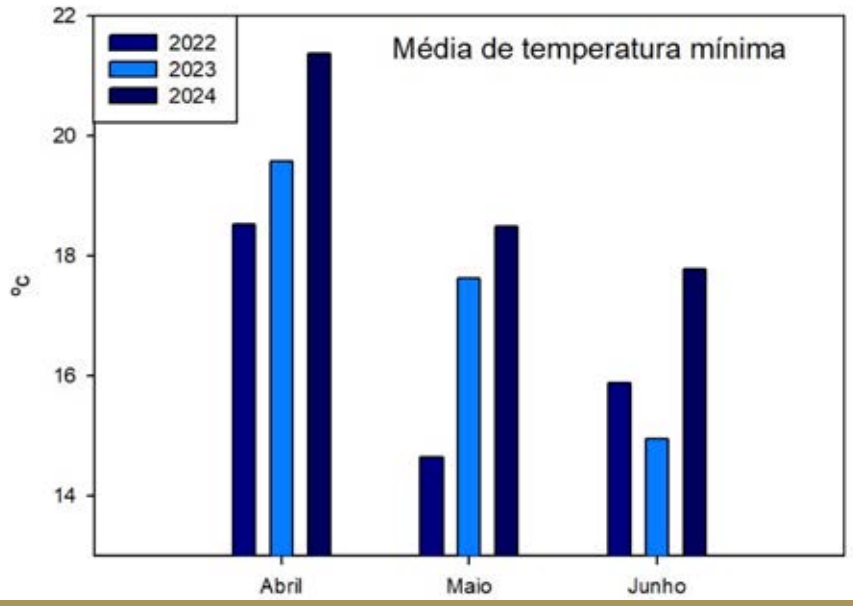


Figura 10. Média de temperatura mínima em Campo Verde – MT, nos meses de abril, maio e junho, nos anos de 2022, 2023 e 2024

Em síntese, a terminação de crescimento é uma prática estratégica que, quando bem manejada, contribui para a uniformidade da colheita, o aumento da produtividade e a preservação da qualidade da fibra. Sua eficácia está diretamente relacionada ao equilíbrio entre fatores como densidade de plantas e manejo nutricional. O momento adequado da terminação é decisivo para evitar perdas qualitativas e maximizar o desempenho produtivo do algodoeiro, consolidando a TC como uma ferramenta essencial na condução de lavouras mais rentáveis, eficientes e sustentáveis. Além disso, a pegajosidade da fibra, problema emergente e muito preocupante, poderá ser reduzida com um manejo mais racional em relação à densidade de plantas (menos frutos tardios e ciclo mais curto) e à dose de N, uma vez que os aminoácidos livres na seiva são utilizados por sugadores, como mosca- branca e pulgão, que causam a pegajosidade.

Referências bibliográficas

ADAMS, C.; THAPA, S.; KIMURA, E. Determination of a plant population density threshold for optimizing cotton lint yield: A synthesis. **Field Crop Research**, 230: 11-16, 2019.

CHIAVEGATO, E. J. Algodão. Critérios seguros devem nortear a definição do fim de ciclo. **Visão Agrícola**, n 6, 92-96, 2006. Piracicaba-SP.

ECHER, F.R.; GODOY, F. Managing cotton growth and yield under warming and wet conditions in the tropics with high mepiquat chloride rates. **Proceedings**: 2025 Beltwide Cotton Conferences, New Orleans Marriott in New Orleans, LA, January 14-16, 2025, 23-26.

ECHER, F.R.; GALDI, L.V.; SILVA, G.R.A.; SANTOS, J.W.S.; ROCHA, C.H.; CAGNA, C.P.; TORMENA, C.A.; SILVA, I.F.; ATARASSI, R. Components of High-Yielding Cotton Grown in Rain-Fed Conditions in the Brazilian Cerrado. **Agronomy** 2024, 14, 2920. https://doi.org/10.3390/agronomy14122920

ECHER, F.R.; ROSOLEM, C.A.; MELLO, P.R.; Manejo de regulador de crescimento. In: **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**; p 312-319; 2020.

ECHER, F.R., ROSOLEM, C.A. Cotton leaf gas exchange responses to irradiance and leaf aging. **Biol. Plant**. 59, 366–372; 2015. https://doi.org/10.1007/s10535-015-0484-3

GALDI, L.V., CORDEIRO, C.F.S., SILVA, B.S., TORRE, E.J.R.L., ECHER, F.R. Interactive effects of increased plant density, cultivars and N rates in environments with different cotton yield recovery potential. **Ind. Crops Prod.**, 176 (2022), 10.1016/j.indcrop.2021.114394

LACA-BUENDIA, J.P.D.C. Efeito da época de 'capação' na produtividade do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) no triângulo mineiro; Embrapa; **Circular Técnica** N 5; 1982.

RAPHAEL JUAN, P.A.; ECHER FÁBIO, R.; ROSOLEM CIRO, A. Nitrogen fertilization can mitigate cotton yield loss by temporary shading at early flowering. **Eur. J. Agron**. 2022, 140, 126593.

WANG, L. et al. The effect of mepiquat chloride on elongation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) internode is associated with low concentration of gibberellic acid. **Plant Science**, v. 225, n. 1, p. 15-23, 2014.

ZHI, X.; HAN, Y.; MAO, S.; WANG, G.; FENG, L.; et al. Light Spatial Distribution in the Canopy and Crop Development in Cotton. **PLOS ONE** 9(11): e113409. 2014. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113409

Gustavo Pazzetti
UniRV

Jerlei Fernando Lima
JF Consultoria

CAPÍTULO 5.10

Manejo de desfolha

Capítulo publicado originalmente na edição 2012/13 e atualizado pelos mesmos autores na edição de 2025.

A produtividade de uma lavoura de algodão, em quantidade, assim como em qualidade de fibra, em princípio, é basicamente é determinada pelo potencial genético da cultivar e, neste quesito, a cada ano, o melhoramento genético tem contribuído de forma muito positiva. Porém, vale destacar que, pelo melhoramento genético, quase sempre é impossível reunir, na mesma variedade, elevado potencial produtivo/qualitativo de fibra associado a maior resistência ou tolerância aos estresses, sejam estes bióticos ou abióticos. Geralmente, quando se introduzem genes para aumento produtivo, não há benefício agregado com maior qualidade de fibra e, quase sempre, deteriora-se a resistência ou a tolerância. Especula-se que, até o momento, nem mesmo pela transgenia será tão fácil agregar, na mesma variedade, atributos de produtividade com qualidade de fibra, associados a elevada resistência ou tolerância aos estresses.

Por trás do potencial genético, definindo maior ou menor produtividade/qualidade de fibra e maior ou menor resistência ou tolerância aos estresses, existe um perfil interno de mensageiros químicos (hormônios e reguladores) produzidos pela planta. Alguns destes são considerados promotores de crescimento, desenvolvimento, manutenção da jovialidade e produtividade (auxina, citocinina e giberelina), enquanto outros são antagonistas aos promotores (ácido abscísico e etileno), ou seja, atuam em sentido contrário. Outros são apontados por comandar os mecanismos de defesa (ácido salicílico, brassinosteroides, jasmonatos, óxido nítrico, poliaminas e sisteminas). Os diferentes fito-hormônios que até agora foram reconhecidos não atuam isoladamente, mas sim de forma cooperativa e interativa, num balanço específico que varia de espécie para espécie, entre híbridos ou cultivares, ao longo do ciclo de vida da planta, podendo, também ser influenciado por fatores abióticos (água, luz, temperatura e nutrição) e bióticos (microrganismos, pragas e patógenos).

1. Modulação hormonal como ferramenta de manejo

Naturalmente, em qualquer ser vivo — e com as plantas não é diferente — a maior parte da energia produzida nos dois principais processos fisiológicos da produção, a fotossíntese e a respiração, é direcionada à sua própria manutenção, principalmente quando está sob condições de estresse. Esses estresses, sejam bióticos (como pragas e doenças) ou abióticos (como deficiência hídrica, temperaturas extremas, baixa luminosidade, desequilíbrios nutricionais ou agentes químicos), aumentam o desgaste energético e reduzem o tempo de vida útil das folhas. Ou seja, provoca senescência (envelhecimento) precoce da lavoura e, dessa forma, suprime substancialmente o potencial genético produtivo e qualitativo de fibra.

Na agricultura tropical, onde a frequência e a intensidade dos estresses são maiores, torna-se importante adotar estratégias de manejo que permitam formar cultivos capazes de, ao longo do ciclo fenológico, transformar água, CO_2, luz e nutrientes em maior quantidade e qualidade de fibra. O

princípio básico para alcançar esse objetivo é aumentar a capacidade das plantas de tolerar o estresse para reduzir o gasto energético associado com a manutenção. Nesse sentido, a modulação hormonal do cultivo vem sendo apontada como excelente estratégia fitotécnica de manejo e tem recebido muita atenção. Em alguns casos, os resultados obtidos para determinados hormônios são bastante positivos; em outros, porém, os resultados têm se mostrado inconsistentes ou erráticos, gerando dúvidas sobre a real eficácia da tecnologia e evidenciando a necessidade de estudos mais minuciosos. Isso reforça a importância de frisar que a modulação hormonal não significa simplesmente aplicar hormônios e esperar "milagres". É preciso compreender que a resposta das plantas à aplicação de hormônios não é padronizada, pois depende fortemente do componente genético, além de outros fatores como fase fenológica da aplicação, doses aplicadas, estado nutricional e condição fisiológica do cultivo.

2. Potencial genético e ambiente

Para que o potencial genético possa se manifestar em sua máxima expressão, a lavoura deve receber ao longo do ciclo fenológico, distribuição hídrica, térmica e luminosa favorável, além de ter sua demanda nutricional atendida de forma equilibrada. Em uma visão mais ampla, isso indica que a quantidade e a qualidade da fibra produzida não dependem exclusivamente do potencial genético da variedade, mas sim do sistema de produção (Genética - Ambiente - Manejo), no qual o ambiente tem participação decisiva, respondendo, em média, pela maior contribuição (65 a 70%) (Figura 1).

A distribuição hídrica, térmica e luminosa é basicamente determinada pela altitude, latitude e longitude da região de cultivo, podendo, dentro de certo limite, ser administrada pela data da semeadura (safra ou segunda safra). Além disso, o espaçamento, a população e a distribuição espacial das plantas, a condição de irrigação ou sequeiro, o sistema de cultivo – convencional ou semeadura direta – e se o cultivo é monocultura, sucessão ou rotação, também são componentes importantes que podem influenciar na expressão do potencial genético.

No manejo, com prioridade absoluta, deve-se dar destaque à construção de um perfil físico, químico e biológico do solo, para que este seja um reservatório hídrico e nutricional adequado, ou seja, que permita, em primeiro lugar, o desenvolvimento de um sistema radicular profundo com a maior biomassa de pelos radiculares. A qualidade fisiológica e sanitária da semente, o manejo de plantas indesejáveis na dessecação, pré e pós-emergência, o manejo de adubação, seja a lanço ou no sulco, a adubação foliar, o manejo fitossanitário oportuno, além, é claro, do gerenciamento energético do cultivo via manejo de reguladores de crescimento, também são atributos importantes de manejo para a maior expressão do potencial genético.

Figura 1. Potencial produtivo resulta da interação entre genética, ambiente e manejo

3. O papel das folhas

As folhas do algodoeiro representam a matriz

energética da planta, responsável por produzir toda a energia necessária para a manutenção, o crescimento vegetativo (raiz e parte aérea) e também para o crescimento e maturação dos frutos, ou seja, as maçãs, apesar de serem verdes (possuírem clorofilas) e apresentarem estômatos (portas para a entrada de CO_2, matéria-prima para a formação do caroço e a produção da celulose da fibra), são incapazes de se autossustentar, ou seja, não produzem o alimento de que precisam para crescer, maturar e transformar-se em capulhos.

Na fase fenológica que vai da emergência até a formação dos primeiros botões florais, quando a planta investe mais energia no crescimento radicular em profundidade do que na parte aérea, danos por fitotoxicidade, ou desfolha precoce repercutem diretamente em um desbalanço funcional e hormonal. Isso ocorre porque, para seu crescimento contínuo, o sistema radicular depende da energia produzida pelas folhas. Com menor área foliar, repercutindo em menor biomassa de raízes, principalmente pelos radiculares, haverá grande restrição para a absorção de água e de nutrientes. Além disso, por serem a principal "fábrica" para a produção de citocinina – hormônio que promove a divisão celular, garante a abertura dos estômatos para refrigeração e captura de CO_2, protege a clorofila da degradação, estimula a atividade da planta e evita a síntese do etileno (hormônio da senescência, entre outros) – ocorrerá menor crescimento da parte aérea e envelhecimento precoce da planta.

Diversos trabalhos de pesquisa têm mostrado que, até 45 DAE, o algodoeiro não suporta grandes perdas de área foliar, sendo registradas perdas de produtividade que variam de 21 a 35%. Outros estudos apontam que, caso ocorra 50% de desfolha até a formação das maçãs, pode haver redução de 14% na produção. Além disso, se a partir dos 85 dias após a emergência ocorrer destruição de botões florais e maçãs igual ou superior a 33%, a capacidade de recuperação produtiva da lavoura será sensivelmente reduzida. Portanto, o significado fisiológico das folhas para o algodoeiro não está relacionado apenas à quantidade da fibra produzida, mas também à qualidade dessa fibra. A partir do surgimento dos botões florais e durante toda a fase de florescimento e frutificação, é fundamental estabelecer como prioridade absoluta um manejo mais oportuno, que evite ao máximo o envelhecimento das folhas, a destruição das estruturas reprodutivas ou o aborto destas devido a estresses, além de garantir um gerenciamento energético eficaz.

Considera-se como gerenciamento energético eficaz aquele que, de acordo com a data da semeadura e considerando as limitações hídricas e térmicas para a formação de capulhos no ponteiro, permita o maior número possível de nós no caule principal, sem, contudo, resultar em altura excessiva das plantas. Outro grande desafio é preservar a área foliar, mantendo-a fisiologicamente ativa por mais tempo. A senescência (envelhecimento) precoce das folhas, causada por estresses, incluindo o químico (toxidez por herbicidas, fungicidas e inseticidas), compromete ainda mais a natural falta de sincronia entre a plenitude fotossintética das folhas em relação à demanda de açúcares pelos frutos. Isso ocorre porque, durante a maior parte do seu crescimento e maturação, as maçãs que irão se transformar em capulhos são dependentes de folhas que não têm plena capacidade de atender essa demanda. Portanto, a meta é que, próximo à colheita, seja possível visualizar "ouro branco num manto verde" e, assim, realizar a desfolha no momento oportuno.

4. Época da desfolha do algodoeiro

Qual é o momento mais oportuno para se proceder a desfolha da lavoura?

Nas fazendas, diversas são as recomendações empíricas ouvidas e, por vezes, adotadas para a aplicação de desfolhantes, algumas delas indicando o momento quando se constata 60-70% ou 70-80% de abertura de capulhos. No entanto, a resposta correta para essa questão depende do conhecimento da relação fisiológica entre o fruto e as folhas e, também, do conhecimento do período de crescimento e maturação do fruto (influenciados por temperatura). É essencial saber quando todas as características da fibra já estão definidas e a folha não possui mais nenhuma função para com o fruto. A relação fisiológica entre fruto e folhas é de total dependência, o que significa que uma desfolha precoce, por exemplo, quando apenas 60-70% dos capulhos estão abertos, fatalmente irá comprometer a qualidade da fibra das maçãs ainda imaturas.

A partir da fecundação da flor, tem início a embriogênese, ou seja, a formação da semente (caroço) e, simultaneamente, ocorre o crescimento acelerado da fibra em comprimento, processo que já havia se iniciado pelo menos 3 dias antes. Em média, a fibra define 90% do seu comprimento máximo em um período que pode variar de 24 a 28 dias. Posteriormente, durante outro intervalo de tempo de duração semelhante, ocorre o processo da maturação, quando são definidas as demais características intrínsecas da fibra. Os períodos de crescimento e da maturação da fibra são sensivelmente influenciados pela temperatura. Em locais de maior altitude, onde as temperaturas são mais amenas, registram-se períodos mais longos do que em regiões de menor altitude, onde a alternância térmica entre o dia e a noite é menor.

Diante do exposto, fica evidente que a desfolha deverá ser realizada, quando o último fruto (maçã) que compense ser colhido, em termos de tamanho, estiver maduro. Consideram-se frutos fisiologicamente maduros aqueles que apresentam elevada consistência, oferecendo bastante resistência ao serem apertados manualmente e, principalmente, ao corte transversal com canivete. Nestas condições, ao serem cortadas, as maçãs exibem sementes (caroços), cujo tegumento (casca) apresenta coloração escura, chegando a um tom preto no estádio mais avançado de maturação, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Frutos em diferentes estádios de maturação (Fonte: Embrapa)

Existe outro indicador fisiológico seguro para efetuar a desfolha: quando a última maçã de 1ª posição, que compense ser colhida, estiver localizada a quatro (04) nós acima do último capulho aberto. Essa recomendação de desfolha está fundamentada em estudos que demonstram que as maçãs de 1ª posição, situadas no ramo localizado até o quarto nó acima do último capulho, são fisiologicamente maduras (Figura 3).

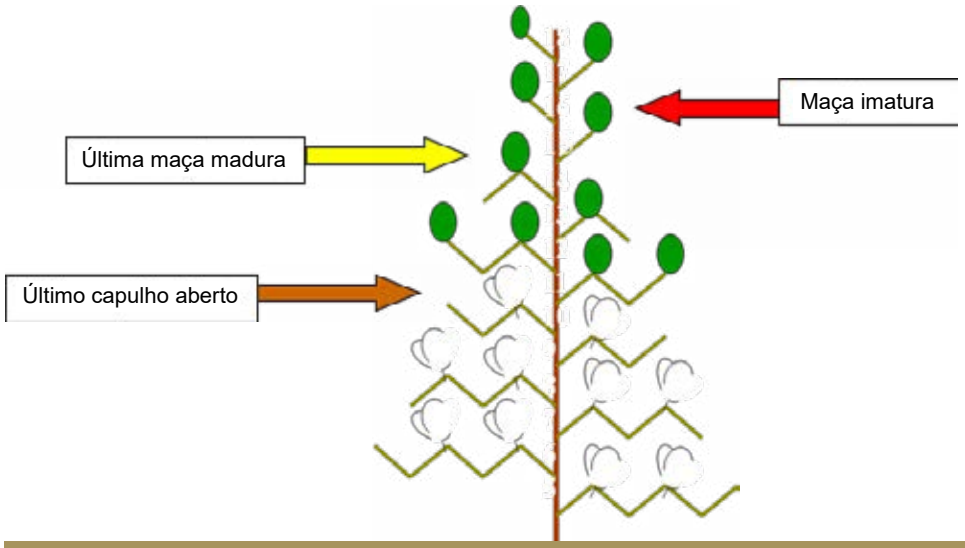


Figura 3. Determinação da posição da última maçã madura

Entretanto, vale ressaltar que a recomendação de desfolha por esse critério deverá ser considerada absolutamente verdadeira somente se existir bom nível de enfolhamento e a área foliar estiver fisiologicamente ativa, ou seja, sem danos patogênicos por mancha-alvo ou ramulária, sem desfolha ou desgaste por estresse químico, indicado por elevado grau de avermelhamento das folhas.

5. Desfolha química

Outro aspecto notável a ser diferenciado na desfolha é o dos produtos utilizados para esse fim. Existem desfolhantes com ação hormonal, que estimulam a queda de folhas ainda verdes e que, em alguns casos, dependendo do nível de enfolhamento, garantem desfolha de até 90% em apenas 7 dias. Também existem os denominados herbicidas dessecantes e os erroneamente chamados maturadores, que na verdade não funcionam como maturadores, e sim como promotores da abertura de capulhos. Por isso, sua recomendação de uso correta deve levar em consideração dois fatos importantes: se houver bom enfolhamento, criando efeito "guarda-chuva", as maçãs não serão atingidas pelo produto e, acima de tudo, estas devem estar fisiologicamente maduras. Estimular a abertura precoce de maçãs fisiologicamente imaturas repercute negativamente em perdas de produção e na qualidade da fibra, especialmente no tocante ao "Micronaire".

O uso de herbicidas dessecantes, salvo por uma questão econômica, deve ser evitado, pois estes produtos causam a morte das folhas por contato, fazendo com que sequem e, em sua maioria, não se desprendam da planta. Quando se desprendem, devido ao menor peso, muitas vezes não caem completamente ao solo e, por possuírem maior carga eletrostática, podem aderir mais facilmente à fibra dos capulhos abertos. Ao serem esmagadas pela colheitadeira, essas folhas

secas resultam em fibra mais suja, com presença de pedaços de folhas ("pimentinha").

Embora os promotores de abertura de capulhos, erroneamente denominados de maturadores, não sejam tão eficientes na desfolha, dependendo do nível de enfolhamento, podem ser utilizados sozinhos ou misturados com desfolhantes ou dessecantes. Vale lembrar que, para exercer seu efeito, o promotor de abertura de capulhos precisa entrar em contato com o alvo (fruto). Assim, constatada a maturação fisiológica das últimas maçãs que compensam ser colhidas e havendo bom nível de enfolhamento na lavoura, recomenda-se primeiro proceder à desfolha e, de 10 a 14 dias após, se necessário, o promotor de abertura de capulhos.

Por outro lado, é importante ter em mente que o desenvolvimento da planta e o efeito dos produtos com ação hormonal (desfolhantes e promotores de abertura de capulhos) são muito dependentes da temperatura e também do estado hídrico da planta. Assim, o estado hídrico no momento da aplicação e os regimes térmicos que ocorrem após a aplicação podem comprometer sua eficácia do produto. Havendo previsão meteorológica de temperaturas máximas acima de 32 °C, recomenda-se aplicar uma dose menor. Caso as temperaturas máximas esperadas estejam entre 23 °C e 32 °C, pode-se optar pela dose normal. Se as temperaturas máximas esperadas forem menores que 22 °C, em princípio não se recomenda a aplicação, ou então devem ser usadas doses mais elevadas, programando as aplicações para os horários de maior temperatura diária.

Após a aplicação dos desfolhantes e/ou promotores de abertura de capulhos, a lavoura deve ser colhida assim que possível, pois a demora, além de resultar em perda de peso por desidratação excessiva, pode tornar a fibra quebradiça, aumentando a porcentagem de fibras curtas e, consequentemente, perda da qualidade da fibra.

Os produtos e respectivas doses disponíveis para desfolha, dessecação e promoção da abertura de capulhos são apresentados nas Tabelas 1 e 2, ressaltando-se que as doses variam conforme o monitoramento da percentagem de abertura de capulhos, número de nós do último capulho aberto, a variedade, a época de semeadura, a capacidade de colheita, entre outros fatores de manejo, assim como as condições climáticas citadas anteriormente.

Tabela 1. Produtos utilizados como desfolhante, hormonal ou dessecante na cultura do algodoeiro

Dropp Ultra (diurom 60 g/L + tidiazurom 120 g/L)*	Hormonal	0,35-0,5 l/ha
Punto (diurom 180 g/L + tidiazurom 360 g/L)*	Hormonal	0,14-0,17 l/ha
Aurora (carfentrazona 400 g/L)**	Dessecante	0,08-0,12 l/ha
Kabuki (pirafluflem etilico 25 g/L)**	Dessecante	0,1-0,15 l/ha
Heat (saflufenacil 700 g/L)**	Dessecante	0,07-0,14 l/ha

*Sempre monitorar as temperaturas máxima e mínima recomendada pelo fabricante.
**Acrescentar óleo mineral 0,5l/ha.

Tabela 2. Produtos utilizados como promotores/aceleradores de abertura na cultura do algodoeiro

Finish (etefon 480 g/L + ciclanilida 60 g/L)*	Hormonal	1,5-2,5 l/ha
Impulse (etefon 480 g/L)*	Hormonal	2-2,5 l/ha

*Sempre monitorar as temperaturas máxima e mínima recomendadas pelo fabricante.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: pazzetti@unirv.edu.br

Edson Ricardo de Andrade Junior
IMAmt

Odilon Reny Ribeiro Ferreira da Silva
Embrapa Algodão

Valdinei Sofiatti
Embrapa Algodão

CAPÍTULO 5.II

Destruição dos restos culturais do algodoeiro (soqueira)

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13, por Andrade Junior, Silva e Sofiatti, e atualizado pelos mesmos autores nas edições subsequentes até 2025.

O algodoeiro, como espécie originalmente perene, tem a tendência de retomar o seu desenvolvimento mesmo após a colheita. Os múltiplos nós que permanecem na haste aumentam a habilidade da planta em produzir novas estruturas vegetativas e reprodutivas, principalmente em condições favoráveis de temperatura e umidade.

A eliminação dos restos culturais do algodoeiro após a colheita, também conhecida como destruição de soqueira, é recomendada como medida profilática para reduzir a população de pragas e doenças que se desenvolvem nas plantas rebrotadas, destacando-se entre elas: bicudo, ramulária, ramulose, mancha angular e as principais lagartas que atacam a cultura, que comprometem a produtividade da lavoura. Estudos realizados constataram que essa prática possibilita a redução de mais de 70% da população de insetos em quiescência, os quais sobreviveriam no período de entressafra e, consequentemente, infestariam a cultura precocemente na safra seguinte.

A essencialidade dessa medida, e a necessidade de que seja adotada por todos os cotonicultores tornou essa prática obrigatória por lei. Nesse sentido, existe no estado de Mato Grosso o Vazio Sanitário do Algodoeiro, normatizado pela IN 001/2016 da SEDEC/INDEA-MT, que é um período do ano durante o qual não pode haver plantas de algodoeiro com risco fitossanitário nas propriedades produtoras. Lembrando que plantas com risco fitossanitário são plantas de algodoeiro tigueras acima do estádio V3 e plantas rebrotadas (soqueiras) com mais de quatro folhas por broto ou com presença de estruturas reprodutivas. Caso o agricultor não destrua os restos culturais do algodoeiro até o início do vazio sanitário, ele poderá sofrer penalidades, como multa.

Principal estado produtor de algodão do país, o estado de Mato Grosso possui calendários diferentes para o vazio sanitário da cultura, dependendo da região. O território foi dividido em duas regiões. Na Região 1, que abrange os núcleos regionais Centro (região de Campo Verde), Centro-Leste (região de Primavera do Leste) e Sul (região de Rondonópolis), o vazio sanitário se inicia no dia 1º de outubro e vai até o dia 30 de novembro de cada ano. Já na Região 2, que reúne as regiões de Sapezal (Núcleo Regional Noroeste), Campo Novo do Parecis (Núcleo Regional Médio-Norte), Vale do Araguaia, Sorriso e Lucas do Rio Verde (Núcleo Regional Norte), o vazio sanitário inicia no dia 15 de outubro e segue até 14 de dezembro de cada ano.

A destruição dos restos culturais pode ser feita mecanicamente, com o uso de equipamentos específicos para essa finalidade, ou quimicamente, com o uso de herbicidas. A destruição química tem sido amplamente utilizada pelos produtores de Mato Grosso. Atualmente, 90% dos restos

culturais do estado são destruídos dessa forma, o que permite a continuidade do plantio direto/cultivo mínimo e diminui o custo dessa prática. É importante destacar que, atualmente, há inviabilidade de destruir mecanicamente toda a extensão de área plantada de algodão, devido a indisponibilidade de maquinário nas propriedades e ao tempo hábil antes do plantio da soja da safra seguinte.

1. Destruição mecânica dos restos culturais

Na destruição mecânica, são utilizados diversos equipamentos ou combinações de equipamentos que apresentam diferentes tipos de órgãos ativos e formas de atuação no perfil do solo para a destruição ou corte das plantas.

Para a destruição dos restos culturais, inicialmente o produtor utiliza o triturador dos restos culturais (triton) ou roçadeira, com o objetivo de cortar e estraçalhar a parte aérea das plantas. Muitos produtores realizam a completa destruição dos restos culturais com o uso da grade aradora após a roçada (Figura 1). Pela ação dos seus discos, a grade aradora incorpora ao solo toda a vegetação existente na superfície. Entretanto, dependendo do tipo de solo, para a completa destruição das soqueiras podem ser necessárias até três passadas do equipamento e outra com a grade niveladora, constituindo-se em uma operação exigente em potência e de custo elevado. Além disso, poderá ocorrer a formação de uma camada compactada logo abaixo da região de ação dos discos, além de deixar a superfície desprovida de vegetação e suscetível à erosão.

Alguns fabricantes nacionais desenvolveram equipamentos com a finalidade específica de realizar a destruição dos restos culturais do algodoeiro. Esses equipamentos apresentam variações quanto à profundidade de trabalho, grau de mobilização do solo, velocidade de operação, demanda de potência e capacidade operacional. Abaixo, são descritos os principais atualmente em uso:

- Arrancador de discos em "V": é acoplado ao sistema hidráulico de três pontos do trator, estando disponível em configurações com 4 a 12 linhas. O equipamento, comercialmente disponível, pode realizar o arranquio em fileiras espaçadas em 0,76 m ou 0,90 m, sendo que, para cada espaçamento, há uma configuração própria de diâmetro e concavidade dos discos. O equipamento possui um rolo com facas, que tem a finalidade de afrouxar o solo, e o arranquio é feito em seguida por discos duplos, côncavos e alinhados em formato de "V", os quais agem arrancando a planta do algodoeiro. Os discos possuem pequenas "garras" soldadas na parte externa para facilitar a sua aderência ao solo e permitir que girem facilitando o corte da raiz ou o arranquio do algodoeiro (Figura 2). Para o arranquio do algodoeiro com espaçamento entre linhas de 76 cm os discos possuem diâmetro de 24", com concavidade de 3", enquanto, que para o espaçamento entre linhas de 90 cm, os discos são de 28", com concavidade de 1 e ¾". Este equipamento ocasiona baixo revolvimento do solo, o que favorece práticas de conservação de solo e a adoção do plantio direto. Além disso, a capacidade operacional do equipamento é elevada, devido à alta velocidade de trabalho, que pode chegar a 15-20 km/h.
- Arrancador de discos: O equipamento é acoplado ao sistema hidráulico do trator, e seus órgãos ativos são discos lisos e côncavos, que atuam aos pares, desalinhados sobre a fileira do algodão, na profundidade de 8 a 15 cm (Figura 3). Apresenta alta eficiência no arranquio das plantas previamente roçadas, e seu efeito sobre a superfície do solo consiste na formação de pequenos sulcos ou camalhões. A regulagem da profundidade é feita pelo sistema hidráulico do trator.
- Cortador de plantas: O equipamento possui dois discos para cada fileira de algodão, os quais atuam aos pares e dispõem de rotação própria por meio de motores hidráulicos (Figura 4). Os discos apresentam certa angulação em relação ao plano horizontal para favorecer a sua penetração no solo e manter sempre a mesma profundidade de trabalho, que pode variar de 3 a 5 cm. As plantas são cortadas na região do colo, de forma a evitar a rebrota. O equipamento apresenta um sistema pantográfico para cada corpo

cortador, um reservatório de óleo que abastece uma bomba hidráulica, a qual é acionada pela TDP (Tomada de Potência) do trator, a qual é responsável pelo acionamento dos motores hidráulicos de cada disco cortador. Para maior eficiência é importante que os dois discos trabalhem encostados um ao outro, o que é ajustado por meio da regulagem do equipamento. Este equipamento mobiliza pouco o terreno, adequando-se, portanto, aos métodos conservacionistas de manejo do solo.

Figura 1. Efeito do trabalho da grade aradora destruindo os restos culturais (Fonte: Odilon Reny Ribeiro Ferreira da Silva)

Figura 2. Arrancador de discos em "V" da marca Moraes (Fonte: Odilon Reny Ribeiro Ferreira da Silva)

Figura 3. Arrancador de discos da marca Watanabe (Fonte: Valdinei Sofiatti)

Figura 4. Cortador triturador de plantas acoplado à barra de tração do trator (Fonte: Odilon Reny Ribeiro Ferreira da Silva)

2. Destruição química dos restos culturais

Figura 5. Área manejada com destruição de soqueira química (Fonte: Edson Andrade Jr.)

De forma geral podemos dividir a destruição química em 3 métodos:

2.1. Destruição iniciada no toco

Para a utilização desse método, é necessário o uso prévio de roçadeira/triton para o corte das plantas do algodoeiro, a cerca de 30 cm do solo, deixando a parte superior do toco estraçalhada para aumentar a interceptação e retenção da calda pulverizada e, consequentemente, a quantidade absorvida do herbicida (Figura 5).

A primeira aplicação do herbicida deve ser realizada imediatamente após a roçada (o mais próximo possível, não devendo ultrapassar de 20 a 30 minutos) (Figura 6). Em razão da frequente ocorrência de rebrotes, a área deve ser monitorada para que as reaplicações sejam realizadas com certa quantidade de área foliar, mas sem ultrapassar o risco fitossanitário. De modo geral, tem-se obtido sucesso no uso desse método com duas aplicações, sendo a primeira aplicação no toco (imediatamente após a roçada) e a segunda reaplicação nos rebrotes.

Vantagens do método:

- Primeira aplicação uniforme, uma vez que todos os tocos recebem a aplicação do produto;
- Início imediato da destruição de soqueira;
- Rebrotes/escapes surgem já bastante injuriados, levando mais tempo para atingir o risco fitossanitário.

Desvantagens do método:

- Deve-se respeitar o período entre a roçada e a aplicação (20 a 30 minutos no máximo), sendo este um problema operacional de algumas fazendas e talhões muito extensos;
- Alvo da aplicação restrito (vasos expostos na roçada), pois há pouca ou nenhuma área foliar no momento dessa aplicação para auxiliar na absorção dos produtos, o que torna ainda mais importante seguir o item anterior, assim como observar a qualidade da aplicação.

Figura 6. Aplicação de herbicida imediatamente após a roçada (Fonte: Edson Andrade Jr.)

2.2. Destruição no rebrotes

Para esse método, é necessário o uso prévio de roçadeira/triton para corte das plantas do algodoeiro a cerca de 40-50 cm do solo, procurando realizar o corte o mais reto possível, proporcionando melhores condições para o rebrote (menores danos na soqueira).

A primeira aplicação do(s) herbicida(s) deve ser realizada tão logo a área apresente um rebrote o mais uniforme possível (percentual das plantas rebrotadas). Quanto ao tamanho do rebrote, o ideal é que ele tenha de 8 a 10 cm (Figura 8), sempre respeitando o estádio de risco fitossanitário previsto na IN do Vazio Sanitário. Em razão da frequente ocorrência de rebrotes, a área deve ser monitorada para que as reaplicações sejam realizadas com certa quantidade de área foliar, mas sem ultrapassar o risco fitossanitário. De modo geral, tem-se obtido sucesso nesse método com duas aplicações.

Vantagens do método:

- Maior tempo para organizar as aplicações (facilita o operacional);
- Efeito visual do tratamento.

Desvantagens do método:

- É essencial a presença de rebrote uniforme (porcentagens de plantas rebrotadas), pois plantas/tocos não rebrotados não receberão o produto, uma vez que não possuem área foliar para absorção;
- Em anos em que o rebrote da cultura demorar, será necessário mais tempo para iniciar a destruição da soqueira e, consequentemente, os produtores terão um período curto para realizar as aplicações necessárias de eliminação da soqueira antes do início do Vazio Sanitário;
- Plantas rebrotadas podem atingir o risco fitossanitário rapidamente, com proliferação de pragas e doenças;
- Aplicações tardias em plantas com muita rebrota geram menor eficiência dos tratamentos.

Figura 7. Área com rebrote desuniforme: em vermelho tocos sem rebrota, em amarelo com pouca rebrota e em verde com rebrota ideal para aplicação de herbicidas (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Figura 8. Área com rebrote uniforme e tamanho ideal para aplicação de herbicidas (Fonte: Edson Andrade Jr.)

2.3. Destruição "planta em pé"

Para esse método, as plantas não são roçadas, e a primeira aplicação do(s) herbicida(s) deve ser realizada assim que a área apresentar um rebrote o mais uniforme possível (porcentagem das plantas rebrotadas). Quanto ao tamanho do rebrote, o ideal é que ele possua entre 8 e 10 cm, sempre respeitando o estádio de risco fitossanitário previsto na IN do Vazio Sanitário. Em razão da frequente ocorrência de rebrotes, a área deve ser monitorada para que as reaplicações sejam realizadas com certa quantidade de área foliar, mas sem ultrapassar o risco fitossanitário. De modo geral, tem-se obtido sucesso nesse método com duas aplicações. É importante lembrar que, segundo a IN do Vazio Sanitário, a destruição dos restos culturais deve ocorrer até 15 dias após a colheita. Ou seja, como nesse método não ocorre a roçagem (que seria a primeira etapa da destruição), teoricamente a primeira aplicação deve ocorrer nesse período.

Figura 9. Área com manejo de destruição de soqueira planta em pé. (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Vantagens do método:

- Economia da prática da roçagem;
- Maior tempo para organizar as aplicações (facilita o operacional);
- Efeito visual do tratamento.

Desvantagens do método:

- É essencial a presença de rebrote uniforme (porcentagem de plantas rebrotadas), pois plantas não rebrotadas não receberão produto, uma vez que não possuem área foliar para absorção;
- Em anos em que o rebrote da cultura demora, é necessário mais tempo para iniciar a destruição da soqueira e, consequentemente, os produtores terão um período curto para realizar as aplicações necessárias de eliminação da soqueira antes do início do Vazio Sanitário;
- Plantas rebrotadas podem atingir rapidamente o risco fitossanitário, favorecendo a proliferação de pragas e doenças;
- Aplicações tardias em plantas com muita rebrota geram menor eficiência dos tratamentos.

2.4. Herbicidas usados na destruição de soqueira

O herbicida mais utilizado na destruição da soqueira do algodoeiro é o 2,4-D, isolado, associado ou aplicado de forma sequencial. Esse ingrediente ativo possui ação sistêmica, ou seja, depois de absorvido, é redistribuído dentro das plantas, o que o torna mais efetivo.

Diversos trabalhos mostram que o uso de 2,4-D associado a outros herbicidas potencializa a eficiência do manejo, garantindo menores porcentagens ou até mesmo a ausência de rebrotas nas áreas.

O melhor herbicida para uso associado ao 2,4-D era o glifosato, porém com o advento das variedades de algodão transgênicas tolerantes a ele (GL/GLT/GLTP/STP e B2RF/B3RF/B3XF), seu uso deixa de ser eficiente nessas variedades, sendo opção restrita apenas às variedades TLP e WS/WS3.

Para as variedades tolerantes ao glifosato, os herbicidas mais utilizados associados ao 2,4-D, são o flumicloraque e o carfentrazone, considerados os mais eficientes com base nos dados de ensaios do IMAmt. Em nível de campo, outros herbicidas também são usados como parceiros do 2,4-D, tais como saflufenacil, flumioxazina e clorimuron. O herbicida lançado recentemente, tiafenacil, assim como o epyrifenacil, que será lançado em breve, mostraram-se excelentes parceiros do 2,4-D na destruição da soqueira, proporcionando controles superiores aos padrões atuais em muitos ensaios.

Nos últimos anos, houve um aumento no uso do herbicida fluroxipir (em específico o herbicida Araddo, uma vez que os outros produtos à base de fluroxipir não apresentam a mesma performance) na segunda aplicação do manejo da soqueira, em substituição ao 2,4-D. O principal motivo é o intervalo obrigatório entre a aplicação do herbicida e o plantio da cultura da soja, que para o fluroxipir é de 1 dia, e para o 2,4-D varia de 7 a 14 dias (dependendo da dose utilizada). Com isso, muitos produtores têm adotado atualmente a estratégia de manejar 20-30% da área (aquelas destinadas aos primeiros plantios de soja) com a segunda aplicação do manejo da soqueira utilizando Araddo (fluroxipir) + herbicida parceiro (os mesmos citados anteriormente).

Outra ferramenta que o produtor dispõe atualmente para auxiliar na destruição da soqueira, são as cultivares de soja Enlist® (tolerantes a glifosato, glufosinato de amônio e 2,4-D), uma vez que, até o florescimento dessas variedades, é possível realizar a aplicação do 2,4-D Colina, manejando de forma eficiente as eventuais sobras de soqueira. O uso dessa ferramenta ainda não é maior devido à falta de opções de cultivares de ciclo curto e não STS, questão que deve ser resolvida em breve pelos programas de melhoramento.

Principais pontos de falhas na destruição de soqueira química observados nas últimas safras

- Uso de baixas doses de 2,4 D nas aplicações;
- Produtores que em manejos de variedades TLP e WS3, reduzem a dose do 2,4D, pois trabalham com uma maior dose de glifosato;
- Realizar apenas uma aplicação para destruição de soqueira, sendo que a aplicação sequencial nas rebrotas é obrigatório para o sucesso da prática;
- Condições climáticas – períodos de seca e altas temperaturas entres os meses de agosto-setembro e as vezes mesmo no início de outubro, nessas situações ocorre baixa rebrota das plantas de algodão e assim impactando na eficiência das destruições de soqueira dos produtores, independentemente do método (lembrando que mesmo o método de aplicação iniciando no toco, a segunda aplicação também precisa de rebrotes), uma vez que a janela de plantio de soja precisa ser respeitada para garantir o sucesso do cultivo e também da segunda safra em seguida. Esse ponto foi o principal desafio para o sucesso da destruição de soqueira nas últimas safras.

Figura 10. Área no momento da segunda aplicação do manejo de soqueira, com pouca rebrota – não ideal realizar a aplicação (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Figura 11. Área no momento da segunda aplicação do manejo de soqueira, com bom tamanho de rebrota – Ideal para aplicação (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Figura 12. Área manejada com sub-doses de 2,4D na destruição de soqueira e com aplicações de glifosato + flumicloraque no manejo em pós-emergência da cultura da soja (Fonte: Edson Andrade Jr.)

Figura 13. Área com excessiva presença de plantas de algodão no momento da colheita da soja (Fonte: Edson Andrade Jr.)

3. Controle de tigueras

Para o manejo de tiguera, existem produtos com eficiência para essa prática, sendo importante destacar que ela deve ser realizada antes do estádio V_3, considerado de risco fitossanitário, além da queda de eficiência dos produtos em estádios mais avançados.

Antes do plantio da soja, os produtos usados na destruição da soqueira também irão eliminar as tigueras. Após o plantio da soja, os principais produtos usados são: flumicloraque, fomesafen e lactofen.

O principal problema no manejo das tigueras é a ocorrência de vários fluxos de germinação e, com isso, no momento das aplicações algumas plantas podem estar em estádios mais avançados, dificultando o controle. Uma alternativa é o manejo de residual, ou seja, o uso de herbicidas pré-emergentes para controle da tiguera antes da germinação, como diclosulan e imazetapir. É importante destacar que, mesmo após a redução do efeito residual, esses produtos proporcionam tigueras em estádio inicial e uniforme, potencializando assim o manejo em pós-emergência com os produtos anteriormente citados.

Caso a soja cultivada seja com a tecnologia Enlist, as tigueras poderão ser controladas também pelo 2,4-D colina, que pode ser aplicado até o florescimento das cultivares que possuem essa biotecnologia.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: edsonjunior@imamt.org.br

Igor Silva Santos
Consultor

CAPÍTULO 5.12

Manejo da água em sistemas irrigados

Capítulo publicado na edição de 2025.

Introdução

O estado de Mato Grosso consolidou-se como um dos maiores produtores de algodão do Brasil e do mundo, contribuindo significativamente para o fornecimento de fibra de alta qualidade ao mercado global. O sucesso dessa cadeia produtiva está diretamente relacionado ao avanço tecnológico, à adoção de sistemas de manejo eficientes e, principalmente, ao uso racional dos recursos hídricos.

Dentre as tecnologias disponíveis, a irrigação por pivô central (Figura 1) destaca-se como o método mais utilizado nas lavouras de algodão irrigado de Mato Grosso. Esse sistema oferece elevada uniformidade na distribuição da água, maior automação, ampla cobertura de área e, quando bem manejado, promove o uso eficiente dos recursos hídricos e energéticos.

A demanda hídrica do algodão, cultura reconhecida por sua sensibilidade ao déficit hídrico, especialmente nas fases de florescimento e formação de capulho, justifica a necessidade de sistemas de irrigação capazes de suprir, de forma precisa e no momento adequado, as exigências da planta. Além disso, o cenário de irregularidade na distribuição das chuvas, associado ao alto investimento na cultura, torna a irrigação um componente estratégico para assegurar estabilidade produtiva, elevar os tetos de produtividade e reduzir riscos econômicos.

Este capítulo dedica-se exclusivamente ao sistema de irrigação por pivô central, visto sua predominância nas áreas agrícolas irrigadas do estado. Serão apresentados os fundamentos técnicos para o manejo da água, os conceitos de eficiência e uniformidade de aplicação,

Figura 1. Produção de algodão irrigado por pivô central (Fonte: Igor Santos)

além de ferramentas modernas de apoio à tomada de decisão, como sensores de umidade do solo, imagens de sensoriamento remoto (NDVI) e softwares especializados de monitoramento e controle. O objetivo é proporcionar aos técnicos e agrônomos uma base sólida e prática para implementar o manejo da irrigação de forma eficiente, técnica e sustentável, contribuindo para o aumento da produtividade e para a preservação dos recursos naturais.

1. Fundamentos técnicos de manejo da água

1.1. Relação Solo-Água-Planta-Atmosfera

O funcionamento eficiente dos sistemas de irrigação, em especial o pivô central, exige o entendimento integrado dos processos que regem a relação solo-água-planta-atmosfera, também conhecida como continuum hídrico. Esse conceito, fundamental no manejo de irrigação, descreve as interações que determinam o movimento da água, desde sua infiltração no solo até a sua devolução à atmosfera, predominantemente via evapotranspiração.

A água no solo ocupa os poros entre as partículas minerais, sendo armazenada e disponibilizada para as plantas conforme a textura, a estrutura e a densidade do solo. A capacidade de armazenamento de água útil no solo é delimitada por dois parâmetros físicos fundamentais: a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). A água disponível (AD), compreendida entre esses dois limites, representa o volume efetivamente acessível ao sistema radicular das plantas, sendo um fator determinante para a frequência e a lâmina das irrigações (Salassier *et al.*, 2020).

As plantas absorvem a água do solo pelas raízes, transportando-a através do xilema até as folhas, onde ocorre a transpiração. Esse processo é regulado pela abertura estomática e depende de fatores ambientais como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Paralelamente, a água também retorna à atmosfera por meio da evaporação direta da superfície do solo, sendo que a soma desses processos constitui a evapotranspiração (ET), indicador-chave para o planejamento hídrico.

No contexto da irrigação agrícola, adotar práticas baseadas nesse entendimento permite:

- Definir o momento adequado para a aplicação da água;
- Determinar a lâmina necessária, evitando tanto o déficit hídrico quanto o desperdício por percolação profunda;
- Maximizar a eficiência do uso da água e a produtividade da cultura;
- Reduzir os impactos ambientais, como a lixiviação de nutrientes e a salinização do solo.

É importante destacar que os fatores que integram esse sistema são dinâmicos e variam espacial e temporalmente. Alterações nas condições climáticas, no tipo de solo ou no estágio fenológico do algodão impactam diretamente as necessidades hídricas da cultura, exigindo ajustes constantes no manejo da irrigação.

A irrigação eficiente com pivô central, portanto, vai além da simples aplicação mecânica de água. Exige o domínio das relações físico-biológicas que regem o movimento da água no agroecossistema, integrando o conhecimento científico ao monitoramento de campo para garantir altos patamares de produtividade e sustentabilidade.

1.2. Características Hídricas do Solo

O solo é o principal reservatório de água disponível para as plantas e, por isso, compreender suas características hídricas é fundamental para o manejo racional da irrigação em sistemas de pivô central. A eficiência do uso da água, a frequência das irrigações e a uniformidade da distribuição estão diretamente relacionadas à capacidade do solo de reter e disponibilizar água para as raízes.

Os principais parâmetros que descrevem o comportamento hídrico do solo são:

a. **Capacidade de Campo (CC):** Corresponde ao teor de umidade do solo após o escoamento livre da água gravitacional, geralmente alcançado 48 horas após uma irrigação ou precipitação intensa (Salassier *et al.*, 2020). Nesse ponto, os poros maiores (macroporos) estão preenchidos por ar, enquanto os poros menores (microporos) retêm a água disponível para as plantas.
b. **Ponto de Murcha Permanente (PMP):** Representa o teor de umidade do solo no qual as plantas não conseguem mais extrair água, mesmo com umidade residual no solo. Nesse estágio, as plantas apresentam sintomas irreversíveis de murcha, caso não ocorra reposição hídrica.

c. **Água Disponível (AD):** É a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, expressando o volume de água que pode ser absorvido pelas raízes sem prejudicar o desenvolvimento das plantas. Esse valor geralmente é expresso em milímetros por metro de profundidade de solo (mm m^{-1}).
d. **Água Total Disponível (ATD):** Corresponde à quantidade total de água disponível no perfil do solo explorado pelas raízes da cultura, sendo calculada pelo produto da água disponível (AD) pela profundidade efetiva das raízes (Z). Para o algodão, a profundidade efetiva do sistema radicular pode variar entre 0,60 m e 1,20 m, conforme o estádio de desenvolvimento e as características do solo (Allen *et al*., 1998).
e. **Fatores que Influenciam a Capacidade de Retenção de Água:** A textura do solo é o principal fator que determina sua capacidade de retenção de água:
   - Solos argilosos apresentam alta capacidade de retenção de água, mas parte significativa da água fica retida em poros muito finos, tornando-se indisponível para as plantas.
   - Solos arenosos possuem baixa capacidade de retenção e rápida drenagem, exigindo maior frequência de irrigação.
   - Solos franco-argilosos e franco-arenosos representam a condição ideal para o cultivo do algodão irrigado, combinando boa disponibilidade de água e adequada aeração.

Além da textura, a estrutura do solo, o teor de matéria orgânica e a compactação influenciam diretamente o armazenamento e a disponibilidade de água. O conhecimento desses parâmetros permite ao técnico:

- Definir o volume ideal de água a ser aplicado em cada irrigação;
- Estabelecer os intervalos entre as irrigações;
- Evitar perdas por percolação profunda;
- Garantir que o sistema de pivô central opere de maneira eficiente e sustentável.

No contexto do manejo de irrigação do algodão em Mato Grosso, o mapeamento detalhado da variabilidade do solo é essencial, especialmente em talhões extensos e heterogêneos, comuns nas grandes áreas irrigadas por pivô central.

1.3. Necessidades Hídricas do Algodão: Abordagem FAO 56

O dimensionamento adequado da irrigação do algodão em sistemas de pivô central exige o conhecimento preciso das necessidades hídricas da cultura ao longo de seu ciclo fenológico. A metodologia preconizada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), descrita no Boletim FAO 56 (Allen *et al*., 1998), constitui a base técnica mais aceita e recomendada mundialmente para o cálculo da demanda hídrica das culturas agrícolas.

Conforme essa abordagem, as necessidades hídricas do algodão são expressas pela evapotranspiração da cultura (ETc), calculada pela seguinte equação:

$$\mathbf{ETc = ETo \times Kc}$$

Em que:

- **ETc:** Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1} ou mm $ciclo^{-1}$);

- **ETo:** Evapotranspiração de referência, determinada com base em dados climáticos locais, utilizando a equação de Penman-Monteith;
- **Kc:** Coeficiente de cultura, variável conforme as fases fenológicas do algodão.

A evapotranspiração de referência (ETo) representa a demanda atmosférica de água de uma superfície de gramínea padrão, bem irrigada e em pleno desenvolvimento vegetativo. Já o coeficiente de cultura (Kc) ajusta esse valor às características fisiológicas e morfológicas do algodão ao longo do ciclo produtivo.

Fases Fenológicas do Algodão e Valores de Kc

Segundo dados da FAO (Allen *et al.*, 1998) e pesquisas adaptadas às condições brasileiras (Beltrão *et al.*, 2019), os valores de Kc recomendados para o algodoeiro encontram-se na Tabela1.

Vale ressaltar que os valores de Kc podem sofrer variações em função do manejo da cultura, da arquitetura das plantas, do espaçamento e das condições climáticas locais, sendo recomendável o ajuste desses coeficientes com base no monitoramento de campo, em imagens de satélite ou em sensores de solo.

Importância do Monitoramento Climático

O cálculo preciso da ETo, pilar da metodologia FAO 56, requer dados meteorológicos confiáveis, incluindo:

- Radiação solar global;
- Temperatura máxima e mínima diárias;
- Umidade relativa do ar;
- Velocidade do vento a 2 metros de altura.

Estes dados podem ser obtidos por meio de estações meteorológicas automáticas ou sistemas integrados de monitoramento, que têm se tornado cada vez mais comuns em áreas irrigadas por pivô central.

Relevância do Manejo Baseado nas Necessidades Hídricas

O conhecimento das necessidades hídricas específicas do algodão permite:

- Planejar adequadamente as lâminas de irrigação ao longo do ciclo produtivo;
- Evitar déficits hídricos nas fases críticas de florescimento e enchimento de capulho;
- Prevenir o excesso de água, que compromete o sistema radicular e favorece doenças;
- Otimizar o uso da água e da energia elétrica;
- Maximizar a eficiência do sistema de pivô central, elevando a produtividade e a qualidade da fibra.

Portanto, o manejo da irrigação do algodão deve ser dinâmico, adaptando-se às variações climáticas, ao estádio fenológico da cultura e às características do solo, sempre fundamentado em dados técnicos e na metodologia consagrada da FAO 56.

1.4. Qualidade da Água para Irrigação e Salinização do Solo

A qualidade da água utilizada na irrigação influencia diretamente a produtividade, a saúde do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Em áreas irrigadas por pivô central, como as lavouras de algodão de Mato Grosso, o monitoramento da qualidade da água é indispensável para evitar processos de salinização e degradação da estrutura do solo.

A salinização do solo ocorre quando há acúmulo excessivo de sais solúveis na zona radicular, reduzindo o potencial osmótico do solo e dificultando a absorção de água pelas plantas, mesmo quando

Tabela 1. Valores de Kc das diferentes fases fenológicas do algodão (Fonte: Adaptado de Allen *et al.* (1998) e Beltrão *et al.* (2019))

Fase Fenológica	Duração Aproximada (dias)	Kc Médio
Estabelecimento inicial	20 a 30	0,35 a 0,45
Desenvolvimento vegetativo	30 a 40	0,75 a 1,05
Florescimento e enchimento de capulho	50 a 60	1,15 a 1,20
Maturação e abertura dos capulhos	20 a 30	0,70 a 0,80

o solo aparenta estar úmido. Esse fenômeno compromete o crescimento das plantas, reduz a produtividade e pode levar à inviabilidade econômica da área irrigada (Salassier *et al.*,2020).

Parâmetros para Avaliação da Qualidade da Água

A caracterização da água para fins de irrigação deve incluir, no mínimo, a análise dos seguintes parâmetros (Tabela 2):

- **Condutividade elétrica (CE):** Expressa em dS m^{-1} (decisiemens por metro), é um indicador da concentração total de sais dissolvidos. Valores elevados indicam maior risco de salinização.
- **Índice de Sodicidade ou Razão de Adsorção de Sódio (RAS):** Avalia o risco de dispersão das partículas do solo e a consequente redução da infiltração de água. Altos valores de RAS comprometem a estrutura do solo, principalmente em solos argilosos.
- **Concentração de elementos tóxicos:** Como boro, cloro e sódio em excesso, que podem causar fitotoxicidade nas plantas.
- **pH da água:** Águas muito ácidas ou muito alcalinas podem afetar a disponibilidade de nutrientes e a estrutura do solo.

Vale ressaltar que o impacto da qualidade da água também depende do tipo de solo, das práticas de manejo adotadas e da eficiência do sistema de irrigação.

Estratégias para Prevenção da Salinização

- **Lixiviação controlada:** Aplicação de lâminas adicionais de água, planejadas para empurrar o excesso de sais para fora da zona radicular, evitando o acúmulo prejudicial.
- **Monitoramento constante do solo:** Utilização de sensores de condutividade elétrica no solo ou análises laboratoriais periódicas, permitindo o diagnóstico precoce de salinização.
- **Correção química do solo:** Em solos sodificados, pode ser necessária a aplicação de gesso agrícola ($CaSO_4$) para substituir o sódio adsorvido e recuperar a estrutura do solo.
- **Manejo adequado do pivô central:** Ajustes na uniformidade e na lâmina de irrigação para evitar encharcamento ou aplicação insuficiente de água, ambos fatores que contribuem para o acúmulo superficial de sais.
- **Drenagem eficiente:** Fundamental em áreas irrigadas com águas de baixa qualidade ou em regiões com lençol freático superficial, prevenindo o retorno ascendente de sais para a superfície.

Tabela 2. Classificação Simplificada da Qualidade da Água para Irrigação (Adaptado de Ayers & Westcot, 1985)

Parâmetro	Nível de Restrição	Recomendação
CE < 0,7 dS m^{-1}	Baixo risco	Água de boa qualidade
0,7 < CE < 3,0 dS m^{-1}	Moderado risco	Monitoramento e manejo específico
CE > 3,0 dS m^{-1}	Alto risco	Uso restrito, exige drenagem eficiente
RAS < 6	Baixo risco	Sem restrições significativas
6 < RAS < 18	Moderado risco	Requer atenção à estrutura do solo
RAS > 18	Alto risco	Exige correções e drenagem adequada

A irrigação eficiente não se resume ao volume ou à frequência de aplicação de água. É imprescindível conhecer a qualidade da água utilizada e adotar práticas de manejo que assegurem o equilíbrio salino do solo, garantindo a longevidade produtiva das áreas irrigadas por pivô central no cultivo do algodão.

Ignorar esse aspecto compromete não apenas a produtividade imediata, mas também o potencial produtivo futuro da área, configurando um risco ambiental e econômico inaceitável para sistemas de alta tecnologia, como o cultivo irrigado de algodão no cerrado mato-grossense.

2. Pivô Central: Estrutura e Funcionamento

A irrigação por pivô central é um sistema mecanizado amplamente adotado nas grandes áreas agrícolas do Brasil, especialmente nas lavouras de algodão irrigado do Mato Grosso (Figura 2). Sua eficiência operacional, o elevado nível de automação e a capacidade de irrigar grandes extensões de terra o tornam a tecnologia mais utilizada para suprir as necessidades hídricas de culturas de elevado valor agregado.

O pivô central é caracterizado por uma estrutura móvel em formato circular, que gira em torno de um ponto fixo, aplicando água de forma contínua e uniforme sobre a área cultivada. O domínio dos seus componentes e do seu funcionamento é fundamental para garantir a eficiência no uso da água e da energia elétrica.

2.1. Componentes Principais do Pivô Central

O sistema de pivô central é composto por diversos elementos estruturais e hidráulicos que trabalham de forma integrada. Seus principais componentes são:

- **Ponto Central (Pivot Point):** Estrutura fixa que serve de base para o sistema. Nela estão instalados os sistemas de alimentação hidráulica e elétrica, além do painel de controle do equipamento.
- **Torre-Mestra (ou Torre Central):** Primeira torre, fixa ao ponto central, responsável pelo suporte inicial da tubulação e pela transmissão de energia elétrica ao sistema.

Figura 2. Algodão irrigado com pivô central (Fonte: Igor Santos)

- **Vãos ou Trechos (Spans):** Estruturas tubulares metálicas que conectam as torres intermediárias, sustentando a linha de irrigação e os emissores. Os vãos podem variar entre 40 e 60 metros de comprimento, dependendo do fabricante e do modelo do equipamento.
- **Torres de Sustentação e Motorização:** Equipadas com rodas motorizadas, permitem o deslocamento sincronizado do sistema, garantindo o movimento circular e a estabilidade da estrutura.
- **Tubulação Principal (Linha de Irrigação):** Canal pelo qual a água é conduzida e distribuída até os emissores.
- **Emissores (Spray, Bocais ou Rotativos):** Responsáveis pela aplicação da água sobre o solo e as plantas. Podem variar em modelo e vazão, conforme o tipo de cultura e as características do solo.
- **Painel de Controle:** Equipamento eletrônico que permite o gerenciamento das funções do pivô central, como controle de velocidade de rotação, lâmina de água aplicada, ativação dos motores e automação do sistema.
- **Sistema de Alimentação de Água e Energia:** Pode ser composto por bombas, tubulações subterrâneas, cabeamento elétrico e sistemas de automação, muitas vezes integrados a softwares de gestão e monitoramento remoto.

2.2. Uniformidade de Aplicação e Fatores de Eficiência

A eficiência de um sistema de pivô central está diretamente relacionada à sua capacidade de distribuir água de maneira uniforme sobre toda a área irrigada, minimizando perdas e garantindo o suprimento hídrico adequado à cultura.

Índices de Uniformidade Utilizados:

- **Uniformidade de Distribuição (UD):** Representa o grau de uniformidade na aplicação da lâmina de água é aplicada em diferentes pontos da área irrigada. Para sistemas bem regulados, valores acima de 85% são considerados adequados (Figura 3).
- **Eficiência de Aplicação (EA):** Refere-se à proporção da água aplicada que efetivamente permanece disponível na zona radicular das plantas. Em pivôs centrais bem projetados e manejados, essa eficiência pode variar entre 85% e 95%.

Fatores que afetam a Uniformidade e a Eficiência:

- Desgaste ou obstrução dos emissores;
- Pressão inadequada ao longo da tubulação;
- Deficiências no alinhamento das torres;
- Variações no relevo, que impactam a pressão e a distribuição da água;
- Velocidade incorreta de deslocamento do equipamento;
- Condições climáticas no momento da irrigação, especialmente ventos fortes.

O monitoramento constante da uniformidade, associado ao uso de ferramentas como pluviômetros de coleta e sensores de campo, é essencial para identificar falhas e viabilizar os ajustes necessários.

2.3. Limitações Operacionais e Cuidados no Uso

Apesar de sua elevada eficiência e tecnologia, o pivô central apresenta limitações que exigem atenção:

- **Formato da Área Irrigada:** Por operar em movimento circular, o

sistema aproveita melhor áreas de formato regular e grandes extensões. Áreas retangulares ou irregulares podem apresentar perdas de eficiência e zonas não irrigadas.

- **Relevo:** Terrenos muito acidentados, com declividades superiores a 3% a 5%, dificultam a operação e comprometem a uniformidade de aplicação.
- **Ventos:** Ventos acima de 5 m s^{-1} durante a irrigação provocam deriva da água e redução da eficiência.
- **Qualidade da Água:** Água com alta carga de sólidos, sais ou contaminantes pode danificar emissores, entupir bocais e acelerar a corrosão dos componentes metálicos.

Cuidados Essenciais para o Bom Desempenho:

- Realizar manutenção preventiva e corretiva, conforme as recomendações do fabricante;
- Monitorar periodicamente a pressão e o desempenho dos emissores;
- Corrigir desalinhamentos das torres e falhas na estrutura;
- Ajustar a lâmina de aplicação conforme as necessidades hídricas da cultura;
- Integrar o sistema a ferramentas de monitoramento remoto e softwares de manejo, otimizando a operação.

O conhecimento técnico sobre o funcionamento do pivô central, aliado ao manejo criterioso da irrigação, é indispensável para garantir a produtividade, a eficiência hídrica e a sustentabilidade econômica das áreas cultivadas com algodão irrigado.

3. Manejo da Irrigação Baseado na FAO 56

O sucesso da irrigação por pivô central no cultivo do algodão depende da aplicação precisa da água, ajustada às reais necessidades da cultura e às condições climáticas locais. O Boletim FAO 56 (Allen *et al.*, 1998) apresenta o método mais utilizado globalmente para o cálculo das demandas hídricas, sendo uma referência essencial para o manejo eficiente da irrigação.

Esse método baseia-se na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) e na aplicação dos coeficientes de cultura (Kc) ao longo do ciclo do algodão, permitindo calcular de forma precisa a evapotranspiração da cultura (ETc) e, consequentemente, definir as lâminas adequadas e o momento ideal para as irrigações.

Figura 3. Teste de uniformidade de distribuição de água de um pivô central (Fonte: Igor Santos)

3.1. Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ETo)

A evapotranspiração de referência (ETo) representa a demanda evaporativa da atmosfera sobre uma superfície de referência composta por gramínea rasteira, bem irrigada e em pleno desenvolvimento vegetativo. Seu cálculo é realizado por meio da equação de Penman-Monteith, recomendada pela FAO 56:

$$\mathbf{ETo = [0{,}408 \times \Delta \times (Rn - G) + \gamma \times (900/(T + 273)) \times u_2 \times (es - ea)] / [\Delta + \gamma \times (1 + 0{,}34 \times u_2)]}$$

Em que:

- **ETo** = Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});
- **Δ** = Inclinação da curva de pressão de saturação de vapor (kPa $°C^{-1}$);
- **Rn** = Radiação líquida na superfície do solo (MJ m^{-2} dia^{-1});
- **G** = Fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1}), frequentemente considerado nulo em bases diárias;
- **γ** = Constante psicrométrica (kPa $°C^{-1}$);
- **T** = Temperatura média do ar (°C);
- $\mathbf{u_2}$ = Velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1});
- **es** = Pressão de saturação de vapor (kPa);
- **ea** = Pressão atual de vapor (kPa).

A obtenção precisa da ETo depende da disponibilidade de dados meteorológicos de qualidade, coletados por estações automáticas confiáveis. Alternativamente, softwares agrícolas especializados e plataformas climáticas regionais também fornecem estimativas diárias de ETo, servindo como ferramentas fundamentais para o manejo diário da irrigação.

3.2. Determinação dos Coeficientes de Cultura (Kc) para o Algodão

O coeficiente de cultura (Kc) adapta a ETo às características específicas do algodão, considerando fatores como a cobertura do solo, o estágio de desenvolvimento vegetativo e a demanda hídrica em cada fase do ciclo. Os valores típicos de Kc para o algodão (Allen *et al.*, 1998) estão apresentados na Tabela 1.

Esses valores, no entanto, podem variar em função do manejo adotado, das condições climáticas locais e das características genéticas da cultivar utilizada. Recomenda-se realizar ajustes regionais com base em monitoramento de campo ou imagens de NDVI.

3.3. Cálculo da Evapotranspiração da Cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) representa a quantidade de água a ser reposta ao solo para suprir as necessidades do algodão:

$$\mathbf{ETc = ETo \times Kc}$$

O acompanhamento diário ou semanal da ETc permite definir a lâmina ideal a ser aplicada pelo pivô central, evitando tanto o déficit hídrico quanto o desperdício de água.

No cultivo do algodão irrigado, especial atenção deve ser dada às fases de florescimento e enchimento de capulho, períodos em que o déficit hídrico reduz drasticamente a produtividade e compromete a qualidade da fibra produzida.

3.4. Estratégias de Irrigação Plena e Deficitária

Irrigação Plena: Consiste em suprir 100% da ETc, mantendo o solo próximo à capacidade de campo. Essa estratégia visa:

- Maximizar o potencial produtivo da cultura;
- Evitar estresses hídricos em fases críticas;
- Preservar o crescimento radicular saudável.

Irrigação Deficitária Controlada (IDC): Consiste na aplicação deliberada de lâminas inferiores à ETc em fases menos sensíveis da cultura, visando:

- Reduzir o consumo de água e energia;
- Induzir respostas fisiológicas benéficas (melhor qualidade da fibra);
- Maximizar o uso da água em regiões de restrição hídrica.

No algodão, a IDC deve ser aplicada com cautela, evitando-se o estresse nas seguintes fases:

- **Germinação e emergência** (0 a 5 dias após o plantio);
- **Florescimento** (início da abertura dos botões florais);
- **Enchimento e maturação dos capulhos**.

A adoção da IDC requer monitoramento rigoroso do solo e da planta, com suporte de dados confiáveis.

3.5. Monitoramento da Umidade do Solo

O monitoramento da umidade do solo é essencial para embasar as decisões de irrigação, evitando o desperdício de água e o estresse hídrico das plantas (Figura 4). As principais ferramentas utilizadas são:

a. **Tensiômetros:** Indicadores diretos da tensão de água no solo, ideais para solos arenosos e para monitoramento em tempo real da zona radicular.

b. **Sensores Capacitivos ou de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR):** Permitem medições precisas da umidade volumétrica do solo em diferentes profundidades, com alta confiabilidade.

c. **Softwares de Manejo e Plataformas Digitais**
   - **Valley Scheduling™**: Plataforma amplamente utilizada em pivôs centrais, integra dados meteorológicos, características do solo e sensores de campo, gerando recomendações automáticas de irrigação, otimizando o uso da água e da energia.
   - **Outros Sistemas Integrados**: Softwares como FieldNET™, Agriness, entre outros, oferecem soluções para automação do manejo, conectividade e monitoramento remoto via dispositivos móveis.

O uso combinado de monitoramento do solo, dados climáticos e softwares inteligentes potencializa o manejo da irrigação, proporcionando economia de água, maior estabilidade produtiva e sustentabilidade ambiental.

3.6. Estratégias de Manejo de Irrigação para Maximizar a Produtividade do Algodoeiro

A maximização da produtividade do algodoeiro irrigado depende de um manejo criterioso da água, respeitando as necessidades da cultura, as características do solo e as particularidades climáticas de cada região. No Oeste da Bahia, onde predomina

Figura 4. Sensor de umidade de solo (Fonte: Igor Santos)

o cultivo tecnificado sob pivô central, são utilizadas estratégias específicas, testadas em campo, que buscam aliar eficiência hídrica, estimular o desenvolvimento radicular e mitigar riscos fitossanitários, especialmente a podridão do baixeiro.

Etapas Estratégicas do Manejo da Irrigação no Algodão Irrigado por Pivô Central

1. **Preparação do Solo – Formação da "Caixa de Água"**
   Quando o plantio ocorre em condições de solo excessivamente seco, comum após veranicos prolongados, realiza-se uma irrigação prévia conhecida como "fazer a caixa". Essa prática consiste em aplicar entre 40 e 60 mm de água, visando umedecer o perfil do solo até, aproximadamente, 40 cm de profundidade. Essa lâmina proporciona condições adequadas para o plantio e a emergência inicial, reduzindo o risco de falhas.
   Nota: Essa prática só é necessária quando o plantio ocorre fora do período chuvoso regular. No cenário ideal, o plantio acontece aproveitando o início das chuvas da estação.
2. **Irrigação de Emergência – Lâmina Mínima para Germinação**
   Após o plantio, aplica-se uma lâmina mínima, regulada para 100% da capacidade no pivô central, suficiente apenas para garantir o nascimento uniforme da cultura, respeitando as características do solo e a profundidade de semeadura.
3. **Estímulo ao Desenvolvimento Radicular – Déficit Controlado no Vegetativo**
   Após a emergência, a irrigação é interrompida por um período inicial, com o objetivo de estimular o aprofundamento do sistema radicular. Esse déficit hídrico controlado promove o desenvolvimento de raízes mais profundas e vigorosas, essenciais para o melhor aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis no perfil do solo.
   Na sequência do ciclo vegetativo:

   – Aumenta-se o turno de rega (intervalo entre irrigações);
   – As lâminas aplicadas são ajustadas conforme o déficit registrado nos sensores de umidade do solo, respeitando o limite inferior de segurança, mas mantendo um déficit intencional, especialmente considerando o suporte hídrico que as chuvas oferecem nesse período.

   Esse manejo estimula o crescimento radicular e prepara a cultura para suportar períodos de alta demanda atmosférica.
4. **Ajuste Progressivo das Lâminas e dos Turnos de Rega**
   À medida que o ciclo avança, o algodoeiro entra em fases de maior demanda hídrica, acompanhando o aumento da evapotranspiração da cultura (ETc). O manejo é ajustado da seguinte forma:

   – **Lâminas mais elevadas:** Conforme indicado pelos sensores de solo (tensiômetros, capacitivos ou TDR), as lâminas podem variar entre 15 e 20 mm por aplicação, ou mais, dependendo da profundidade do sistema radicular e da capacidade de retenção do solo.
   – **Turno de rega maior em solos profundos e com boa fertilidade**, podendo chegar a 5, 7 ou até 10 dias,

otimizando o aproveitamento das chuvas e reduzindo a necessidade de irrigação frequente.
- **Irrigações mais leves e frequentes em solos com alta presença de nematoides**, que limitam o desenvolvimento radicular, exigindo manejo mais conservador para evitar estresse hídrico.

5. **Consórcio do Manejo com a Pulverização e a Operação da Fazenda**
A irrigação precisa ser planejada de forma integrada com o calendário de pulverizações, uma vez que o algodão é uma cultura que demanda aplicações frequentes para o controle de pragas e doenças. O planejamento conjunto evita conflitos operacionais e potencializa a eficiência de todo o sistema produtivo.
6. **Fertirrigação – Integração Nutricional pela Água de Irrigação**
A aplicação de nutrientes, especialmente a ureia, via pivô central, é prática consolidada e recomendada para o algodão irrigado. Essa estratégia:

- Aumenta a eficiência do uso dos fertilizantes;
- Reduz custos operacionais;
- Potencializa o crescimento equilibrado da cultura.

7. **Final de Ciclo – Manejo Hídrico para Qualidade da Fibra e Sanidade do Baixeiro**
Na fase de maturação, é fundamental ajustar o manejo hídrico para evitar problemas como a podridão do baixeiro, que compromete a sanidade das plantas e a produtividade.
As estratégias adotadas são:

- Redução da irrigação até a abertura de três estruturas reprodutivas no bacheiro, respeitando o padrão de abertura em espiral de baixo para cima;
- Após essa abertura inicial, a irrigação pode ser retomada de forma normal, sem comprometer a sanidade do baixeiro;
- Esse manejo contribui para melhorar a qualidade da fibra e reduzir perdas na colheita.

8. **Irrigação Prolongada até o Final do Ciclo, Condicionada ao Controle de Bicudo e Sanidade**
Quando o controle do bicudo está eficiente e o ponteiro da planta apresenta bom desenvolvimento, é viável manter a irrigação até o final do ciclo, o que, para as principais cultivares, ocorre entre 160 e 170 dias após o plantio. Essa estratégia visa maximizar o peso dos capulhos superiores e otimizar o potencial produtivo final da cultura.
Segundo Allen *et al.* (1998), o manejo baseado na evapotranspiração da cultura (ETc), ajustado com Kc específicos por fase fenológica, permite maximizar a eficiência do uso da água, associando-se ao monitoramento em tempo real do solo e do clima. Em condições do cerrado brasileiro, estudos apontam que o manejo deficitário inicial, seguido de lâminas progressivamente ajustadas conforme o desenvolvimento radicular, pode elevar em até 15% o rendimento da cultura em comparação com irrigação excessiva e contínua (Silva *et al.,* 2022).
A fertirrigação nitrogenada, conforme estudos da Embrapa, apresenta eficiência de uso superior a 85% quando realizada via pivô central, com ganhos diretos na produtividade e uniformidade da lavoura (Embrapa, 2021).
O manejo inteligente e regionalizado da irrigação do algodão irrigado por pivô central, como praticado no Oeste da Bahia, associa conhecimento técnico, uso de tecnologia e sensibilidade prática. Esse conjunto de ações permite otimizar o uso da água, estimular o sistema radicular, reduzir perdas, melhorar a sanidade do baixeiro e potencializar o rendimento final da cultura, assegurando a sustentabilidade produtiva do sistema irrigado.

4. Tecnologias de Suporte ao Manejo

O manejo moderno e eficiente da irrigação do algodão irrigado por pivô central exige o uso de ferramentas tecnológicas que auxiliem no monitoramento, planejamento e tomada de decisão. O uso integrado dessas tecnologias aumenta a eficiência do uso da água, reduz custos operacionais e potencializa a produtividade da lavoura.

4.1. Sensoriamento Remoto: Uso de NDVI e Imagens Multiespectrais

O sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélite ou de drones, tornou-se ferramenta indispensável no monitoramento de lavouras irrigadas. Entre os índices mais utilizados destaca-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que permite avaliar, de forma indireta, o vigor e o estado sanitário da cultura.

Vantagens do NDVI no Manejo da Irrigação:

- Identificação precoce de falhas ou estresses hídricos localizados;
- Mapeamento de manchas na lavoura causadas por problemas de irrigação, falhas em emissores ou compactação do solo;
- Apoio no diagnóstico de variabilidade intra-talhão, auxiliando no planejamento de manejos diferenciados por setor do pivô;
- Monitoramento da evolução do desenvolvimento vegetativo ao longo do ciclo.

Além do NDVI, imagens multiespectrais obtidas por drones ou satélites de alta resolução oferecem dados complementares, permitindo:

- Avaliação da homogeneidade da lavoura;
- Detecção de deficiências nutricionais ou estresses não hídricos;
- Planejamento de ações corretivas integradas ao manejo da água.

Empresas como Planet®, Sentinel®, e ferramentas como o Solinftec®, Agroclima® ou plataformas privadas, oferecem soluções integradas de sensoriamento remoto para o algodão irrigado.

4.2. Plataformas Digitais e Softwares para Manejo de Irrigação

O uso de plataformas digitais especializadas permite integrar dados de sensores de solo, informações meteorológicas e parâmetros da cultura para gerar recomendações de irrigação otimizadas.

Exemplos de Softwares Utilizados:

- **Valley Scheduling™:** Plataforma amplamente empregada em pivôs centrais, combina dados de umidade do solo, características da cultura e clima, sugerindo a lâmina ideal e o momento de aplicação, evitando desperdícios ou déficits hídricos.
- **FieldNET Advisor™**: Fornece recomendações de irrigação baseadas em modelagem do solo, clima e desenvolvimento da cultura, integrando dados de sensores e estações meteorológicas.
- **NetBeat™, Agrosmart®**: Outras plataformas que oferecem gestão integrada da irrigação, com alertas, relatórios e visualização remota via dispositivos móveis.

Benefícios das Plataformas de Manejo:

- Redução de custos operacionais e maior eficiência hídrica;
- Monitoramento em tempo real da situação da lavoura;
- Apoio à tomada de decisão com base em dados concretos;
- Integração das necessidades da lavoura com as demandas operacionais da fazenda (pulverizações, fertirrigação etc.).

4.3. Automação de Pivôs e Integração com Telemetria

A automação dos sistemas de irrigação e o uso de telemetria permitem o controle remoto e a operação inteligente dos pivôs centrais, trazendo praticidade e eficiência ao dia a dia das lavouras irrigadas.

Principais Funcionalidades de Sistemas Automatizados:

- Controle remoto dos pivôs via aplicativos ou computadores;
- Programação de lâminas e horários de irrigação por setor;
- Diagnóstico de falhas ou desvios operacionais em tempo real;
- Integração com dados de sensores de solo e clima.

Sistemas de Automação Relevantes no Algodão Irrigado:

- Valley ICON®: Painel inteligente que permite operação remota do pivô, configuração de setores diferenciados e integração com plataformas digitais;
- Sistemas GPS e de alinhamento automatizado, garantindo maior precisão na aplicação;
- Controle de fertirrigação e dosagem de nutrientes via pivô de forma automatizada.

A automação reduz o tempo de resposta em situações críticas, minimiza erros humanos e otimiza o uso de água e energia elétrica.

4.4. Modelagem Climática e Previsão de Demanda Hídrica

O planejamento da irrigação precisa considerar as condições meteorológicas futuras, visando evitar irrigações desnecessárias ou o agravamento de déficits hídricos em períodos críticos.

Ferramentas de Modelagem e Previsão Climática:

- **Agroclima Pro®, Climatempo Agro®, INMET Agroclima**: Plataformas que oferecem previsões de curto, médio e longo prazo, essenciais para o planejamento do manejo hídrico;
- **Modelos Regionais de Previsão (como o GFS, ECMWF)**: Utilizados para estimar tendência de chuvas, ondas de calor ou frentes frias, que impactam diretamente a necessidade de irrigação;
- Integração dessas previsões com softwares de manejo (como Valley Schedulling), otimizando o uso da água.

Vantagens da Modelagem Climática Integrada ao Manejo:

- Redução do número de irrigações desnecessárias;
- Antecipação de estresses hídricos em períodos secos;
- Planejamento estratégico de irrigações antes de pulverizações;
- Melhor aproveitamento das chuvas no período chuvoso.

A tomada de decisão baseada em dados climáticos confiáveis e integrados às condições reais da lavoura é determinante para o sucesso do manejo de irrigação do algodão irrigado por pivô central.

5. Boas Práticas de Manejo em Campo

A eficiência da irrigação por pivô central no cultivo do algodão não depende apenas da tecnologia embarcada, mas, principalmente, da aplicação correta de boas práticas operacionais no dia a dia da fazenda. Essas práticas garantem o uso racional da água e da energia elétrica, aumentam a longevidade dos equipamentos e, sobretudo, asseguram a alta produtividade e sustentabilidade do sistema.

5.1. Agendamento da Irrigação com Base no Balanço Hídrico

O agendamento da irrigação fundamentado no balanço hídrico do solo é uma das práticas mais eficientes para evitar tanto o excesso quanto o déficit de água.

Etapas do Agendamento Eficiente:

- Monitoramento da umidade do solo por meio de tensiômetros ou sensores capacitivos/TDR;
- Cálculo diário ou semanal da evapotranspiração da cultura (ETc), com base na ETo e nos coeficientes de cultura (Kc) da fase atual;
- Consideração das chuvas efetivas no cálculo do déficit hídrico;
- Definição da lâmina a ser aplicada e do turno de rega com base no volume de água que falta para atingir o limite de segurança do solo.

Essa prática evita irrigação em excesso, promove o aprofundamento das raízes e reduz o risco de compactação e encharcamento superficial.

Importante: No período chuvoso, é essencial ajustar o balanço considerando a contribuição das precipitações, evitando irrigação desnecessária e desperdícios.

5.2. Ajustes Operacionais para Aumentar a Eficiência

A eficiência do sistema pivô central depende da manutenção periódica e do ajuste fino dos componentes:

- Verificação constante da uniformidade de aplicação dos emissores;
- Inspeção e substituição de bocais danificados ou desgastados;
- Checagem da pressão de operação ao longo da tubulação;
- Alinhamento correto das torres motorizadas;
- Programação de velocidade e lâmina compatíveis com a demanda hídrica atual da cultura;
- Calibração dos sistemas de automação e monitoramento remoto.

Esses cuidados minimizam perdas por deriva, percolação profunda ou aplicações desuniformes, aumentando a eficiência de uso da água e da energia.

5.3. Prevenção de Perdas e Controle de Salinidade

O manejo inadequado da irrigação pode resultar em perdas significativas por percolação profunda ou em processos de salinização do solo, principalmente em regiões com águas de qualidade inferior ou solos com drenagem deficiente.

Boas Práticas para Controle de Salinidade:

- Monitoramento da condutividade elétrica do solo e da água utilizada;
- Aplicação de lâminas de irrigação compatíveis com a capacidade de retenção do solo, evitando saturação do perfil;
- Planejamento de lixiviações controladas quando necessário, visando empurrar sais para fora da zona radicular;
- Instalação de sistemas de drenagem eficientes em áreas de risco.

A salinização é um processo silencioso, mas cumulativo. O monitoramento preventivo evita perdas de produtividade e degradação do solo.

5.4. Integração da Fertirrigação no Sistema Pivô Central

A fertirrigação via pivô central é uma prática consagrada na cultura do algodão irrigado, trazendo benefícios diretos para o desenvolvimento da lavoura e a eficiência do uso de nutrientes.

Vantagens da Fertirrigação Integrada:

- Fornecimento fracionado e preciso de nutrientes, conforme a demanda fisiológica da planta;
- Redução das perdas por volatilização ou lixiviação;
- Melhor aproveitamento da ureia e outros fertilizantes nitrogenados;
- Operação prática e integrada ao manejo hídrico, sem interferir na logística da fazenda.

Cuidados na Fertirrigação:

- Utilizar fertilizantes de alta solubilidade e compatíveis com o sistema;
- Realizar manutenção e limpeza periódica dos emissores para evitar entupimentos;
- Integrar o calendário de fertirrigação ao planejamento geral da nutrição da cultura.

A fertirrigação bem executada potencializa a produtividade, reduz custos e contribui para um manejo sustentável do sistema irrigado.

A implementação contínua dessas boas práticas no manejo da irrigação garante maior eficiência do sistema, menor impacto ambiental e maior retorno econômico. O algodão irrigado, quando bem conduzido, combina alta tecnologia, gestão precisa e ações de campo alinhadas ao planejamento técnico da fazenda.

6. Considerações Finais

O manejo da água em sistemas irrigados por pivô central, aplicado ao cultivo do algodoeiro no Mato Grosso e no Oeste da Bahia, representa uma das práticas mais estratégicas para garantir a estabilidade produtiva, a qualidade da fibra e a sustentabilidade do sistema agrícola.

Ao longo deste capítulo, foram apresentados os conceitos técnicos e operacionais fundamentais para um manejo eficiente, seguro e integrado da irrigação, destacando:

- A importância do conhecimento da relação solo-água-planta-atmosfera e das características hídricas do solo para embasar a tomada de decisão;
- O uso da metodologia FAO 56, que fornece o caminho técnico para estimar corretamente as necessidades hídricas do algodão ao longo de todo o ciclo, utilizando dados locais e monitoramento de campo;
- Estratégias regionais aplicadas no Oeste da Bahia, como o manejo deficitário controlado no vegetativo, o estímulo ao desenvolvimento radicular, o ajuste progressivo das lâminas e o controle hídrico visando a evitar podridão do bacheiro;
- A integração de tecnologias de sensoriamento remoto (NDVI, multiespectrais), softwares de gestão (Valley Scheduling™, FieldNET™), automação dos pivôs e modelagem climática como suporte decisório para o produtor;
- As boas práticas de campo, incluindo o agendamento eficiente das irrigações, ajustes técnicos dos equipamentos, prevenção de perdas e salinização, e a fertirrigação, que otimiza o uso de nutrientes e eleva o potencial produtivo da lavoura.

O cultivo do algodão irrigado em larga escala, em áreas como o cerrado mato-grossense e baiano, exige não apenas equipamentos modernos, mas um compromisso técnico diário com o uso racional da água. A eficiência, a sustentabilidade ambiental e a rentabilidade do sistema irrigado dependem diretamente da adoção integrada dessas práticas e tecnologias.

Por fim, reforça-se que o sucesso do manejo da água é resultado da soma entre ciência, tecnologia e experiência de campo. As práticas aqui descritas devem ser constantemente ajustadas conforme as condições específicas de cada safra, solo, clima e lavoura.

A irrigação bem manejada transforma o pivô central em um aliado estratégico, capaz de reduzir riscos, potencializar o teto produtivo do algodão e assegurar a competitividade do setor algodoeiro brasileiro no cenário global.

Referências bibliográficas

ALLEN, R.G. et al. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization, 1985. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev. 1).

BELTRÃO, N.E. de M. et al. **Algodão Irrigado: Tecnologias e práticas sustentáveis para altas produtividades**. Brasília: Embrapa, 2019.

EMBRAPA. **Fertirrigação na cultura do algodoeiro: Recomendações técnicas**. Brasília: Embrapa Algodão, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/algodao. Acesso em: 25 jun. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 25 jun. 2025.

PLANET LABS. **Monitoramento Agrícola via Satélite de Alta Resolução**. São Francisco: Planet Labs, 2024. Disponível em: https://www.planet.com. Acesso em: 25 jun. 2025.

SALASSIER, B.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Irrigação: Princípios e Práticas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2020.

SILVA, F.J. da et al. Estratégias de manejo deficitário no algodão irrigado visando otimização do uso da água no cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 16, n. 1, p. 25-39, 2022.

VALMONT INDUSTRIES. **Valley Scheduling™: Plataforma de Manejo de Irrigação. Manual Técnico**. Nebraska: Valmont Industries, 2024. Disponível em: https://www.valleyirrigation.com. Acesso em: 25 jun. 2025.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

PRODUÇÃO DE UMA FIBRA DE QUALIDADE

Cuidar da qualidade da fibra, da sua formação na planta até a comercialização

A qualidade da fibra é predefinida no momento da escolha da variedade e elaborada ao longo do crescimento da planta. Assim, no momento da colheita, todas as operações de colheita e pós colheita visam a preservar a qualidade obtida no campo. Essas operações, para serem realizadas adequadamente, além de conhecimentos e treinamentos, vão requerer o acesso a capital importante, tanto para os equipamentos de colheita como os de beneficiamento.

A qualidade da fibra — e sua valorização financeira — é definida em grande parte em função das exigências da indústria têxtil nacional e internacional. O produtor e os técnicos das fazendas precisam conhecer essas exigências para poder preservar as qualidades da fibra ao longo do processo produtivo e ter noções sobre o sistema de classificação da fibra usado para a comercialização.

Sérgio Gonçalves Dutra
Dutra Projetos Ltda.

Jean-Louis Bélot
IMAmt

CAPÍTULO 6.I

Maximizar a rentabilidade do cultivo algodoeiro, produzindo uma fibra de qualidade e valorizando os coprodutos

Capítulo publicado originalmente na edição de 2014/15, com autoria de Dutra e Belot, abordando os programas de qualidade de Mato Grosso. Foi reescrito com nova orientação pelos mesmos autores na edição de 2019/20 e atualizado em 2025.

Agrupamos, neste capítulo sobre a produção de uma fibra de qualidade, informações sintéticas a respeito da fibra e seu uso pela indústria, boas práticas de colheita e beneficiamento, e valorização de coprodutos da cultura. Essas sínteses visam disponibilizar aos técnicos das fazendas um panorama geral sobre a importância de diversos tratos culturais e operações de transformação sobre a qualidade do algodão e sua valorização comercial.

Porém, caso sejam necessárias informações mais detalhadas a respeito desses temas, as mesmas podem ser encontradas em diversos Manuais e Notas Técnicas editados pelo IMAmt.

- Manual de beneficiamento do algodão (Chanselme, 2025)
- Manual de qualidade da fibra da Ampa (Belot, 2018)

Todo esse material encontra-se disponível para download em https://imamt.org.br/.

Trataremos, rapidamente, das ações que a Ampa vem conduzindo desde os anos 2000 para conscientizar os produtores sobre a importância de produzir fibra de qualidade e a necessidade de aproximar-se da indústria têxtil e de centros de pesquisa internacionais.

Em seguida, abordaremos, de forma muito resumida, a importância da qualidade da fibra para os diversos tipos de indústrias têxteis, a fim de conhecer melhor as necessidades e as dificuldades que elas encontram na fabricação do fio e dos tecidos. Essa compreensão é fundamental para evitar problemas graves durante a comercialização.

Enfim, sintetizamos os manejos da lavoura que incidem significativamente sobre a qualidade, dando abertura para os próximos capítulos, destinados aos manejos adequados de colheita, beneficiamento, estrutura da fibra, classificação e valorização dos coprodutos do algodão.

Figura 1. 1ª Semana da Qualidade, Campo Verde/MT, 2001 (Fonte: Ampa)

1. O programa de qualidade de fibra da Ampa/IMAmt

A Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão (Ampa), desde a sua constituição em 1997, vem

dedicando especial atenção à qualidade da fibra produzida em Mato Grosso e procura atender as necessidades do mercado interno e internacional; já em 2001, foi responsável pela realização da 1ª Semana da Qualidade do Algodão de Mato Grosso (Figura 1).

Com a criação do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), em 2007, novas ferramentas, dados de pesquisa, monitoramento a campo e análises laboratoriais têm sido postos à disposição dos cotonicultores, para garantir a qualidade em todas as etapas da cadeia produtiva do algodão.

Entre 2012 e 2018, a Ampa conduziu, com recursos do Instituto Brasileiro do Algodão (IBA), o **Programa de Qualidade de Fibra do Algodão de Mato Grosso**, que foi gerenciado por Sérgio Dutra e contou com os trabalhos de campo da equipe de pesquisa e dos assessores técnicos regionais (ATRs) do IMAmt.

1.1. Atividades de monitoramento da qualidade e de pesquisa

A partir de então, a cada safra, têm sido coletadas amostras de algodão em caroço, de 20% dos talhões em produção, sendo a representatividade proporcional à participação de cada cultivar em relação à área plantada no Estado.

Essas amostras destinam-se ao monitoramento da qualidade da fibra produzida e têm sido utilizadas para a determinação das características HVI, para a realização de pesquisas em parceria com a Texas Tech University (TTU), principalmente por meio da realização de análises AFIS para ensaios e estudos sobre tingimento, realizados em conjunto com a empresa Santista S.A., bem como para testes interlaboratoriais, utilizando diferentes métodos de detecção de pegajosidade do algodão.

Ademais, esse Programa de Qualidade propiciou o desenvolvimento de novas metodologias para o monitoramento da qualidade a campo, durante a colheita, nas usinas de beneficiamento e nos processos de comercialização.

1.2. Integração com a indústria têxtil

Uma das principais estratégias para garantir a efetividade do Programa de Qualidade tem sido a realização dos **Workshops da Qualidade**.

Desde sua primeira edição, em 22 de março de 2013 (Figura 2), até 2018, o evento anual tem buscado apresentar aos cotonicultores mato-grossenses e aos profissionais de suas empresas as principais necessidades da indústria têxtil brasileira, assim como as do mercado internacional. Essas informações foram obtidas a partir de visitas técnicas nacionais, realizadas aos principais polos brasileiros de produção têxtil, e por meio de missões internacionais aos principais centros de pesquisa que realizam trabalhos relevantes sobre a qualidade da fibra de algodão.

Assim, cada workshop constitui-se em um espaço de integração da cadeia têxtil, no qual os principais fatores que interferem na qualidade do algodão — da escolha da cultivar ao embarque da pluma para os mercados interno e externo — são abordados por diferentes ângulos, a cada ano.

Figura 2. Milton Garbugio, presidente da Ampa, na abertura do 1º Workshop da Qualidade – 2013 (Fonte: Martha Baptista)

O último evento, o 6º Workshop de Qualidade, foi organizado na forma de Jornada da Qualidade em 2018, incluindo visitas a produtores de algodão, palestras e exposições no Centro de Treinamento e Difusão Tecnológica de Rondonópolis.

Outra atividade, também com a finalidade de promover a integração dos cotonicultores com toda a cadeia têxtil, teve início em novembro de 2015, com a **Visita Técnica** à fábrica da Santista S.A., em Americana/SP. As visitas técnicas são complementares aos Workshops da Qualidade e permitem um contato mais próximo entre os profissionais do campo e as diversas modalidades de indústrias têxteis em atividade no país.

A seguir, em maio de 2016, foram realizadas Visitas Técnicas às indústrias têxteis de Santa Catarina (Figura 3).

Figura 3. Visita técnica à Cremer S.A., Blumenau/SC, 11 de maio de 2016 (Fonte: Ampa)

Finalmente, entre 4 e 11 de setembro de 2016, foi realizada Missão Técnica Internacional, com a presença de técnicos e produtores de algodão mato-grossenses, aos Estados Unidos, iniciada com a visita ao Laboratório Fiber and Biopolymer Research Institute (FBRI) da Texas Tech University (TTU), em Lubbock, Texas, onde o grupo foi recebido pelo diretor, Prof. Dr. Eric Hequet (Figura 4).

Figura 4. Grupo da Missão Internacional na Texas Tech University, Lubbock, Texas (Fonte: Ampa)

Foi realizada visita técnica dos cotonicultores mato-grossenses às indústrias têxteis da região Nordeste, nos estados de Sergipe e Ceará, de 28/11 a 01/12/2017 e, posteriormente, visita técnica dos cotonicultores às indústrias têxteis de Minas Gerais, realizada de 27 a 29/11/2018.

Esta breve introdução, que relata algumas das ações do Programa de Qualidade da Fibra de Algodão no Estado de Mato Grosso, busca apresentar ao leitor o vasto universo que está sendo explorado a partir dessa iniciativa inovadora da Ampa, em sintonia com a evolução tecnológica do parque industrial têxtil em todo o mundo, que requer um nível de qualidade cada vez mais elevado por parte dos cotonicultores, sob pena de serem aplicados deságios sobre os valores pagos pela pluma, bem como favorecer a perda de mercado para a fibra sintética.

Interagir com esse segmento amplo e especializado é muito importante. Qualidade exige atuação em todas as etapas da cadeia têxtil, e essas ações técnicas e interações entre produtores e industriais têxteis não podem parar, apesar da interrupção dos Workshops de Qualidade, em 2019.

2. Qualidade de fibra e consequências para a indústria têxtil

A qualidade da fibra — e sua valorização financeira — é definida em grande parte em função das exigências da indústria têxtil nacional e internacional. O produtor e os técnicos das fazendas precisam conhecer essas exigências para convencê-los da importância de preservar as qualidades da fibra ao longo do processo produtivo.

Temos, na sequência deste capítulo, uma matéria sobre a **natureza da fibra e sua classificação comercial**. Porém, precisamos entender melhor a preocupação da indústria em relação à "qualidade", em particular a incidência das diversas características da fibra sobre as etapas de fabricação dos fios e, consequentemente, sobre os processos de tecelagem.

2.1. Os diversos tipos de fiação

Basicamente, temos três tipos principais de fiação:

Fiação de anel: é provavelmente o sistema de fiação mais antigo, que simula os primeiros sistemas de confecção artesanal de um fio: paralelização e torção das fibras para que haja coesão entre elas. Ao longo das décadas, as fiações de anel foram aperfeiçoadas, e as partes mecânicas giram cada vez mais rápido, requerendo, além de comprimento, resistência cada vez maior das fibras.

Fiação de rotor: também chamada de fiação *open-end*, esse tipo de fiação era destinado a produzir fios grossos ou muito grossos. Porém, ao longo do tempo, o maquinário evoluiu, permitindo a produção de fios mais finos e de melhor qualidade.

Fiação air-jet: esse sistema é o mais recente, ainda com pouca participação no parque mundial de fiação, mas vem crescendo ao longo dos anos.

A estrutura do fio é diferente, podendo proporcionar qualidade diferencial aos tecidos que serão confeccionados com esses fios. Para cada tipo de fiação, foi estabelecida pelos industriais a importância/prioridade dos diversos parâmetros de qualidade da fibra sobre a qualidade do fio (Tabela 1) e, portanto, quais são as características da fibra que cada tipo de fiação vai priorizar no momento da compra da matéria-prima.

Tabela 1. Importância de diversos parâmetros de qualidade da fibra em função do tipo de fiação (Fonte: CSIRO, 2009)

Prioridade	Fiação de anel *(ring spinning)*	Fiação de rotor *(open-end)*	Fiação *air-jet*
1	Comprimento	Resistência	Comprimento
2	Resistência	Finura intrínseca	Limpa (sem *trash*)
3	Finura intrínseca	Comprimento	Finura intrínseca
4		Limpa (sem *trash*)	Resistência

É importante saber que uma fiação trabalha sempre com mistura de fardos — geralmente de sessenta a oitenta fardos por linha de abertura — , cuja fibra é retirada de cada um deles em camadas finas (Figura 5). Para o bom funcionamento da fiação, ao longo do tempo, é importante que as misturas de fardos evoluam muito pouco, tomando em conta os parâmetros de colorimetria e as características intrínsecas da fibra (micronaire, comprimento e resistência).

Figura 5. Linha de abertura dentro de uma fiação (Fonte: SLC Agrícola)

O final dos anos 1990 e o início dos anos 2000 marcaram o começo do declínio da indústria têxtil norte-americana e a migração para países como a China e outras partes da Ásia, com custo de mão de obra menor. A tendência foi-se acentuando depois dos anos 2010 até hoje; atualmente, a migração dá-se para países como Vietnã e outros. A industrialização têxtil desses países foi realizada com base principalmente em equipamentos de *fiação de anel*, com poucas indústrias de fio *open-end* (OE), porém de alta velocidade. A fibra exportada para os países asiáticos precisa ter qualidade compatível com esse tipo de fiação de anel.

Porém, os países exportadores de fibra, como os Estados Unidos, e, agora, o Brasil, precisam ficar atentos às evoluções futuras do parque têxtil mundial. A fiação de anel consolidou-se nos países asiático, porém, a evolução do maquinário têxtil é extremamente rápida. Outros sistemas de fiação, como o *air-jet*, que requerem fibras de qualidade diferente, podem, nas próximas décadas, vir a substituir o parque industrial têxtil atual.

Os produtores de algodão do Brasil têm a chance de ter ainda um mercado nacional importante, superior às 650 mil toneladas anuais. Esse mercado é, às vezes, muito mais exigente em termos de qualidade de fibra (produção de fios penteados) do que o mercado internacional, mas é muito diversificado e permite a comercialização de fibra com características muito variadas.

2.2. Incidência da qualidade intrínseca da fibra

De modo geral, os principais critérios de qualidade intrínseca da fibra

podem ter as seguintes consequências para a indústria têxtil:

- **O comprimento da fibra** é fundamental na aparência do fio, mas também interfere em sua resistência. Talvez o fator mais importante para a indústria seja a distribuição da fibra, mais do que o comprimento. O índice de uniformidade (Un) e o índice de fibras curtas (SFI), avaliados pelas HVI, devem respeitar certos padrões. Somente as análises AFIS permitem uma boa avaliação da distribuição do comprimento e da maturidade.
- **A maturidade da fibra**, definida como o grau de depósito de celulose nas paredes secundárias da fibra, é provavelmente o fator que mais influenciará a qualidade. Uma fibra madura produzirá menos fibras curtas durante o descaroçamento e terá resistência individual à ruptura mais elevada. Esse grau de maturidade também incidirá muito durante os processos de tingimento dos fios e dos tecidos.
- **O índice Micronaire** (IM), que caracteriza o complexo finura/maturidade, é de grande importância para os industriais, pois afeta muito a aparência e a tonalidade dos fios e nos tecidos tingidos.
- **Os neps no fio** (neps de maturidade) influem na aparência do tecido acabado, especialmente na absorção do corante durante o processo de tingimento, e este efeito negativo do acabamento dificilmente poderá ser reduzido. Eles elevam os índices de ruptura na fiação e na tecelagem, causando queda na eficiência e aumentando o desperdício e as imperfeições nos fios.

Um dos maiores problemas para a indústria é o barramento (formação de listras no tecido), que é causado por fibra (70%); variação do título do fio (10%); variação da torção (10%); pilosidade (10%). Os barramentos também podem ser causados por variação do micronaire; mistura de algodão de áreas diferentes, mistura de variedades de algodão; e mudanças no ciclo de crescimento da planta. Alto C.V.% do micronaire também ocasiona barramento.

2.3. Incidência das diversas contaminações nos processos têxteis

Além das características intrínsecas da fibra, a indústria precisa receber uma fibra sem contaminações.

- O primeiro elemento é receber os fardos de fibra em bom estado, com lona protetora e arames ou fitas não estourados, não molhados ou apodrecidos. A Figura 6 apresenta exemplos de fardos danificados recebidos na indústria, prejudicando muito o operacional da linha de produção, para utilização dessa fibra (eliminação manual das partes podres, dificuldade de manusear os fardos estourados etc.).

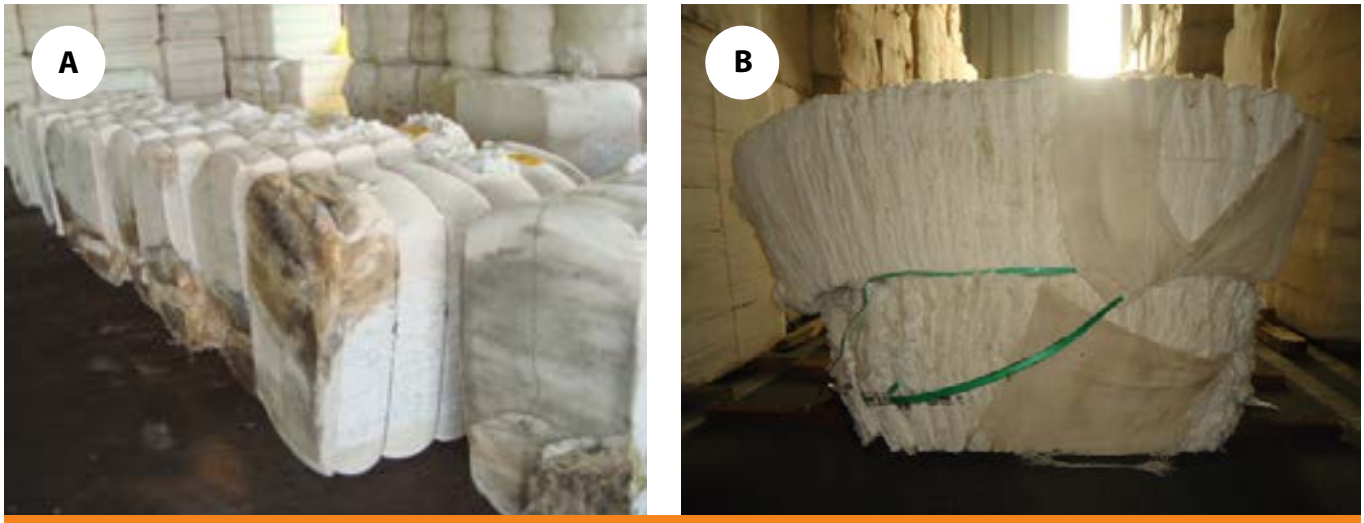


Figura 6. Exemplo de fardos danificados recebidos na indústria (A-apodrecidos; B-arame estourado) (Fonte: Carlos Menegati)

– Contaminantes presentes na fibra podem prejudicar, significativamente, o funcionamento das fiações.

É o caso dos mais diversos objetos encontrados nas linhas de abertura de fiação (Figura 7). Objetos de grande porte não são os mais perigosos, porque são eliminados antes de entrar nos processos de elaboração do fio; outros, de natureza diferente, podem atrapalhar os processos de fiação ou reduzir a qualidade dos fios. É o caso dos pedaços de plástico (de diversas cores) provenientes das lonas usadas na confecção dos fardos cilíndricos de algodão em caroço (Figura 8), que podem fragmentar-se e ser incorporados ao fio e aos tecidos, criando imperfeições visíveis após o tingimento e significativa depreciação do produto final.

Figura 7. Contaminantes diversos encontrados nas linhas de abertura de fiação (Fonte: Trützschler)

Figura 8. Lonas de plástico entrando no processo de beneficiamento, provocando contaminação ulterior da fibra (Fonte: Cooperbem)

A presença de açúcar de origem entomológica (pulgões ou mosca- brancas), quando detectada, pode provocar a rejeição da carga de fibra por parte de algumas indústrias (Figura 9). Esses açúcares podem atrapalhar muito o funcionamento da fiação, provocando enrolamentos de fibras nas cardas ou depósitos pegajosos em diversas partes rolantes e aquecidas do maquinário têxtil. Sem falar da degradação da qualidade dos fios produzidos, por conta do aumento na desuniformidade.

Figura 9. Açúcar entomológico depositado em cima da fibra, com início de desenvolvimento de fumagina (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Outros contaminantes que podem incidir, significativamente, sobre a qualidade dos fios e tecidos produzidos são os *barks*, pedaços de casca de caule, ou de ramos da planta de algodão, ou os *seed coat fragments* (SCF), pedaços de casca de sementes grudados à fibra (Figura 10).

Figura 10. Contaminações por *bark* (A) e SCF (B) (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Recentemente, a indústria tem reclamado de problemas em diversas etapas da fiação, como enrolamentos e depósitos de contaminantes nos rotores, em decorrência da contaminação da fibra por "farelo" da amêndoa do caroço de algodão (Figura 11). Trata-se de um tipo de "pegajosidade" de origem não entomológica, que não é possível detectar com os equipamentos tipo "thermodetector". Esse tipo de problema ocorre em algumas variedades com sementes de tegumentos muito frágeis, que quebram durante os processos de colheita e beneficiamento, liberando de um lado SCF na fibra, e de outro lado contaminando-a com substancias oleosas.

Em resumo, a presença de impurezas e/ou contaminantes nas fibras afeta diretamente o funcionamento e o rendimento das fiações, aumentando o índice de imperfeições no fio produzido. O custo decorrente da presença desses contaminantes pode ser extremamente alto para as fiações.

Figura 11. Enrolamentos e depósitos em rotor devido a contaminação da fibra com "farelo" de amêndoa do caroço de algodão (Fonte: Textil União)

2.4. Definição do potencial de qualidade

O potencial de qualidade da fibra é definido a campo, antes da colheita. Todas as operações de colheita e pós-colheita (beneficiamento, armazenamento da fibra e transporte até a indústria) podem, no máximo, manter esse potencial, mas, geralmente, reduzem a sua qualidade. Daí a importância de ter produzido, a campo, uma fibra de qualidade máxima.

Dentro das diversas etapas de manejo da lavoura, a definição da variedade é a operação que terá maior repercussão sobre a qualidade da fibra obtida. Para cada condição edafoclimática, existem informações para que o produtor possa escolher a variedade de melhor equilíbrio entre produtividade e qualidade de fibra. Porém, uma vez escolhida a variedade, ela precisará ser posicionada segundo as recomendações dos obtentores (datas de plantio, população de plantas etc.) , a fim de poder expressar seu potencial de qualidade.

Ao longo do ciclo da cultura, todas as falhas de manejo incidentes sobre a nutrição da planta poderão afetar a qualidade da fibra. Extrema atenção

deve ser dada ao controle de pragas e doenças, ao manejo da altura de plantas e à época de desfolha. Definir a melhor época para realizar o corte fisiológico da planta ("cut- out") é, provavelmente, a decisão mais importante visando à qualidade da produção, a fim de reduzir a quantidade de capulhos do ponteiro, com fibras imaturas. Produzir uma fibra imatura acarretará muitos problemas de qualidade, com possibilidade de gerar muitas fibras curtas durante o descaroçamento e complicações importantes durante as operações de fiação e tingimento.

3. O novo ciclo de eventos de Qualidade de Fibra de Mato Grosso

Em 2025, uma ação coletiva coordenada pela AMPA e pelo IMAmt com apoio da ABRAPA, foi iniciada visando alcançar resultados significativos nessa temática da qualidade de fibra, pois alguns problemas pontuais (como pegajosidade advinda de açúcares entomológicos e resíduos de plástico, por exemplo) ou situações mais complexas, como fibras curtas e fragmentos de casca, podem ter reflexos graves sobre a imagem da fibra brasileira.

Foram retomados os eventos de qualidade da fibra (Figura 12), abrangendo todas as etapas e atores da cadeia produtiva do algodão, desde a semente, passando pelo manejo da cultura, a colheita e o beneficiamento. As atividades foram realizadas nos dias 26 e 27/05 (Cuiabá-MT), 17/06 (Campo Verde-MT), 24/06 (Sorriso-MT) e 26/06 (Campo Novo do Parecis-MT).

Figura 12. Evento de qualidade de fibra de Sorriso (Fonte: IMAmt)

A seguir, uma síntese dos temas apresentados e debatidos nesses eventos em Mato Grosso, destacando a significativa participação dos cotonicultores e suas equipes técnicas, gestores da área agrícola, das usinas de beneficiamento e da área comercial.

1. Pegajosidade na Fibra de Algodão
Origens dos açúcares na fibra

- Fisiológica: Produção natural de sacarose, glicose e frutose pela planta; porém, esses açúcares não são pegajosos.
- Entomológica: Secreções de insetos, como mosca branca e pulgões, principalmente com o açúcar trehalulose; tendo um ponto de fusão muito baixo, esse açúcar torna-se pegajoso durante alguns processos da fiação.

Efeitos

- Não afeta características intrínsecas (comprimento, resistência etc.), mas sim a qualidade extrínseca.
- Compromete o funcionamento da fiação e a sua produtividade (aderência nos rolos, quebra do processo).
- Compromete a qualidade do fio produzido.

Medição na fibra

- Métodos mais confiáveis: termomecânicos, como H2SD e CONTEST S, usados por instituições como Senai, Agopa e Unicotton.
- Não há método 100% confiável; a correlação entre testes e problemas práticos é complexa.

Controle

- Realizar um controle efetivo das pragas de final de ciclo, mosca branca e pulgões.
- Uso de inseticidas eficientes, alternando os princípios ativos.
- Estratégias: controle antecipado, uso de produtos biológicos, aplicação correta dos inseticidas, junto com óleo, e realizar a desfolha no tempo certo.

2. Contaminação por Plásticos
Origem

- Fragmentos de lonas plásticas usadas para envolver módulos de algodão.
- Também pode ocorrer pela presença de qualquer plástico deixado no campo.

Impactos

- É um dos principais fatores de reclamação internacional do algodão brasileiro.
- Prejudica a qualidade visual/física do produto têxtil.

Mitigação

- Uso de lonas certificadas (diversas marcas como TamaWrap®, Cotton Wrap etc.).
- Enlonamento perfeito, cuidando dos módulos RMB das colheitadeiras, avaliação constante das correias, calibração de equipamentos.
- Manuseio cuidadoso dos rolos, manutenção de ponteiras dos "spears".
- Cuidados na abertura dos rolos na algodoeira, e monitoramento de eventuais contaminações.

Tecnologias em desenvolvimento

- Sistemas de detecção automática de plástico, como PIDES e monitoramento por vídeo.
- Separação e segregação de fardos contaminados.

Comparativo com EUA

- O Brasil apresenta 4 vezes mais contaminação por plástico do que os Estados Unidos (em amostras analisadas).
- Alta qualidade nas propriedades intrínsecas, como Micronaire, Comprimento (UHML), Resistência (STR).
- Contudo, a contaminação extrínseca permanece como gargalo, reduzindo o valor do produto.

Considerações Finais

- A pegajosidade e o plástico são desafios que podem ser superados mais rapidamente, visando manter a competitividade do algodão brasileiro.
- A solução exige tecnologia, treinamento, integração entre os elos da cadeia e fiscalização.
- É necessária ação conjunta de produtores, beneficiadores e indústria têxtil para mitigar perdas e elevar a qualidade percebida no mercado nacional e internacional.

3. Conteúdo em Fibras Curtas (Short Fiber Content - SFC)
Origem e Impacto

- O SFC é a porcentagem de fibras com comprimento igual ou inferior a ½ polegada.
- A presença excessiva de fibras curtas reduz a eficiência da produção e causa prejuízos comerciais: fios irregulares, perda de rendimento e contaminação do produto final.

Fatores envolvidos
Genética (Variedades)
- Algumas cultivares geram mais fibras curtas que outras.
- Diferença de até 4–5% de SFC entre variedades.

Ambiente (Clima e Manejo)
- Condições ambientais adversas (estresse hídrico, nutricional e térmico) podem aumentar o SFC em até 10%.
- A interação genótipo x ambiente é altamente significativa.

Beneficiamento
- Máquinas de alto impacto mecânico (serras rotativas) causam quebra de fibras.
- O beneficiamento mal ajustado pode aumentar SFC em até 6%.

Mitigação
- Escolha de variedades com menor potencial de geração de SFC.
- Manejo adequado da planta (adubação equilibrada, controle de estresse, corte fisiológico adequado).
- Gestão de umidade durante o beneficiamento.
- Regulagens de maquinário das unidades de beneficiamento (UBAs) (limpadores, serras do descaroçador, carga).

4. Fragmentos de Casca (Seed Coat Fragments - SCF)
Origem e Impacto
- Partículas do tegumento da semente que se desprendem durante a colheita e beneficiamento.
- Geram contaminação da fibra, pegajosidade não entomológica e afetam tanto a fiação quanto a extração de óleo e torta.
- Fragmentos não são detectados por sistemas convencionais (ex.: HVI), o que dificulta o controle.

Fatores envolvidos
Genética
- Variedades com casca mais frágil geram mais SCF.
- Diferença de até +18,8 fragmentos/g (no AFIS) entre variedades.
- A seleção genética deve considerar resistência do tegumento.

Ambiente
- Estresses abióticos (água, temperatura, radiação UV) alteram a estrutura da casca, aumentando a quebra.
- Pode gerar +32 fragmentos/g (no AFIS).

Beneficiamento
- Alta velocidade e pressão mecânica quebram as cascas.
- Beneficiamento mal regulado pode aumentar SCF em +14 fragmentos/g (no AFIS).

Mitigação
- Uso de variedades com tegumento mais resistente.
- Manejo para reduzir estresses que enfraquecem a casca.
- Armazenamento dos rolos de maneira a não molhar o algodão em caroço, pois a exposição à umidade aumenta a fragilidade da casca.
- Ajuste e manutenção de máquinas na UBA (carga, velocidade, umidade, regulagem das serras).

Percepção das Fiações Internacionais
- Principais problemas: alto índice de fibras curtas, variações na qualidade, pegajosidade e presença de fragmentos de casca e plásticos.
- Reforça a necessidade de melhoria contínua e padronização do beneficiamento e do manejo agronômico.

Alguns painéis dos eventos regionais de Campo Verde, Sorriso e Campo Novo do Parecis trataram de mostrar a importância de alguns manejos, desde a escolha da variedade, passando pelo manejo a campo, colheita, beneficiamento até a expedição dos fardos para as indústrias — não unicamente em relação a esses 4 temas específicos, porém sobre outros aspectos de qualidade.

Foi reforçada a necessidade de uma aproximação entre a algodoeira e o campo, a fim de poder degradar o menos que possível a matéria-prima entrando na indústria. Muitas soluções

existem para mitigar alguns problemas de qualidade identificados na fibra produzida no Brasil.

É necessário quantificar melhor, financeiramente, as perdas ocasionadas por alguns manejos inadequados e relacioná-las aos eventuais investimentos (em treinamentos, equipamentos, implementação de processos etc.) para poder convencer os produtores a implementarem essas medidas.

Finalmente, ainda são válidas as treze diretrizes definidas em meados de 2011, e difundidas pela Ampa no intuito de garantir a qualidade do algodão produzido no Estado de Mato Grosso.

Diretrizes para produzir uma fibra de qualidade (Ampa)

1. Avaliar, em todos os sentidos, a área a ser plantada, levando em conta as condições edafoclimáticas, a capacidade da equipe, a infraestrutura, o maquinário e os implementos disponíveis, do plantio à entrega dos fardos beneficiados;
2. Certificar-se de que toda mão de obra envolvida na cadeia produtiva do algodão receba treinamento adequado para cada etapa do ciclo de produção, do plantio ao beneficiamento;
3. Utilizar sementes com alto grau de pureza e qualidade, seguindo as recomendações técnicas do obtentor para a época de plantio e manejo;
4. Manejar adequadamente todas as pragas da cultura do algodoeiro, principalmente as que interferem diretamente na qualidade extrínseca da fibra, como pulgão, mosca-branca, lagartas, percevejos sugadores, entre outros;
5. Controlar adequadamente as doenças do algodoeiro, principalmente as que causam desfolha precoce, interferindo diretamente na qualidade intrínseca da fibra;
6. Combater rigorosamente todos os tipos de plantas daninhas, visando manter até a época da colheita a lavoura limpa, a fim de evitar contaminação da pluma;
7. Em caso do uso de desfolhantes e maturadores, seguir rigorosamente as recomendações técnicas, para não interferir na qualidade da fibra;
8. Revisar adequadamente todos os equipamentos a serem utilizados na colheita; aferir as regulagens dos equipamentos e a limpeza destes ao longo dos dias de colheita;
9. Colher separadamente variedades e talhões com umidade adequada, identificando-os de forma correta, a fim de evitar a desuniformidade dos lotes;
10. Preparar adequadamente a formação dos módulos, de forma que tenham contaminação mínima de fundo, controlando a temperatura e a umidade, mantendo-os devidamente protegidos de precipitações e poeiras;
11. Planejar e administrar a recepção, o armazenamento e o manejo dos módulos no pátio da usina, a fim de evitar mistura de algodão, contaminações de poeira e problemas de umidade;
12. Realizar a manutenção preventiva e periódica das algodoeiras, de modo que o processo de beneficiamento seja adequado à redução dos diferentes tipos de impurezas presentes no algodão;
13. Enviar as amostras para análise de características HVI para laboratórios idôneos e com tradição de resultados provados.

Referências bibliográficas

CHANSELME, J-L. **Manual de Beneficiamento do Algodão**. Editor Técnico. 2nda Ed. IMAmt/AMPA (Edt), Cuiabá-MT. 401pp. 2025.

BELOT, J-L. **Manual de Qualidade da Fibra da AMPA**. Editor Técnico. IMAmt/ AMPA (Edt), Cuiabá-MT. 342pp. 2018.

Renildo Mion
UFMT

Jean-Louis Bélot
IMAmt

Tiago Oliveira
SLC Agrícola

CAPÍTULO 6.2

Uso adequado das colheitadeiras

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 por Ribeiro, Cruz e Belot. Reescrito na edição de 2014/15 por Mion, Belot, Baraviera e Aguero, foi posteriormente atualizado em 2019/20 por Mion e Belot. Nesta edição de 2025, o capítulo recebe novas atualizações realizadas por Mion, Belot e Oliveira.

Figura 1. Máquina JD 7760 (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Figura 2. Tambor de colheita do tipo "picker" de fusos, sem as tampas laterais (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Em Mato Grosso, toda a produção de algodão é colhida mecanicamente com máquinas de tipo "picker", em sua maioria máquinas de "rolinho" da John Deere, de diversos modelos: JD 7760, CP690 e CP770 (Figura 1).

O modo de operar as diversas máquinas, sua manutenção e regulagem são de importância fundamental para a preservação da qualidade da fibra.

1. Plataformas de colheita do tipo "picker"

O princípio de funcionamento é o seguinte: a pluma de algodão da linha vem de encontro à unidade e, quando o algodão entra em contato com os fusos recolhedores, as placas laterais passam a pressionar a planta sobre as barras de grade (costelas), que geram uma divisão no fluxo de algodão. Os tambores são equipados com barras de fusos articulados (Figura 2) que, com movimentos de rotação, extraem o algodão dos capulhos com o mínimo possível de impurezas.

Dependendo do modelo da máquina, as barras podem conter entre dezoito e vinte fusos. Depois de enrolar o algodão, por meio de um sistema de pista (trilho ou came), as barras deslocam os fusos até o eixo desfibrador. O desfibrador, de alta rotação, faz o giro anti-horário de 180 graus sobre o fuso, retirando a maior parte do algodão, mas ainda permanecem minúsculos restos de fibrilha, que são removidos pelas escovas (sistema umidificador). No sistema em linha, os tambores giram no sentido anti-horário e o fuso, no sentido horário.

Após esse processo, o algodão é transportado por dutos por sucção, gerada por uma corrente de ar criada pelo ventilador do sistema de ar.

2. Principais recomendações para uma colheita de qualidade

Para realizar uma colheita de qualidade, é necessário respeitar várias recomendações, desde o manejo da lavoura até as operações de colheita.

2.1. Preparo da lavoura para a colheita

A escolha da variedade pode influenciar na qualidade da colheita. Características como pilosidade das folhas, tamanho das brácteas ou aderência do algodão ao capulho podem afetar tanto a carga de impurezas do algodão quanto a eficiência da colheita e a porcentagem de perdas.

Como comentado nos capítulos anteriores deste manual, o manejo da altura das plantas, a lavoura limpa — sem plantas daninhas — e a desfolha adequada têm papel importante na qualidade da colheita (Figura 3). É importante ressaltar ainda que a contaminação do algodão por picão-preto ou sementes de outras plantas daninhas pode gerar descontos significativos no momento da comercialização.

2.2. Manutenção das máquinas

Grandes problemas de falhas prematuras e de baixo desempenho poderiam ser evitados se os encarregados pelo maquinário optassem por fazer o uso correto dos manuais técnicos dos equipamentos. Esses manuais apresentam particularidades como especificações de lubrificantes, produtos nocivos à pintura, chapas metálicas ou plásticas, bem como a maneira correta de limpeza e manutenção da eletrônica embarcada, cada vez mais presente nos equipamentos agrícolas. Constam neles ainda informações sobre a frequência das manutenções e os consumos de combustível e água/detergente para o sistema umidificador, entre vários outros detalhes.

2.3. Regulagens gerais das máquinas

Muitas informações e figuras foram extraídas dos manuais da John Deere.

Após a manutenção básica diária da máquina, como lubrificação e abastecimento, começa a verificação técnica dos mecanismos operacionais da colhedora de algodão. Lembrando que, nos modelos mais novos, o sistema de lubrificação das unidades atua de forma automática, ocorrendo a lubrificação em plena colheita.

Devem ser verificadas as unidades de colheita (tambores), dutos de saída e tubos de elevação, turbinas de ar, pentes de limpeza e telas do cesto, sistema de descarregamento e proteção contra incêndio. A calibragem correta dos pneus garantirá que a estabilidade da máquina e a altura de colheita nas linhas de extremidade se mantenham, principalmente em máquinas montadas para colher em espaçamentos largos.

Nas máquinas stripper de rolinhos, além dos cuidados com os tambores de colheita, são necessários

Figura 3. Lavoura em Sapezal/MT, adequadamente preparada para a colheita (Fonte: Jean-Louis Bélot)

também cuidados especiais em relação ao sistema de confecção dos rolinhos, o RMB (Round Module Builder), que requer manutenção e atenção específicas diárias, principalmente para mitigar os riscos de contaminação pelas lonas de plástico usadas.

2.3.1. Recomendações gerais de regulagem dos tambores

As unidades de uma colhedora de algodão devem ser inclinadas para facilitar a retirada do algodão dos capulhos do baixeiro da planta. A parte inferior da unidade deve estar a aproximadamente 25 mm acima da superfície do solo; a adequação dessa inclinação deve-se ao fato de a ocorrência de um ligeiro movimento vertical relativo entre a entrada e a saída das plantas colhidas. Essa inclinação proporciona alinhamentos diferentes dos eixos dos fusos dos tambores dianteiros e traseiros, fazendo com que entrem em contato com todas as alturas das plantas, o que acarreta maior eficiência na colheita, além de permitir um alívio na carga de lixo na parte traseira, reduzindo o acúmulo de folhas e restos vegetais.

O tambor dianteiro deve colher 19 mm mais baixo que o traseiro. Ele já vem ajustado de fábrica nessa medida, que é de 584 mm de centro a centro do pino; a medida deve ser ajustada no campo, principalmente quando a colheita for feita em solos macios.

2.3.2. Recomendações gerais de regulagem dos RMB

Nos últimos anos, a maioria das colhedoras de cesto de Mato Grosso foi substituída por máquinas de rolinhos (JD 7760, CP690 e CP770). Nessas máquinas, o módulo de confecção do rolinho de algodão em caroço (RMB) (Figura 4), que é recoberto de uma lona de plástico, necessita de manutenção especial. Recomenda-se consultar os manuais de manutenção do fabricante.

Esse sistema exige cuidados especiais para verificar o nível de desgaste das correias e as emendas, a posição dos "dedos", etc., além das limpezas diárias, a fim de evitar o acúmulo de sujeira em algumas partes. Esses cuidados são muito importantes para mitigar os riscos de contaminação do algodão pelos plásticos das lonas.

2.3.3. Recomendações complementares

Alguns cuidados são necessários também em relação a:

- **Dutos de saída e tubos de limpeza:** devem estar livres de graxa e restos de plantas para evitar o embuchamento. Devem também estar bem fixados, pois esse sistema trabalha a vácuo, o que garante a sucção do algodão na primeira porção,

Figura 4. Módulo de confecção dos rolinhos – "RMB" (Fonte: John Deere)

evitando o desgaste excessivo dos desfibradores e os embuchamentos.

- **Turbinas de ar:** Verificar a tensão das correias e a lubrificação das turbinas, conforme o manual da máquina.
- **Pentes de limpeza e telas do cesto:** Os pentes de limpeza são, juntamente com as telas, responsáveis pela limpeza do algodão já colhido. É importante regulá-los para que o algodão percorra o máximo possível da área de limpeza oferecida pelos pentes.
- **Sistema de descarregamento e proteção contra incêndio:** A tensão das correntes descarregadoras deve ser verificada para garantir que elas não saiam das guias. Também deve ser verificado o sistema de proteção contra incêndio.

2.4. Regulagens específicas e manutenção diária

2.4.1. Placas de pressão

As placas de pressão ("grelhas") devem pressionar os capulhos e o algodão aberto contra os fusos. Elas devem ter a capacidade de afastar-se e proteger os fusos dos danos causados pelos grandes volumes de plantas, talos de grande diâmetro ou pedras que passam por cada unidade de linha. As placas são articuladas e apoiadas por molas ajustáveis, e o aperto dos eixos das molas de retenção aumenta a pressão aplicada na placa. Em algumas condições, há necessidade de colocação de placas de raspagem na parte interna da placa de pressão, promovendo um contato mais agressivo dos capulhos na entrada e saída das plantas.

As condições de cultivo do algodão variam nas diferentes regiões do Estado de Mato Grosso. As plantas de algodão cultivadas em condições secas tendem a ser mais curtas e largas, com a maior parte da produção concentrada na parte inferior, até 0,50 m. Às vezes, a passagem de grande volume de algodão concentrado no meio das unidades faz com que aumentem as perdas a campo. As recomendações gerais são, inicialmente, manter as placas de pressão mais soltas e, depois, apertá-las o necessário para melhorar a eficiência da colheita (Figura 5).

Se a lavoura apresentar maturação homogênea, a regulagem da pressão das placas compressoras deve ser feita de forma que estas retirem o máximo de plumas, sem atacar mecanicamente a planta, pois, assim, ela soltará galhos e restos de capulhos, diminuindo a qualidade do produto. Se as placas estiverem com uma pressão muito alta, elas podem derrubar os capulhos ainda com as plumas, aumentando as perdas antes da colheita. Como os rotores dianteiros colhem, em média, 75% do algodão, um operador prudente regula as placas traseiras sempre um pouco mais apertadas, pois a planta chega mais "magra" aos rotores traseiros.

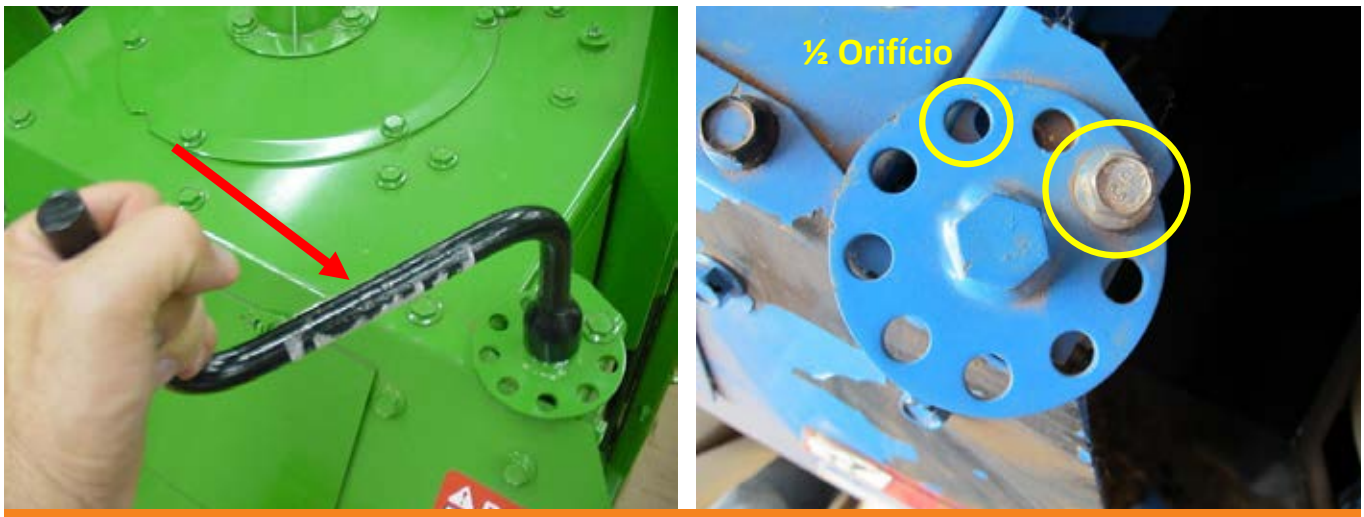


Figura 5. Regulagem das placas de pressão* (Fonte: John Deere e Jean-Louis Bélot)

*As regulagens das placas de pressão são de dois furos na frente e três furos atrás para a primeira apanha. Uma vez que aproximadamente 75% do algodão é colhido no tambor dianteiro, deve-se manter maior pressão atrás. Para o algodão muito adensado, recomenda-se iniciar com uma pressão menor, ou seja, 1,5 orifício na frente e dois atrás. Caso seja necessário, deve-se aumentar em incrementos de 1/2 orifício, iniciando-se pelo tambor traseiro.

Folga entre a placa de pressão e o fuso

A folga entre os fusos e as placas de pressão deve ser de 3 a 6 mm (Figura 6). Recomenda-se deixar em torno de 4 mm. Caso esse espaço seja menor que o especificado, os fusos podem tocar nas placas, gerando fagulhas e aumentando o risco de incêndio no algodão em caroço colhido.

Quanto maior for a pressão da placa dianteira, maior será a eficiência na retirada da pluma; porém maior será também a presença de galhos e impurezas (casquinhas e folhas) no algodão colhido. Por isso, é necessário regular a placa de acordo com as características da variedade, da produtividade e da altura da cultura, de forma a reduzir as perdas quantitativas e qualitativas do algodão.

Colhedoras de algodão modelos 7760, CP690 e CP770

Essas máquinas possuem um kit opcional de grelhas para minimizar as perdas em lavouras de baixa produtividade (Figura 7). Recomenda-se que, com produtividade acima de 200@/ha de algodão em caroço, sejam utilizadas as grelhas somente no tambor dianteiro; já com produtividades abaixo de 200@/ha, o kit deve ser instalado nos dois tambores dianteiro e traseiro, conseguindo-se, desta forma, minimizar as perdas em até 20%.

Observação: após a montagem das grelhas, deve-se realizar uma nova regulagem da pressão das placas, considerando o procedimento de distanciamento entre o fuso e a placa.

Nos modelos CP770, a partir de 2025, o sistema de pressão das placas atua de forma automática, por meio de comando eletrônico dentro da cabine pelo operador, dispensando o uso da manivela utilizada nos modelos anteriores.

2.4.2. Desfibradores

A função dos desfibradores é a de remover o algodão em caroço dos fusos, por meio de desenrolamento, limpando-os e direcionando-os à extremidade do eixo. A velocidade da superfície do pente é muitas vezes mais rápida do que a da superfície de rotação do eixo.

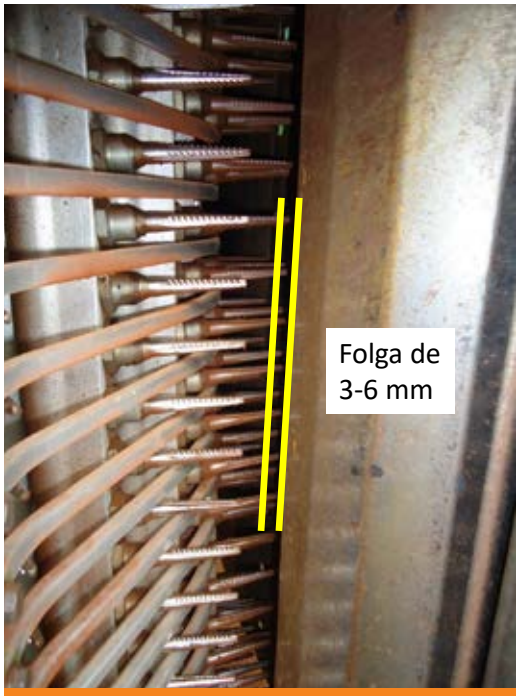


Figura 6. Regulagem da folga entre os fusos e a placa de pressão (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Figura 7. Kit de grelhas (Fonte: Tiago Oliveira, 2025)

Os desfibradores devem manter uma distância de aproximadamente 1 mm em relação ao fuso (Figura 8) e, quando estiverem desgastados, a coluna deve ser retirada e levada para ser lixada em uma bancada especial.

2.4.3. Ajuste de barra de grade (costelas)

Após a revisão, deve-se sempre verificar a distância das costelas em relação ao fuso (Figura 9), pois qualquer atrito pode resultar no início de um incêndio. Elas podem ser reguladas soltando-se os parafusos laterais, com o uso de uma chave de 15 mm.

Os fusos trabalham em conjunto com as costelas para executar a limpeza centrífuga, muito semelhante ao processo de um descaroçador de algodão. Essas recomendações são úteis para manter uma boa colheita:

- As costelas mal espaçadas, danificadas ou soltas podem entrar em contato com os fusos, contribuindo para aumentar o desgaste e provocar incêndios;
- A ausência de costela(s) permite a passagem de galhos, folhas e outros contaminantes no momento da colheita, resultando em algodão sujo;
- Inspecionar os suportes e os parafusos nas extremidades das costelas quanto ao desgaste e, caso seja necessário, providenciar a substituição.

2.4.4. Levantadores de baixeiro (guia de plantas)

Os levantadores de plantas devem flutuar de acordo com o relevo da superfície do solo, guiando suavemente os capulhos abertos da parte inferior da planta até a unidade. Eles precisam estar regulados a uma altura de 25 mm da superfície do solo; entretanto, o operador deve ficar atento à presença de impurezas. Não se recomenda instalar esses levantadores quando a carga da planta for suficientemente alta.

2.4.5. Ajuste da altura da coluna umidificadora

O objetivo do sistema de umedecimento do fuso é promover a limpeza constante sobre os eixos, removendo gomas e resinas das plantas. Tal procedimento ajuda a manter os fusos agressivos e torna mais fácil a retirada da pluma. A solução remove os resíduos de plantas e de pluma, além de realizar a limpeza do fuso. É essencial que a solução de limpeza tenha a concentração correta para garantir o bom funcionamento do equipamento.

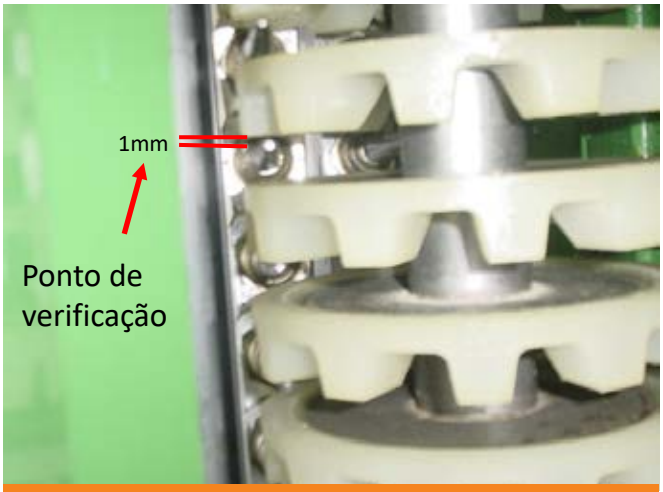


Figura 8. Ajustes entre fusos e desfibradores (Fonte: Jean-Louis Bélot)

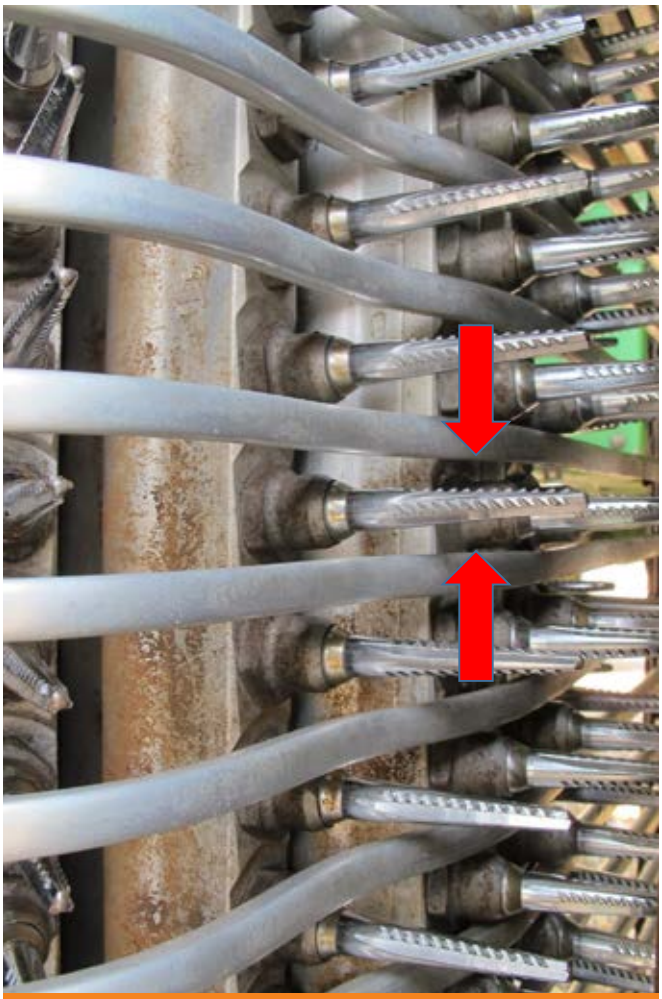


Figura 9. Posicionamento dos fusos entre as barras (Fonte: Jean-Louis Bélot)

As escovas da coluna umidificadora devem tocar nos fusos (Figura 10); deve haver uma pequena flexão, pois elas devem tocar tanto nos fusos superiores quanto nos inferiores.

Quando remover as escovas? As escovas devem ser substituídas quando estiverem com as cerdas rasgadas ou desgastadas. Para um ótimo desempenho, elas devem estar reguladas corretamente e com os orifícios de fluxo da água desobstruídos.

É importante salientar que certas regulagens devem ser conferidas ao longo do dia, principalmente em função das condições dos talhões colhidos. Mudanças nas regulagens (fusos-placas ou fusos-barras) podem ser a origem de incêndios nas máquinas.

2.5. Fusos

Os fusos são responsáveis pela retirada da pluma de algodão do capulho. Há tendência de que os fusos da parte inferior do tambor sofram mais desgaste do que os da parte superior, pelo fato de estarem mais próximos do solo, o que faz com que apresentem desgastes diferentes nas barras, conforme as características de cultivo.

Os desgastes dos fusos podem reduzir a eficiência da colheita; quando identificados, é necessária a substituição imediata do fuso, principalmente quando estiver quebrado ou com as farpas arredondadas ou danificadas — aproximadamente 10%. Em caso de dúvida, deve-se girar o fuso na palma da mão: se estiver em boas condições, ele vai penetrar na pele.

2.6. Ajuste do controle de altura da unidade

Regular o controle de altura de acordo com a altura do algodão no pé. As sapatas devem tocar o solo, e não ará-lo. Ao ajustar o controle de altura, quanto mais comprimida for a mola, mais alta será feita a colheita. Há um limite de compressão da mola que, quando ultrapassado, faz com que a resposta do sistema se torne muito lenta. Recomenda-se ajustar a altura com a máquina no campo, pois, nessas circunstâncias, o óleo estará quente e o sistema responderá mais rapidamente. Deve-se ajustar as mesmas dimensões em todas as válvulas.

2.7. Sensor de monitoramento da porta

O fluxo de algodão dentro das unidades de colheita é monitorado por um sensor localizado próximo aos desfibradores, que envia um sinal ao painel da máquina, alertando o operador sobre possíveis problemas no fluxo de algodão.

3. Condições de umidade durante a colheita

A colheita deve ser realizada nas melhores condições de umidade possíveis, a fim de evitar a deterioração do potencial de qualidade da fibra obtida em campo. No momento da colheita, é comum que as fazendas busquem a máxima utilização das

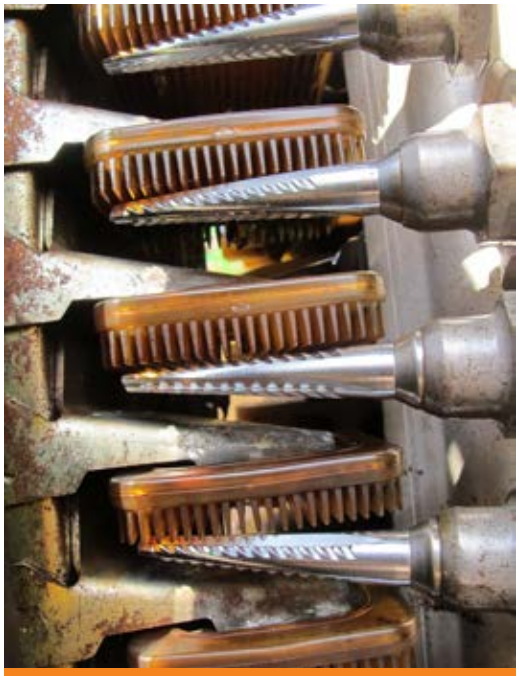


Figura 10. Posição das escovas umidificadoras em relação aos fusos (Fonte: Jean-Louis Bélot)

máquinas disponíveis, a fim de não deixar o algodão com os capulhos abertos exposto às condições climáticas.

Porém, é importante levar em consideração o efeito da umidade sobre a qualidade do algodão em caroço colhido com colhedoras mecânicas. Muitos trabalhos técnicos já apresentaram uma série de considerações sobre a influência da umidade no algodão em caroço em relação ao processo de colheita e à qualidade da fibra. A decisão sobre o início da colheita do algodão depende da umidade do algodão em caroço ainda na planta.

3.1. Umidade e qualidade do algodão colhido

A umidade da fibra do algodão colhido mecanicamente **não deve ser superior a 8%**, para evitar o "encarneiramento" (Figura 11), a degradação das fibras, o amarelecimento e as manchas que podem ocorrer em razão da ação de fungos.

As alterações na cor são causadas por microrganismos que se proliferam com o aumento da temperatura e da umidade, podendo isso ocorrer mesmo após a formação dos módulos. O algodão colhido com umidade superior a 16% sofrerá perdas, mesmo que seja descaroçado imediatamente.

O monitoramento da umidade deve ser constante, principalmente no início e no final do dia, ocasiões em que ela pode mudar abruptamente em poucos minutos, principalmente à noite, devido à presença de orvalho, o que faz a temperatura cair rapidamente. O monitoramento da umidade do algodão em caroço é essencial e, com o aumento do uso dos fardos redondos, requer atenção especial, em função das características construtivas desse módulo.

3.2. Umidade e armazenamento

A temperatura dos fardos de algodão e dos rolinhos deve ser verificada diariamente durante os primeiros 5 a 7 dias após a colheita. Depois desse período, o monitoramento da temperatura pode ser realizado a cada três ou quatro dias, conforme a variação da temperatura.

Nos fardos colhidos com umidade segura para armazenamento, a temperatura geralmente aumenta em torno de 10°C a 15°C nos primeiros 5 a 7 dias. Caso ocorra aumento superior a 20°C acima da temperatura ambiente, isso indica problemas na construção do módulo devido à umidade, sendo necessário que o fardo seja descaroçado imediatamente, para evitar perdas significativas na qualidade da fibra.

Figura 11. Capulhos colhidos com umidade acima da recomendada (Fonte: Renildo Mion)

Todos os módulos prensados e fardos redondos devem ser inspecionados após a ocorrência de chuvas e, caso seja constatado vazamento de água para o interior dos módulos, recomenda-se proceder ao descaroçamento o mais rapidamente possível.

3.3. Umidade e perdas na colheita

Em diversas publicações, fica demonstrado que a eficiência da colhedora é reduzida quando o algodão está úmido, além de isso causar danos às fibras.

4. Formando e armazenando os módulos e rolinhos

Os módulos cilíndricos utilizam um mecanismo semelhante ao de uma enfardadeira de feno circular; seu funcionamento é altamente automatizado, exigindo o mínimo de interação do operador. Os módulos redondos são cobertos com uma película de polietileno modificado, que protege tanto o algodão quanto a semente, proporcionando uma força de compressão para manter a densidade do módulo. O sistema de controle de formação manipula a embalagem dos módulos; quando o invólucro é concluído, o módulo é ejetado sobre o transportador na parte traseira da máquina, como mostrado na Figura 12. A principal ação do operador em relação aos módulos é decidir o momento em que deixará cair o módulo transportado. Normalmente, o módulo é descarregado no final do talhão para facilitar o carregamento em caminhões adequados para o transporte até as algodoeiras. Se o rendimento for muito elevado, ou se os comprimentos de linha forem longos, pode ser necessário soltar os módulos no meio do talhão. Essa ação não tem impacto sobre o funcionamento dos fusos; entretanto, pode perfurar ou rasgar o plástico.

No caso dos fardões elaborados com prensas (Figura 13A), a limpeza do solo onde eles serão constituídos é importante para não contaminar sua base; os pés de algodão são cortados

Figura 12. Módulo ejetado sobre o transportador na parte traseira da máquina (Fonte: Renildo Mion)

com facão, a prensa é posicionada em seu lugar. Quando constituído, o fardão é coberto por uma lona, amarrado com corda e deixado no local até seu transporte para a algodoeira. No caso dos rolinhos que precisam ser armazenados por longo período de tempo a campo antes do beneficiamento, e que irão receber chuvas intensas entre setembro e novembro, é recomendado protegê-los com lonas (Figura 13B) a fim de evitar a degradação da fibra.

É importante vistoriar periodicamente os fardões deixados na lavoura, a fim de detectar eventual início de incêndio, que se pode manifestar até quatro ou cinco dias após a colheita, ou para evitar fermentações no caso de uma colheita úmida. No caso dos fardinhos colhidos pelas máquinas JD 7760, é importante que o operador os descarregue na beira do talhão, para não prejudicar as operações de destruição da soqueira realizadas na sequência.

Na lavoura ou nos pátios das algodoeiras, recomenda-se que os rolinhos/fardões sejam armazenados em pilhas descontínuas, a fim de limitar a propagação do fogo em caso de incêndio (Figura 14). Deve-se evitar armazená-los sob linhas de energia elétrica.

Figura 13. Algodão colhido e armazenado a campo em fardão (A) ou rolinho (B) (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Figura 14. Incêndio em rolinhos armazenados de forma contínua (Fonte: Internet)

5. Medidas de segurança

As colheitadeiras de algodão são máquinas complexas, delicadas, caras e perigosas quando em funcionamento, razão pela qual merecem atenção especial quanto à sua manutenção e durante o uso. É imprescindível a capacitação dos operadores por meio de treinamentos e cursos ministrados pelos fabricantes, por escolas especializadas ou por associações de produtores.

Quando a máquina estiver em operação, deve-se manter em perfeito estado o sistema de contenção de incêndio. Recomenda-se que a máquina seja acompanhada, ao longo do dia, por um tanque de água, caso ocorra um início de incêndio. O custo dessa operação é muito baixo em comparação com o valor de uma máquina.

Durante as operações de limpeza periódica ao longo do dia, os operadores das máquinas devem seguir as seguintes regras de segurança:

- Ninguém pode permanecer na plataforma da máquina enquanto ela estiver em funcionamento;
- Prestar atenção aos operários que ficam na lavoura enquanto a máquina manobra;
- Não operar a máquina quando o cesto estiver levantado;
- Levantar os tambores ao máximo durante as manobras;
- Em terrenos irregulares, a máquina deve ser conduzida em marcha lenta;
- Evitar freadas bruscas, o que podem ocasionar danos aos tambores;
- Não realizar lubrificação ou limpezas sob a máquina com o motor ligado. A única exceção é quando se usa o controle remoto para acionar as cabeças de colheita para inspeção;
- Não operar a máquina sem as placas de proteção e os extintores em perfeito estado de funcionamento;
- Remover as folhas secas e algodão eventualmente acumulados no motor, a fim de evitar incêndios;
- Não tentar apagar o fogo no cesto – derramar imediatamente o algodão no chão.

Principais recomendações para uma colheita preservando a qualidade

- Manejar a altura das plantas a fim de colher o algodão com altura no máximo 1,5 vez o valor do espaçamento entre linhas, sendo recomendado o limite de 1,30 m a 1,40 m para espaçamento de 0,90 m;
- Colher a lavoura sem infestação de plantas daninhas (principalmente picão-preto, corda-de--viola etc.);
- Colher a lavoura devidamente desfolhada e com capulhos abertos (mínimo de 90% a 95% dos capulhos abertos), sem rebrotes de folhas;
- Utilizar colhedoras devidamente revisadas e com regulagens adequadas para as condições de campo, respeitando as normas dos fabricantes;
- Realizar a limpeza periódica das máquinas durante a colheita, principalmente grades e cestos, evitando a contaminação do algodão colhido (Figura 15);
- Evitar colher quando a umidade do algodão em caroço ultrapassa 12%, sendo 5-8% a umidade recomendada para uma colheita de qualidade;
- Armazenar os módulos prensados ou os fardos em rolo em lugares adequados, preferencialmente na beirada dos talhões, principalmente quando tiverem de permanecer no campo por longos períodos.

Figura 15. Sujeiras a limpar periodicamente, nos cestos e nas escovas umidificadoras (Fonte: Renildo Mion)

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: jeanbelot@imamt.org.br

Jean-Luc Chanselme
Cotimes do Brasil

CAPÍTULO 6.3

Preservar a qualidade da fibra no beneficiamento

Capítulo publicado originalmente na edição de 2019/20 e sem atualizações até o momento.

A fibra de algodão tem seu potencial de qualidade máximo na abertura do capulho. Várias degradações acontecem antes e durante a colheita; o beneficiamento melhora certas características enquanto afeta outras de forma negativa. Por exemplo, a limpeza do algodão em caroço e da fibra remove matéria estranha, enquanto tratamentos térmicos ou mecânicos a danificam. De modo geral, o beneficiamento tem um efeito potencial muito importante na qualidade da produção.

As principais características da fibra impactadas pelo beneficiamento são os parâmetros de comprimento, a resistência, a cor, as impurezas, os *neps* e a contaminação. O tratamento mecânico causa rupturas na fibra, diminuindo-lhe o comprimento comercial e a uniformidade e aumentando a taxa de fibras curtas. A resistência é diminuída por alteração da estrutura molecular da celulose em caso de excesso de secagem e aquecimento. A preparação (encarneiramento) (Figura 1) pode aparecer em níveis diferentes do processo, por processamento forçado (cargas altas, máquinas em mau estado) ou condições inadequadas (matéria muito úmida); os *neps* de fibra (nós) aparecem progressivamente ao longo da sequência de máquinas enquanto os neps de casca de caroço *(seed-coat fragments* - SCF) são gerados no descaroçador, especialmente em condições de baixa umidade da semente. O processo de descaroçamento remove alguns contaminantes vegetais e minerais, mas pode gerar contaminantes orgânicos, como óleos e gorduras.

A classificação instrumental da fibra gera uma maior visibilidade do efeito do beneficiamento nos parâmetros de qualidade, reforçando o papel do beneficiador e sua responsabilidade a favor da qualidade das produções de algodão.

Figura 1. Fibra apresentando preparação (Fonte: Cotimes)

Figura 2. Desmanchador fixo
(Fonte: Cotimes)

Figura 3. Fibra beneficiada pelo desmanchador
(Fonte: Cotimes)

Impacto das etapas do processo e recomendações

1. Descarregamento e alimentação do processo

O descarregamento é realizado por desmanchadores de módulos; o desmanchador utiliza cilindros rotatórios de pinos ou facas para desmontar a massa de algodão. No caso do desmanchador fixo (Figuras 2 e 3), o algodão cai por gravidade em um dispositivo de regulação de fluxo ou sai lateralmente, em geral por uma fita. No caso do desmanchador móvel, o algodão é coletado na parte baixa da máquina por uma rosca e levado a uma correia/fita, que o transporta até o ponto de sucção para o processo. Os desmanchadores de fardões geram muita poeira.

Ao descompactar o algodão em caroço do fardão, os pinos dos rolos desmanchadores arrancam fibra, soltando mechas observáveis no algodão depositado na fita lateral; é um inconveniente do desmanchamento que não existe com os telescópios. Essas mechas soltas, em sua maioria, perdem-se no decorrer do processo (principalmente nos batedores que trabalham com sucção) ou chegam aos descaroçadores, onde se encarneiram, reduzindo o tipo da fibra produzida. Velocidades maiores aumentam o beneficiamento pelos pinos e afetam negativamente a apresentação da fibra.

O desmanchador móvel é frequentemente equipado de um batedor acoplado; a taxa de sujeira fina eliminada é alta, o que explica o sucesso dessa adaptação. No entanto, nas adaptações existentes, a seção batedora não pode ser desviada, o que apresenta um inconveniente grande no caso do algodão úmido, que é batido e rolado pelos pinos sem possibilidade alguma de secagem, o que provoca o encarneiramento da fibra e de sua sujeira, que fica mais difícil de separar nas demais etapas de pré-limpeza, aumentando, no final, as perdas de fibra no limpador de pluma.

Recomendações

- Dispor um sistema de catação de poeira na cabeça do desmanchador (Figura 4);
- Isolar os desmanchadores da sala do processo de beneficiamento por uma parede vedada para evitar a contaminação do ambiente de trabalho e do algodão;
- Evitar fardões muito compactados;
- Limitar as rotações de rolos desmanchadores a 360 RPM;
- Preferir o acréscimo de uma segunda etapa de pré-limpeza ao acréscimo de um batedor no desmanchador.

A heterogeneidade da densidade nos módulos e o uso de módulos cilíndricos com desmanchadores fixos geram fortes variações do fluxo de matéria que desfavoráveis à homogeneidade e à eficiência da secagem e da pré-limpeza, com risco de sobressecar a fibra com consequente perda de resistência. Um dispositivo de regulação de fluxo (Figura 5) permite liberar para o processo um fluxo regular e controlado; o dispositivo justifica-se para qualquer processo e capacidade e é indispensável para as instalações de capacidades média e alta.

Figura 4. Sistema de catação de poeira no desmanchador móvel (Fonte: Cotimes)

Figura 5. Torre de regulação de fluxo montada em cima do chão (Fonte: Cotimes)

Recomendações

- Torre de regulação com secção de armazenamento (pulmão) e secção dosadora com dispersor;
- Automação da alimentação, integrando desmanchador, torre de regulação e sobra.

2. Gestão da umidade

As algodoeiras recebem matéria-prima com níveis de umidade muito variáveis (4-20%). O algodão em caroço de umidade alta pode causar embuchamentos e danos aos equipamentos; fica difícil de abrir, não pode ser adequadamente limpo e resulta em rendimentos de fibra baixos e fibra de aspecto encarneirado, com graus baixos; o algodão seco demais gera eletricidade estática e embuchamentos. Limpar-se-á facilmente, mas quebras de fibra ocorrerão sob efeito dos tratamentos mecânicos violentos no descaroçador e no limpador de pluma; o controle da umidade no decorrer do processo gera lucro, pela eficiência do beneficiamento (produtividade) e pela qualidade da fibra produzida.

2.1. Secagem do algodão em caroço

Um sistema de secagem bem desenhado e dimensionado facilita a limpeza e a abertura do algodão em caroço, melhora o brilho e reduz as impurezas e o encarneiramento; uma secagem exagerada resulta em perda de resistência, redução do comprimento e amarelamento da fibra. Corretamente operado, o sistema não apresenta risco para a fibra; a secagem deve ocorrer o mais cedo possível, antes de qualquer tratamento mecânico, porém, para secar, o algodão em caroço deve ser bastante aberto.

O princípio da secagem é colocar o algodão em contato com uma corrente de ar quente.

Vários fatores influenciam a secagem:

- A temperatura e a umidade do ar: quanto mais quente e seco o ar, maior o potencial de remoção de umidade da fibra;
- O volume de ar disponível: haverá maior potencial de secagem quanto maior for a relação ar/algodão;
- O tempo de contato entre o algodão e o ar: a quantidade de água retirada da fibra aumenta com o tempo de exposição;
- O deslizamento do ar sobre o algodão favorece a troca de vapor de água por convecção;
- A abertura do algodão: o algodão em caroço aberto seca mais rapidamente.

O sistema de secagem comum usa uma fonte de calor (queimador e ventilador), tubulações, um secador (torre de secagem) e um dispositivo de separação (batedor). Equipamentos complementares são importantes para operar o sistema, como medidores, sensores e controladores.

A fonte de calor condiciona a eficiência do sistema de secagem; ela deve ser adaptada a grandes fluxos de ar e ter tempo de resposta muito curto para poder adaptar a temperatura do ar às variações de umidade do algodão, preservar a fibra e gastar a energia justa necessária. Por isso sistemas a gás (Figura 6) ou petróleo são mais adaptados que sistemas que se valem de vapor de caldeira, e queimadores de tipo cortina são preferidos aos de tipo canhão. Os queimadores utilizados nas algodoeiras têm poder calorífico entre 250 mil e 4 milhões de kcal/h.

Figura 6. Queimadores a gás (Fonte: Cotimes)

Figura 7. Trocador de calor (Fonte: Cotimes)

Figura 8. Secagem com torre sem gavetas em linhas duplas (Fonte: Cotimes)

Com a evolução do conceito da secagem moderna, as torres de gavetas baixas (20 cm) são cada vez menos utilizadas no mundo. A torre de gavetas altas de alto volume usa espaçamentos maiores entre gavetas (até 69 cm) para aumentar a capacidade e serem utilizadas em sistema de secagem por sucção; existem vários modelos de secadores sem gavetas (Figura 8), que sempre utilizam a agitação do algodão no ar quente para combinar abertura e secagem, gerando um deslizamento significativo entre o algodão e o ar. O secador de fluxo vertical é muito eficiente, pois combina vários fatores favoráveis à secagem, como grande volume de ar, tempo de contato entre o ar quente e o algodão, alto deslizamento entre o ar e o algodão nas barras inclinadas e grande abertura da massa de algodão.

Sem isolação do secador e das tubulações, só uma proporção baixa (20%) da energia calórica gasta é utilizada para secar a fibra.

Recomendações para secagem

- Instalar sensores de temperatura (PT100 ou Termopar) no ponto de mistura e na entrada da torre com displays no painel de controle;
- Isolação das tubulações e das torres de secagem com lã de rocha ou de vidro para conseguir economia de combustível de até 30%;
- Manter o sistema perfeitamente vedado. Evitar hot-box, que deixa entrar ar frio pela frente;
- Medir manualmente a umidade do algodão várias vezes durante o descarregamento de um mesmo fardão e a umidade relativa do ar. Ajustar a temperatura de secagem de acordo, para atuar em temperatura mínima;
- No caso do controle manual, é indispensável montar uma tabela específica da usina, que indica a temperatura de ar a ser utilizada em função da umidade do algodão em caroço e umidade do ar;
- Para conseguir a umidade certa para a limpeza do algodão em caroço (5%), a secagem deve ser aplicada a partir de uma umidade de fardão de 7%. Abaixo desse valor, um leve aquecimento

pode ser aplicado para homogeneizar a umidade, afofar a fibra e facilitar a circulação da matéria nas máquinas;

– As temperaturas utilizadas devem ser razoáveis (70-110°C). A temperatura em qualquer porção do sistema não deve exceder a 170°C.

2.2. Umidificação do algodão em caroço

A umidificação do algodão em caroço tem como objetivo devolver umidade à fibra, para que ela possa suportar melhor as agressões mecânicas do descaroçador e do limpador de pluma; nas áreas tropicais secas, é uma operação essencial para minimizar as quebras de fibra. Todos os estudos mostram que a umidificação antes do descaroçador tem um efeito positivo direto sobre o comprimento comercial e a taxa de fibras curtas. Pode-se ganhar 1/32 pol de comprimento e 2% de taxa de fibra curta quando a umidade da fibra do algodão em caroço aumenta em 2 pontos (Figura 9).

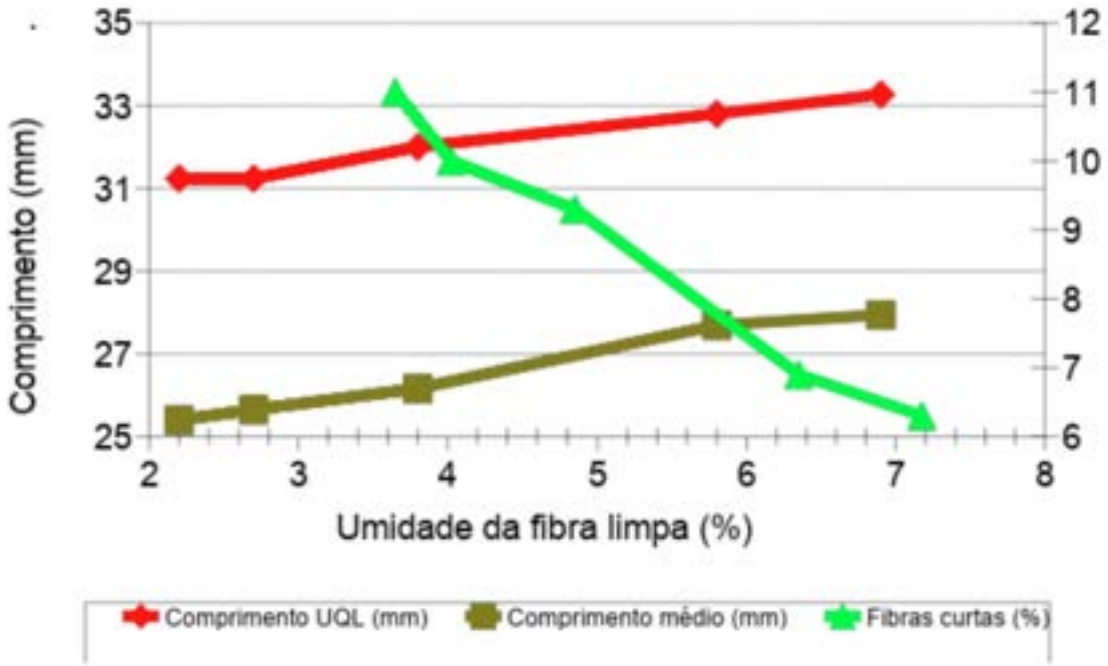


Figura 9. Comprimento de fibra e SFC em função da umidade (Fonte: Cotimes)

Figura 10. Caixas de umidificação do algodão em caroço (entrada dupla) (Fonte: Cotimes)

O interesse da umidificação do algodão em caroço permite melhorar o valor comercial da fibra, a produtividade e aumentar o rendimento de beneficiamento.

Dadas as baixas condições higrométricas durante a safra de beneficiamento no cerrado, umedecer o algodão em caroço é altamente justificado.

O dispositivo recomendado de umidificação do algodão em caroço consiste em injetar ar úmido e quente em caixas situadas entre a rosca distribuidora e cada alimentador de descaroçador, onde o algodão fica bastante compactado e com andamento muito lento (Figura 10).

O sistema comporta um gerador de ar úmido com fonte de calor (queimador a gás ou petróleo, ou trocador de calor), um ventilador e uma caixa aplicadora por linha de beneficiamento.

O nível de umidade da fibra recomendado no algodão em caroço na saída dos alimentadores é de 6,5-8%. Umidades maiores protegem mais a fibra, mas reduzem o tipo comercial; umidades menores aumentam o tipo comercial, mas a fibra é danificada no descaroçador e no limpador de pluma.

A eficiência da umidificação depende de vários fatores, como a diferença entre temperatura do ar úmido e temperatura do algodão, o volume e a velocidade relativa do ar quente, a duração do contato.

Recomendações para a umidificação do algodão em caroço

- Desenhar um sistema com possibilidade de equilibrar o fluxo de ar entre as caixas e com caixas de entrada dupla, com válvulas pneumáticas operadas por automação (em função da posição do peito do descaroçador);
- Manter o sistema bem vedado e isolado termicamente;
- Manter o umidificador e as caixas de aplicação limpos (limpeza cada turno);
- A limpeza do circuito de água e do umidificador como um todo é fundamental;
- Medir frequentemente a umidade do algodão na saída dos alimentadores;
- Ajustar as temperaturas de ar e de água no umidificador para ter a umidade de fibra desejada de 6,5-8% na entrada do descaroçador;
- A regulagem e o display das temperaturas no umidificador devem ser instalados no painel de controle.

2.3. Umidificação da fibra antes da prensagem

A umidificação da fibra antes da prensagem tem como objetivo aumentar o peso dos fardos e o rendimento do beneficiamento e melhorar o funcionamento da prensa, diminuindo a pressão hidráulica necessária à prensagem em até 40%. A diminuição da pressão hidráulica:

- Reduz o tempo de prensagem (mais capacidade da prensa);
- Reduz a solicitação mecânica da prensa (menos paradas, menos manutenção);
- Reduz os picos de amperagem;
- Melhora o funcionamento e da qualidade da amarração;
- Aumenta o peso médio dos fardos (menos embalagens e custo de transporte).

A umidificação da fibra gera ganho de centenas de milhares de reais, mas a umidade deve ser aplicada de maneira uniforme, ou seja, regularmente repartida na manta de fibra toda e na forma de ar úmido e não na forma líquida. Aqui, trata-se de umedecer, e não de molhar; é frequente encontrar umidificação por aspersão de água na bica.

Recomendações para a umidificação da fibra antes da prensagem

- Umidificar a fibra até 8%;
- Não praticar aspersão da manta para evitar molhar a pluma e gerar problemas de proliferação microbiana, perda de grau ou até cartonagem das camadas de pluma do fardo (Figura 11);
- Umidificar com temperaturas baixas para evitar amarelamento da fibra.

3. Limpeza do algodão em caroço

O algodão em caroço contém sempre matérias estranhas incorporadas durante a colheita, sobretudo quando esta é mecânica: maçãs, cascas, caules, pecíolos, folhas verdes ou secas, gravetos, areia, poeiras. A limpeza do algodão em caroço tem por objetivo abrir e homogeneizá-lo, extraindo dele o máximo de matéria estranha antes da entrada no descaroçador; esses dois aspectos são fundamentais para a qualidade e para o valor comercial.

Distinguem-se os batedores destinados a retirar os pequenos resíduos (fragmentos de folhas, areia etc.) e os extratores destinados a retirar resíduos mais grosseiros (caules, casquinhas).

Os batedores

Os batedores inclinados ou horizontais permitem abrir, espalhar e esponjar o algodão em caroço (Figura 12); ao mesmo tempo, a limpeza ocorre por agitação e fricção, que são mais eficazes quanto mais o algodão em caroço estiver seco. Os batedores que funcionam por sucção e com ar quente são os mais eficientes; nos sistemas de secagem, os batedores ajudam muito, por conta da abertura e da agitação do algodão no ar quente.

O batedor retira 50%-55% dos pequenos resíduos (folhas, fragmentos vegetais, poeiras e areia) e 10%-40% dos resíduos totais (Figura 13); ele é essencial para melhorar o tipo, dada sua ação direta e seu efeito, que beneficia etapas posteriores do processo.

Recomendações para batedores

- Ter uma boa vedação para evitar perdas de eficiência nos circuitos de sucção;
- Rotação de cilindros de pinos de 450 a 500 RPM;
- Espaçamento entre a ponta dos pinos e a

Figura 11. Fardo molhado por umidificação por aspersão (Fonte: Cotimes)

Figura 12. Pinos e grade de batedor (Fonte: Cotimes)

Figura 13. Resíduos típicos de batedor (Fonte: Cotimes)

grelha (1/2 pol a 5/8 pol) em toda a largura da máquina;
- Capacidade normal de funcionamento limitada ao equivalente de 2,5 fardos/h/pé de largura;
- Limpar a grelha a cada turno e conferir estado e alinhamento das barras de grelha.

Os extratores (stick machines)

O extrator é dedicado a separar a sujeira grossa (casquinhas e caules) e comporta de um a dois cilindros extratores de serrilhas e um cilindro de serrilhas de recuperação (Figura 14). A limpeza do algodão em caroço, aplicado sobre os rolos dentados por meio de escovas estáticas, ocorre por centrifugação e batimento sobre as barras; o extrator é geralmente alimentado por gravidade na saída de um batedor. A máquina geralmente pode ser desviada.

O nome HL, usado no Brasil para designar o extrator instalado nos processos antigos, vem de HLST, um extrator de três cilindros introduzido no Brasil pela Murray-Piratininga.

O extrator retira mais de 50% dos resíduos maiores (Figura 15) e é indispensável para o algodão em caroço de colheita mecânica; ele retira 20%-50% dos resíduos totais (colheita com picker).

Figura 14. Escova, serrilhas e grade de extrator (Fonte: Cotimes)

Figura 15. Resíduos típicos de extrator (Fonte: Cotimes)

Recomendações para extratores

- Rotação do(s) primeiro(s) cilindro(s) extrator(es): 330-400 RPM, conforme modelo;
- Rotações do rolo recuperador: 184-285 RPM;
- Folga recomendada 1/2 pol entre a ponta dos dentes de serrilha e as barras de batida (recomendamos uma folga de 3/4 pol no cilindro recuperador do HLST);
- Os dentes das serrilhas devem sempre ser extremamente afiados;
- As escovas fixas (aço ou nylon) devem ser firmes, pouco deitadas e tocar o fundo do canal de serrilhas;
- Capacidade de funcionamento é limitada ao equivalente a 2 fardos/h/pé;
- Limpar a grelha em cada turno e conferir estado e alinhamento das barras de grelha.

Figura 16. Resíduos típicos de alimentador moderno (Fonte: Cotimes)

Alimentador de descaroçador

O alimentador de descaroçador recebe o algodão em caroço da rosca alimentadora; sua função, importante para a qualidade, consiste em alimentar o descaroçador uniformemente e de forma regulada, garantindo uma limpeza e abertura complementares e finais do algodão em caroço. Os alimentadores modernos combinam limpeza e extração, e as regulagens padrões recomendadas são em geral as mesmas que as recomendadas para os batedores e extratores. Os alimentadores de tipo antigo Mitchell Standard e Super-Mitchell foram desenvolvidos antes da colheita mecânica; por terem uma eficiência limitada pela falta de rolos de pinos e verdadeiros cilindros extratores, é bom que eles estejam precedidos por duas etapas de pré-limpeza, cada uma com batedor e extrator.

Os alimentadores aproveitam de um algodão bem aberto, o que permite uma boa eficiência. Utilizado sozinho, o alimentador moderno pode tirar até 40% da matéria estranha do algodão em caroço, 70% da casquinha, 15 % do piolho e 40% de outras sujeiras (Figura 16).

Recomendações para alimentadores

Os alimentadores modernos combinam limpeza e extração, e as regulagens padrões recomendadas são, em geral, as mesmas que as recomendadas para os batedores e extratores.

No caso de alimentadores de tipo antigo:

- Instalar movimentação própria para ganhar em produtividade;
- Instalar motorredutores para movimentar os rolos alimentadores e ganhar em precisão de alimentação e regularidade de funcionamento dos descaroçadores;
- Substituir as chapas furadas por grelhas de barras de 6-7 mm, espaçadas em 8 mm.

A sequência de limpeza do algodão em caroço (pré-limpeza) recomendada para os algodões colhidos mecanicamente com fusos no Brasil é (Figura 17):

- 1 sistema de cata-pedras;
- 2 etapas de pré-limpeza (cada uma com um extrator, no caso das usinas antigas);
- 1 extrator-alimentador por descaroçador.

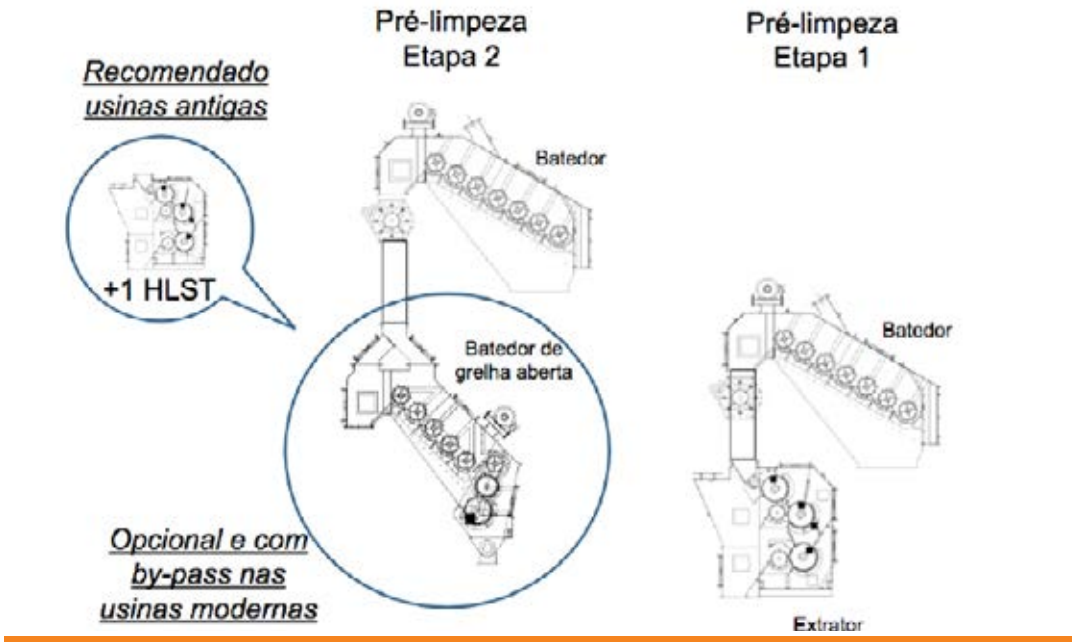


Figura 17. Sequência de limpeza do algodão em caroço (Fonte: Cotimes)

A exposição das máquinas a uma matéria suja e abrasiva impõe cuidados cotidianos, como abertura, limpeza e verificação das peças submetidas a desgaste. Os principais pontos de danos ou de desgaste situam-se junto aos extratores (segmentos dentados gastos, escovas fixas ou rotativas gastas ou desfiadas).

4. Descaroçador de serras

O descaroçador é a máquina central do processo de beneficiamento (Figuras 18 e 19); além de condicionar a capacidade e produtividade da algodoeira, tem um impacto significativo sobre várias características de fibra importantes para a fiação, como o comprimento e o teor de neps. No descaroçador, deve-se separar a fibra do caroço, eliminando certos resíduos, com o mínimo de desgaste da fibra e do caroço.

Muitas melhorias no desenho do peito permitiram aumentar a produtividade dos descaroçadores: melhor circularidade da câmara de beneficiamento, fechamento da parte alta do peito, dispositivos de ajuda à rotação e movimentação lateral do rolo de caroço (agitador), extração interna de caroço (tubo perfurado e rosca), aumento do número de serras por máquina, redução da distância entre serras e o aumento do diâmetro das serras (Figura 20). O aumento de desempenho dos descaroçadores resulta em tratamento mecânico mais violento para a fibra e o caroço, e, para evitar redução importante de qualidade, tornou-se necessário um manejo muito técnico do descaroçamento. Os equipamentos devem estar em excelente estado, com componentes de qualidade e conformidade, perfeitamente regulados, e o algodão em caroço precisa ser umidificado para proteção da fibra.

Na ação de arrancar a fibra do caroço, o descaroçador gera rompimento da fibra em pontos que podem ser outros além da base; pelo contato da fibra com serras afiadas e girando com velocidades até 850 RPM, acontece forte agressão mecânica, chegando a arranhar, cortar parcialmente ou totalmente a fibra. Tudo isso resulta em redução do comprimento comercial (UHML), redução da uniformidade de comprimento, aumento da proporção das fibras curtas (comprimento inferior a 12,7 mm) e redução da resistência à rotura. Esse impacto negativo do

descaroçamento é máximo quando a produtividade é alta e a fibra seca.

Dentro do descaroçador ocorre a primeira limpeza da fibra; logo depois, a separação da fibra do caroço, atrás do costelado, as matérias estranhas com maior densidade e sob ação das forças centrifugas e inércia afastam-se das serras. O cata-piolho é o dispositivo que permite separar essas matérias (caroço inteiros ou em fragmentos, pedaços de caules e casquinha, piolho etc.), já no descaroçador, evitando posterior fragmentação e contaminação. Essa separação ocorre sem desgaste à fibra e precisa ser aproveitada.

Recomendações para o descaroçador:

- Montagem conforme especificações do fabricante;
- Rotações de serras conformes recomendações do fabricante +/- 10 RPM;
- Espaçamento regular de costelas e entre 2,7-2,9 mm. Preferir costelas com inserto;
- Proscrever a recuperação de costelas no caso dos descaroçadores de média e alta capacidade;
- Compras de serras originais e novas (evitar afiação);
- Centralização das serras entre as costelas;

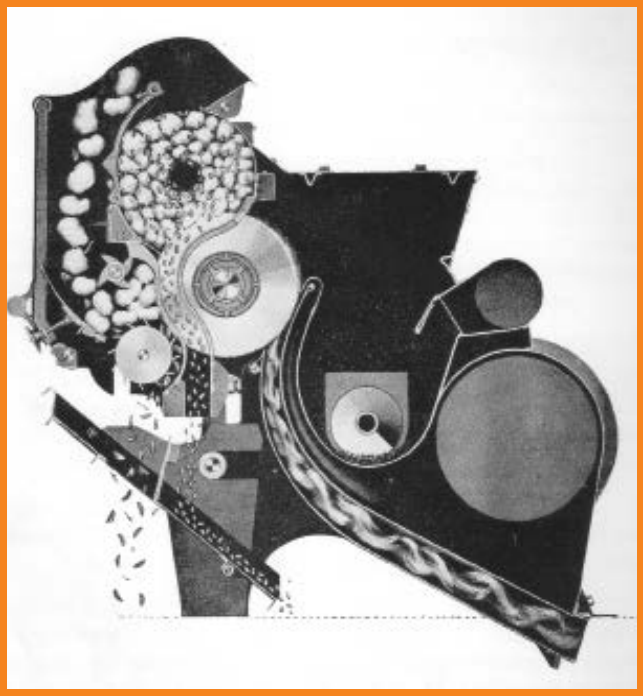


Figura 18. Descaroçador de baixa capacidade (Fonte: Cotimes)

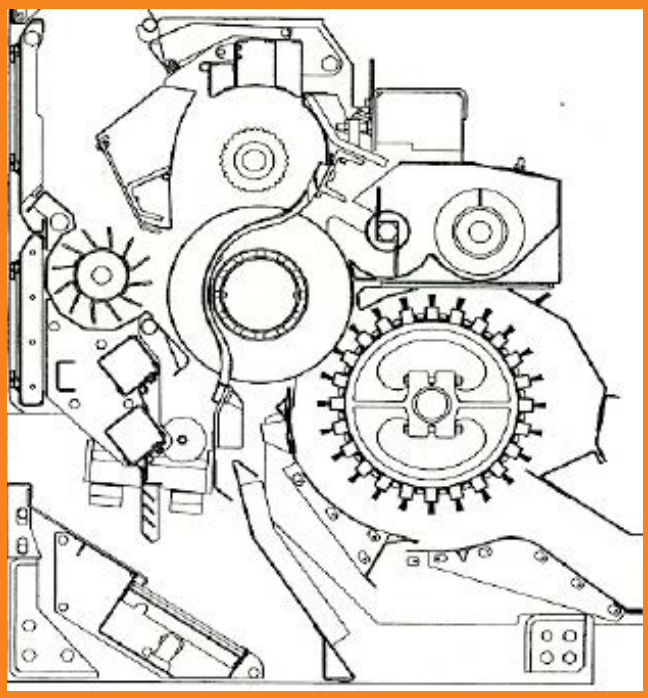


Figura 19. Descaroçador de alta capacidade (Fonte: Cotimes)

Figura 20. Costelas de vários fabricantes (Fonte: Cotimes)

Figura 21. Aspecto característico dos resíduos de cata-piolho (Fonte: Cotimes)

- Penetração das serras nas costelas e altura do ponto de beneficiamento conformes recomendações do fabricante;
- Não fechar o cata-piolho dos descaroçadores Murray-Piratininga;
- Regular o cata-piolho para perder fibra somente em forma de mechas encarneiradas e somente um pouco de fibra solta;
- Regular o dispositivo de extração da fibra por jato de ar, conforme recomendações do fabricante e a sucção do ventilador de recalque de maneira a não ter retorno de fibra em nenhum dos descaroçadores do conjunto;
- Regular a penetração das escovas até a base dos dentes de serras e regular a abertura das tomadas de ar da escova.

5. Limpeza da fibra

Na saída do descaroçador, a fibra comporta impurezas (fragmentos de planta, de folha, piolho (Figura 21), fragmentos de caroço) e apresenta um aspecto mais ou menos irregular, com mechas (fibra encarneirada) e manchas. A limpeza da fibra é justificada pelo sistema de ágios/deságios do mercado envolvendo as características que constituem o grau visual, ou seja, tipo (regularidade de aspecto), cor e folha.

Distinguem-se o limpador de fibra pneumático ou limpador centrífugo (Figura 22) e o limpador mecânico ou limpador de serra (Figura 23); as usinas modernas geralmente têm os dois tipos de máquinas. A fibra passa pelo limpador centrífugo antes de entrar no limpador de serra; o limpador centrífugo representa uma proteção para o limpador de serra. Os objetivos da limpeza da fibra são limpar e pentear a fibra para melhorar seu valor de mercado.

Limpador centrífugo

A limpeza centrífuga consiste em separar o material mais denso que a fibra pela força de inércia. Os limpadores centrífugos apresentam um duto retangular da mesma largura do descaroçador e estreito (aceleração do fluxo); uma curva fechada com uma fresta de ejeção regulável à mão permite a separação de material mais denso que a fibra.

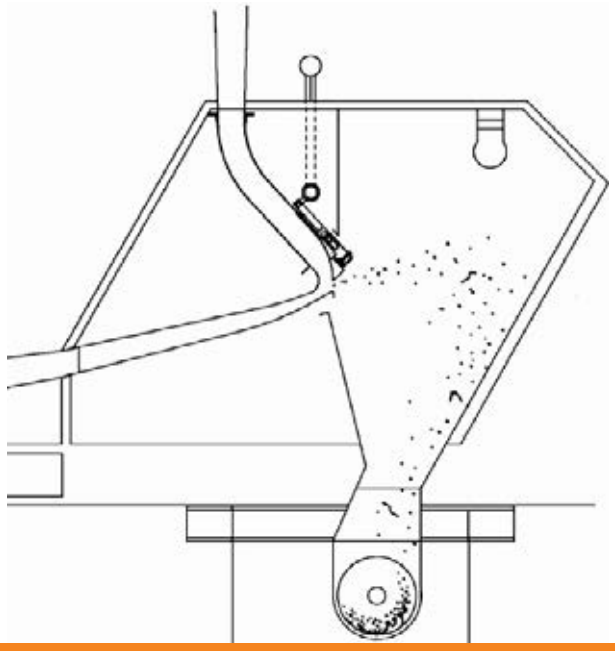


Figura 22. Corte do limpador centrífugo (Fonte: Cotimes)

Esse tipo de limpador elimina os resíduos de maior densidade (piolhos, caroços, fragmentos de casca de caroço, miolo, mechas de fibra), com 10% de eficácia. Não há peça alguma em movimento, ou seja, nenhum desgaste à fibra, mas faz pouca limpeza e não corrige o aspecto, porque não abre a massa de fibra. A eliminação de fibra encarneirada participa na melhoria do tipo.

Recomendações para limpador de fibra centrífugo

- A depressão na tubulação entre descaroçador e limpador tem que ser de 2-2 ½ pol;
- Uma mangueira de controle da depressão deve garantir a saída automática do peito do descaroçador em caso de embuchamento no condensador do limpador de serra;
- O compromisso de regulagem consiste em ejetar o máximo de matérias estranhas, desperdiçando-se o mínimo de fibra. Para regulagem, deve-se abrir a fresta até perder fibra e fechar um pouco. Deve-se perder um pouco de fibra na forma de mechas mais densas, mas não de fibra solta.

Limpador de fibra de serra

O condensador separa a fibra do ar de transporte e forma uma manta de fibra, que é mantida sob pressão enquanto é penteada pelos dentes do rolo de serra; as fibras são individualizadas, e as manchas são disseminadas (penteagem). A fibra é arremessada contra as barras afiadas, eliminando as matérias estranhas afrouxadas por centrifugação, batimento, gravidade e circulação de ar (limpeza) (Figura 23).

Existem variações entre fabricantes conforme o desenho do condensador, controle da manta, diâmetro do cilindro de serras, controle da limpeza.

O limpador de serra elimina os resíduos finos (fragmentos de casca, piolhos, folhas) com 40%-50% de eficácia. A limpeza é puxada, e a fibra torna-se homogênea graças à penteagem; todavia, ela sofre danos. Utilizando a limpeza da pluma em boas condições de umidade de fibra e regulagens, os danos à fibra são mínimos; a operação pode ser rentável. Caso contrário, perdas e danos à fibra podem ser importantes e reduzir ou até inverter a rentabilidade da operação.

Além do grau, as características afetadas pela limpeza da pluma são o teor de neps e os parâmetros de comprimento. Os neps de fibra são criados na formação da manta e na limpeza; os neps de casca de caroço são fragmentados. A força de tração sobre as fibras gera quebras, reduzindo-lhes o comprimento comercial, a uniformidade e aumentando a taxa de fibras curtas; as quebras aumentam com a velocidade de serra e com a relação de penteagem.

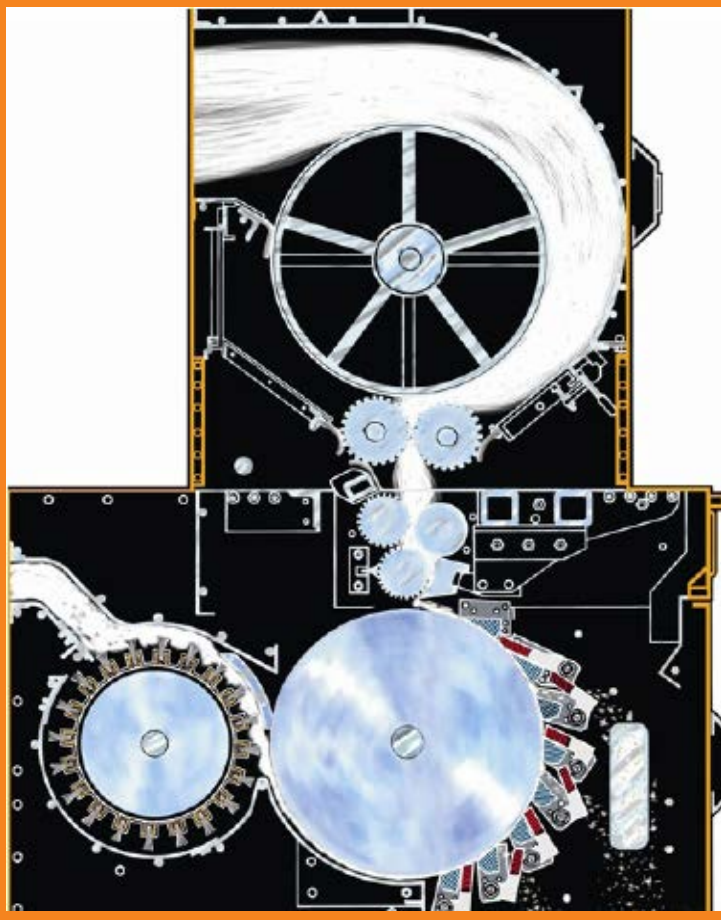


Figura 23. Limpador de pluma de serra (Fonte: Cotimes)

Recomendações para a limpeza de pluma de serra:

- Para conjuntos de cinco descaroçadores de oitenta ou noventa serras, utilizar um LP de 86 pol;
- Para os conjuntos de seis descaroçadores de oitenta ou noventa serras, utilizar um LP de 102-108 pol ou dois limpadores de 66 pol com fluxo dividido e com baixa rotação do condensador;
- Evitar as mantas grossas para favorecer penteagem e limpeza;
- Abrir visores laterais para controle e regulagem dos espaçamentos entre rolo de alimentação/barra/serra (Figura 24);

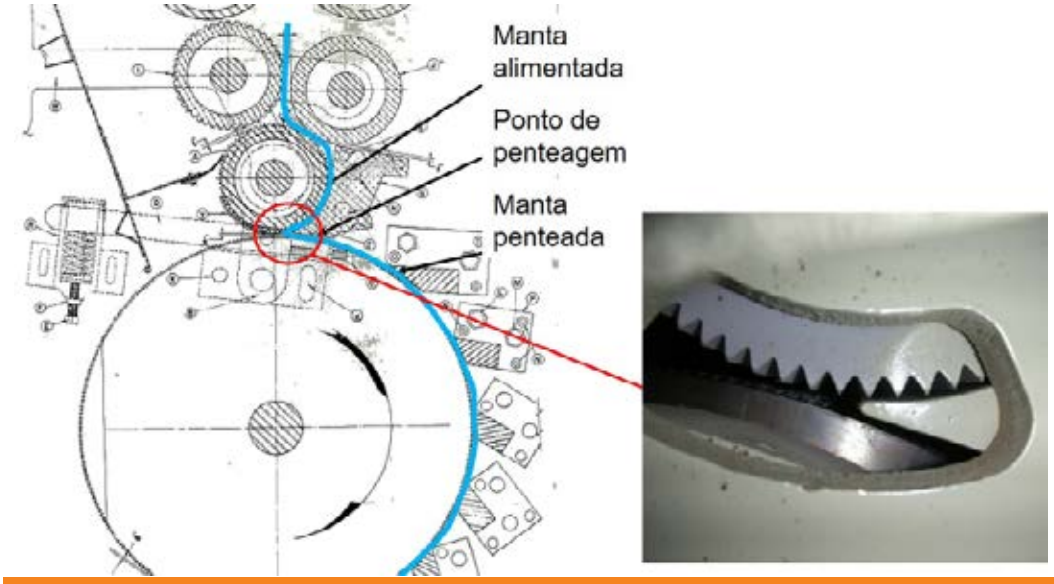


Figura 24. Regulagem essencial do limpador de pluma e visor (Fonte: Cotimes)

- A distância entre o rolo flutuante e a barra de alimentação deve ser regulada com 0,01 pol, ou seja, 0,25 mm sobre toda a curva da barra;
- Um rolo flutuante empenado e uma barra de alimentação deformada devem ser substituídos;
- Manter uma vedação perfeita nas laterais e no comprimento do tambor de condensador;
- Montar um motorredutor ou um inversor de frequência para a regulagem fina das rotações do condensador;
- Afiar as barras de batida a cada safra.

6. Prensagem

O enfardamento tem como objetivo compactar a fibra para facilitar e baratear seu armazenamento e transporte; o acondicionamento requer os seguintes equipamentos: condensador, bica, dispositivo de umidificação, alimentador, calcador, prensa e amarração/ensacamento.

A prensagem em si não tem impacto direto sobre a qualidade da fibra, mas pode acontecer contaminação por lubrificantes na prensa. Os contaminantes mais frequentes são a graxa utilizada para os calcadores mecânicos e o fluido hidráulico em caso de vazamento nos pistões do calcador hidráulico, dos pistões de prensagem ou no sistema de travamento de portas, nas prensas mais antigas.

Após a prensagem, o embalamento do fardo oferece certa proteção, porém limitada no caso da tela (sacão); o armazenamento a céu aberto exige proteção dos lotes por lona contra vento, poeira e água de chuva.

Conclusão: gestão do beneficiamento para dominar a qualidade dos produtos

Todos os parâmetros tecnológicos importantes para a fiação (com exceção do índice micronaire (complexo maturidade - finura) são afetados pelo beneficiamento; o controle da umidade e a limpeza (particularmente

da fibra) são as duas operações essenciais para a qualidade.

Diversas medidas e controles são necessários para a tomada de decisões (armazenamento, escolhas da sequência, gestão da umidade) ou para o monitoramento do desempenho (desfibragem, temperaturas e umidades das matérias, velocidades de rotações).

Os resultados da classificação HVI precisam ser aproveitados para manejar o beneficiamento no dia a dia e no decorrer da safra.

As miniusinas constituem uma referência interessante para o monitoramento de desempenho e para a melhoria da produtividade e da qualidade das unidades de beneficiamento.

(1) Medições e controles recomendados para o monitoramento do beneficiamento

- Umidade do algodão em caroço à chegada de cada fardão (decisão de armazenamento, decisão de secagem/umidificação);
- Temperatura e umidade relativa do ar várias vezes, durante o dia e à noite;
- Temperatura do ar de secagem;
- Umidade do algodão em caroço após secagem e na entrada do descaroçador;
- Umidade do fardo;
- Tempo de produção médio do fardo;
- Controle da desfibragem e, eventualmente, taxas de línter por descaroçador;
- Análises HVI;
- A usina deve dispor dos instrumentos necessários;
- Termo-higrômetro eletrônico fixo ou portátil;
- Sensores de temperatura;
- Umidímetro para algodão em caroço e fibra;
- Manômetros diferenciais com tubo Pitot;
- Tacômetro;
- Controladores elétricos.

(2) Recursos à disposição do beneficiador
Capacitação do pessoal

O domínio dos equipamentos e da gestão pelo pessoal é fundamental; os melhores equipamentos não podem fazer o melhor sem o melhor pessoal:

- Escola de beneficiamento do IMAmt;
- Treinamentos completos e repetidos para gerentes e maquinistas (escola e na UBA);
- Curso organizado para operadores (escola e UBA).

Assessorias e engenharias especializadas

Um diagnóstico técnico e organizacional objetivo por especialista independente permite identificar todas as possibilidades de correções e melhorias imediatas e a prazo. O diagnóstico precisa envolver a análise do processo utilizado, o estado dos materiais e equipamentos, a análise do funcionamento da usina e das praticas de produção, a observação e análise dos produtos e resíduos etc.

Laboratório de tecnologia da fibra

O laboratório de tecnologia da fibra é uma ferramenta poderosa de acompanhamento do beneficiamento pela qualidade. Na condição de disponibilizar os resultados em prazo muito curto (condicionamento rápido das amostras), permite:

- Monitorar diariamente a qualidade da fibra produzida;
- Ajustar o benefício em função da qualidade da matéria-prima e dos contratos a serem cumpridos;
- Comparar e monitorar o desempenho das linhas de beneficiamento.

Além dessas ferramentas de melhoria da qualidade, ainda pode ser recomendado integrar as tecnologias modernas em termos de equipamento, automação, organização e venda da produção por lotes homogêneos baseados nas características HVI e implantação de uma rastreabilidade da qualidade desde o campo.

Referências bibliográficas: Maiores detalhes podem ser encontrados nos "Manual de Qualidade da Fibra da Ampa" e "Manual de Beneficiamento do Algodão", ambos disponíveis para download no site do IMAmt (www.imamt.org.br). Para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com o autor por meio do e-mail: jean@cotimesdobrasil.com.br

José Jorge Lima
Consultor

Jean-Louis Bélot
IMAmt

CAPÍTULO 6.4

A fibra de algodão: qualidade e classificação

Capítulo publicado originalmente na edição de 2014/15 do Manual de Boas Práticas e revisado pelos mesmos autores na edição de 2019/20. Na edição de 2025, foram atualizadas apenas as tabelas de ágios e deságios da ANEA e da BBM.

Neste capítulo, trataremos de dar informações sobre estrutura da fibra, parâmetros de qualidade que dão valor ao produto, sistema de classificação do algodão, que é imprescindível no comércio nacional e internacional da fibra, e fatores principais de campo e de beneficiamento que incidem sobre a degradação da qualidade da fibra (Figura 1).

Figura 1. Capulho de algodão aberto (Fonte: José Medeiros)

1. O que é uma fibra de algodão

A fibra é um pelo que se localiza na superfície do caroço de algodão. Esse pelo vem de uma célula diferenciada da epiderme do caroço; ele cresce e se alonga durante a formação do capulho. Esquematicamente, pode ser considerada como um cilindro formado principalmente de diversas camadas de celulose (parede secundária da célula) que são depositadas ao longo da vida dessa célula (Figura 2).

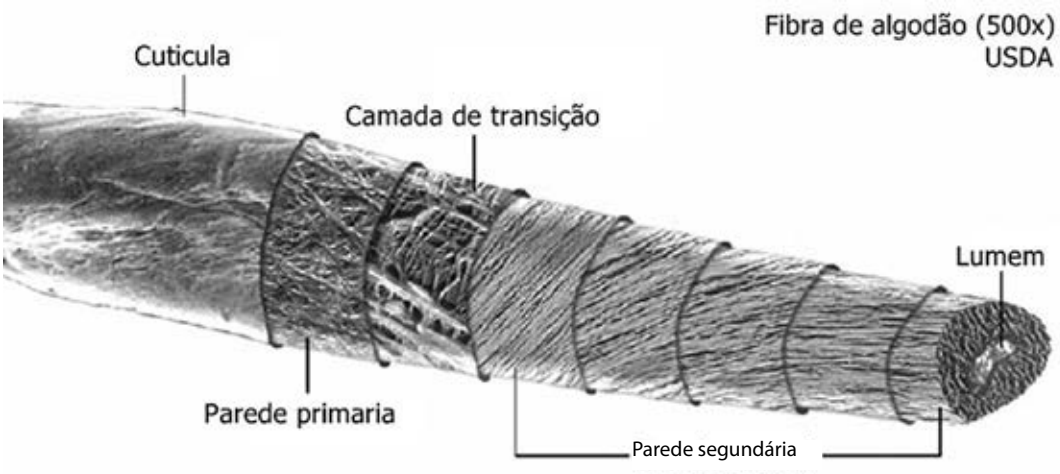


Figura 2. Estrutura de uma fibra de algodão (Fonte: adaptado de USDA-ARS)

Vale ressaltar que o grau de maturidade da fibra está relacionado diretamente à espessura da parede secundária, formada pela deposição de sucessivas camadas de celulose no interior da fibra ao longo de seu desenvolvimento. Logo, quanto mais camadas de celulose forem depositadas, mais madura estará a fibra. Porém, essa quantidade de camadas de celulose depende muito mais das condições de clima, da disponibilidade de água e do manejo ao longo do processo de cultivo do que à finura (relacionada ao diâmetro externo da fibra, na dependência principal da cultivar).

O tempo de formação de um capulho entre a antese e sua abertura é de 45 a 55 dias, dependendo das condições climáticas e de manejo. A partir da fecundação do óvulo (dia da floração), a fibra de cada óvulo que se transforma em caroço vai ser submetida a diversos processos biológicos: definição do diâmetro da fibra, alongamento da célula (o que vai definir o "comprimento" da fibra) e depósitos sucessivos de camadas de celulose nas paredes secundárias (que vão definir a "maturidade" da fibra) (Figura 3).

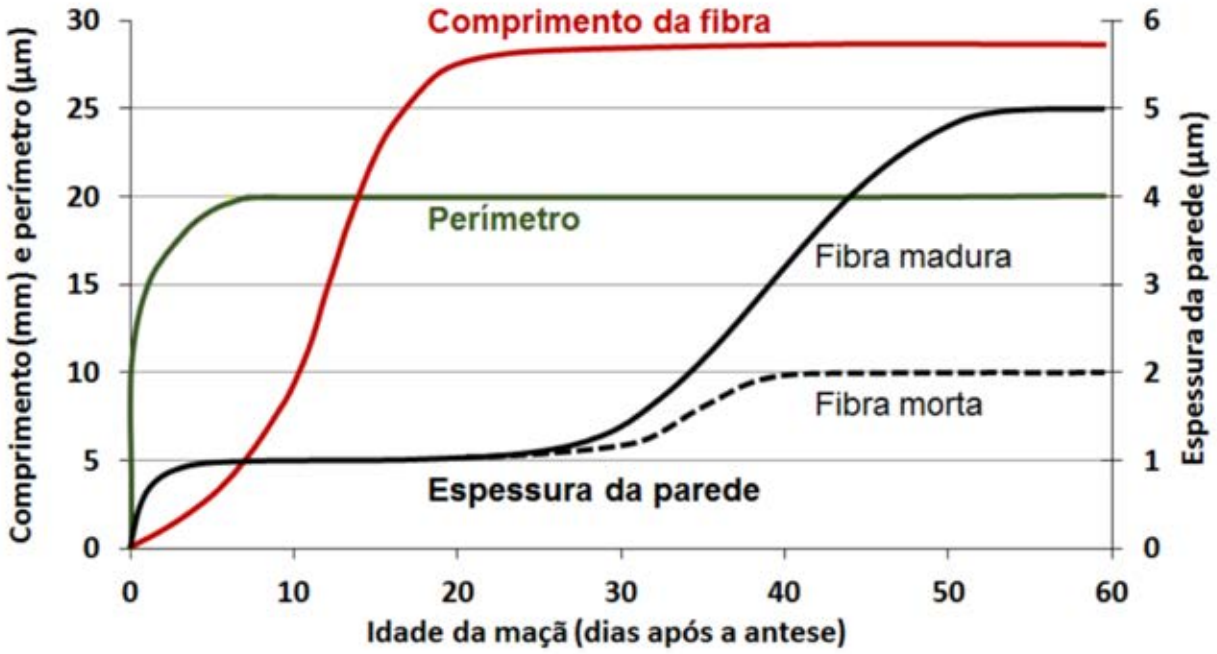


Figura 3. Formação da fibra da antese até a abertura do capulho (Fonte: Cirad)

A estrutura da celulose depositada nas diversas camadas da fibra é fundamental para a definição das propriedades físicas desta, como a resistência à ruptura e o alongamento. As condições de alimentação da planta durante a formação da fibra incidem diretamente sobre a qualidade; é o caso da nutrição potássica, que pode ter efeito importante sobre a resistência por conta de seu papel na formação de "pontes" entre as cadeias de celulose da fibra.

2. Caracterização da qualidade da fibra de algodão e dos contaminantes

Existem diversas maneiras de caracterizar a fibra de algodão (visual e com equipamentos), que evoluíram ao longo do tempo. No século passado surgiu a metodologia de mensuração de algumas propriedades físicas das fibras de algodão por aparelhos de laboratório; dos vários aparelhos desenvolvidos, o do tipo *High Volume Instrument* – HVI é o que foi utilizado para a padronização e a classificação da fibra.

A dificuldade reside no fato que o algodão é multiforme, ou seja, é constituído de fibras individuais com vários níveis de qualidade. Alguns métodos caracterizam o comportamento "médio" da fibra quando submetida, por exemplo, à força de ruptura; outros estudam a distribuição de parâmetros morfológicos de cada fibra individualmente, como comprimento, diâmetro etc.

2.1. A caracterização visual da fibra e dos contaminantes

Basicamente, a caracterização visual é baseada em critérios de colorimetria do algodão e de carga de impurezas.

Quanto mais branco for um algodão melhor será sua qualidade; o algodão creme ou levemente creme é considerado inferior a um algodão branco (Figura 4). Para um mesmo nível de branco, um algodão com brilho será considerado de melhor qualidade que um algodão apagado, mais "fosco", o que geralmente pode acontecer quando o algodão aberto em campo recebeu chuva. Esses critérios de cor são avaliados por meio dos parâmetros Rd (reflectância) e +b (índice de amarelamento) dos colorímetros.

Figura 4. Amostras de fibra com diversos tipos de cor (Fonte: Jean Louis Belot)

Assim, o algodão produzido e com capulhos abrindo em clima ensolarado e/ou semidesértico terá sempre uma qualidade visual superior àquele produzido em clima nublado e/ou chuvoso na época da colheita.

Outro parâmetro importante de qualidade é o grau de folha (*Leaf Grade*, LG), que está em função da presença de pedaços de folhas e de brácteas na massa de fibra (Figura 5). Essas impurezas são caracterizadas por seu tamanho e número; o grau de folha e o grau de cor (*Color Grade*, CG) constituem a base da qualidade visual do algodão, que pode ser avaliada pelo classificador através dos padrões físicos universais e dos parâmetros mensurados e estimados pelo medidor de impurezas e do colorímetro do instrumento do tipo *HVI*.

Os pequenos pedaços de impurezas são comumente denominados de "pimentinhas", que são de difícil eliminação ao longo dos processos de fiação. Logo, a indústria de fiação prefere um algodão com pedaços de folhas maiores do que um algodão com grande quantidade de pequenos pedaços de folha. A colheita e o beneficiamento incidem sobre essa qualidade visual, produzindo um algodão com fibras mais ou menos bem homogeneizadas, ou mais ou menos carregado em diversos tipos de impurezas. Os processos de colheita e beneficiamento devem ser ajustados para danificar o menos possível as fibras, evitando quebra das fibras e sementes.

Figura 5. Pedaços de folhas e brácteas na fibra de algodão (Fonte: Jean Louis Belot)

Outros critérios visuais e presença de contaminantes diversos que vão incidir sobre a qualidade visual do algodão são os seguintes:

A "preparação". Determinação feita pelo classificador quanto ao grau de aspecto e toque (lisura) da pluma. O algodão que estiver com alto conteúdo de umidade no momento dos processos de colheita e descaroçamento resultará em pluma com aparência encarneirada. Tanto o excesso quanto a falta de umidade nas fibras de algodão compro-

metem seu processamento ao longo da cadeia têxtil. O encarneiramento da pluma também pode ocorrer por problemas de regulagem das máquinas da linha de beneficiamento do algodão, principalmente perda de rotação e deficiência na sucção.

Os neps. São emaranhados de fibras (Figura 6) normalmente ocasionados por fibras imaturas, que não suportam os esforços mecânicos e se quebram durante os processos de colheita, beneficiamento, abertura, mistura e limpeza (preparação à fiação). A presença desses neps na massa de fibras em processo geram fios com maior número de imperfeições (pontos finos, pontos grossos e neps), alta irregularidade de massa e de pilosidade, redução das diversas resistências. Enfim, baixa qualidade, produção e alto custo de processo.

Figura 6. Neps (pontos brancos) no véu de carda (Fonte: J. J. de Lima)

Os *seed-coat neps* (**SCN**) ou *seed--coat fragments* (**SCF**). São fragmentos de semente de algodão com fibras (Figura 7).

Figura 7. *Seed-coat neps* (SCN) ou *seed coat fragments* (SCF) (Fonte: J. J. de Lima)

Os SCN são problemáticos na fiação, porque não são totalmente removidos durante os processos de fiação e ficam incorporados ao fio, reduzindo sua qualidade. Eles também são de comportamento pegajoso nos órgãos rotativos das máquinas, interrompendo a produção. Certas variedades apresentam sementes pequenas e com casca mais fina, gerando mais SCN no beneficiamento; mas também a regulagem defeituosa dos descaroçadores contribui para a formação de SCN.

A "pegajosidade". Normalmente, a fibra de algodão apresenta, em sua composição química, cerca de 0,3% de açúcar, cuja presença não provoca problema algum aos processos da fiação. No entanto, agentes externos, como insetos (pulgão, mosca-branca e cochonilhas), podem depositar substâncias ricas em açúcares (excrementos) em cima da fibra do capulho aberto (Figura 8); que atrapalham bastante os processos de fiação. Ainda na lavoura, esses açúcares podem servir de alimento para microrganismos, como a fumagina, prejudicando a qualidade visual das fibras.

Figura 8. Capulho com açúcares e desenvolvimento de fumagina (Fonte: Jean Louis Belot)

As contaminações por matérias estranhas: são substâncias que não são originárias do próprio algodão. Caule, capim, bucha de fusos da colhedeira, poeira e óleo são alguns exemplos. É o caso também de pedaços de plástico provenientes das lonas amarelas dos rolinhos de algodão (Figura 9).

Figura 9. Contaminação do algodão por plástico das lonas do rolinho (Fonte: Jean Louis Belot)

As principais contaminações encontradas no Estado de Mato Grosso são as por caule de algodão (*bark*), ou sementes de plantas daninhas (picão-preto ou carrapicho) (Figura 10). Dependendo da quantidade dessas contaminações, o algodão poderá ser desclassificado. Na comercialização de um algodão contaminado, normalmente é acordado um valor de deságio.

Cabe ressaltar que contaminações como picão e caule são unicamente detectados visualmente. Logo, é fundamental treinar, conscientizar e educar os operadores dos aparelhos HVI para detecção dessas contaminações.

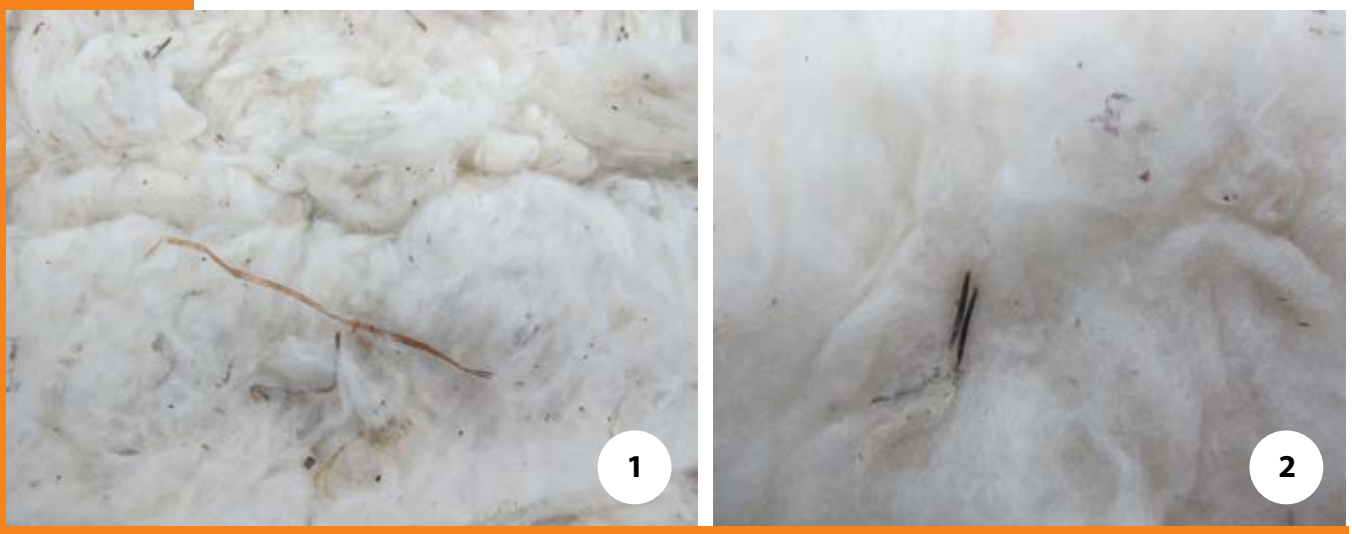


Figura 10. Contaminações com *bark* (1) e Picão Preto (2) (Fonte: Jean Louis Belot)

2.2. A qualidade intrínseca

A qualidade intrínseca da fibra refere-se às propriedades físicas das fibras. É preciso entender que uma amostra de fibra apresenta muita variabilidade, podendo conter fibras de diversos comprimentos e outras qualidades intrínsecas.

Assim, avaliar somente o comprimento médio da fibra é deficiente, faz-se necessário pelo menos avaliar em conjunto com o comprimento médio, a uniformidade do comprimento e o conteúdo de fibras curtas. Essa variabilidade entre fibras de uma mesma amostra de algodão se verifica para todos os parâmetros de qualidade intrínseca.

Outro ponto fundamental é a representatividade das fibras efetivamente usadas na máquina de medição em relação à amostra global, sabendo que em uma amostra de algodão pode existir muita heterogeneidade. Assim, para qualquer aparelho, as metodologias de análise são elaboradas conforme o tipo de amostra (amostra de fardo, amostra experimental previamente homogeneizada etc.) e conforme a precisão desejada para a estimativa de cada parâmetro. No caso da classificação por instrumento HVI, os processos (número de pentes e de repetições no colorímetro e no micronaire) foram estabelecidos pelo USDA tendo em vista a variabilidade do algodão americano e requerimentos de precisão sobre os principais parâmetros de qualidade intrínseca.

As características intrínsecas da fibra, determinadas por diversos tipos de aparelhos, podem ter mais ou menos importância para a indústria, em função do tipo de fiação, para a produção de fios ou tecidos com qualidade.

As principais são as seguintes:

Comprimento da fibra. É a extensão média ou a mais constante ao longo do eixo de um corpo de prova de fibras paralelas previamente preparadas;

Uniformidade do comprimento da fibra. Variação existente entre os comprimentos das fibras num corpo de prova, isto é, se os comprimentos têm pouca ou muita variação. Alguns aparelhos conseguem medir detalhadamente a distribuição do comprimento (AFIS);

Resistência à ruptura. É a força necessária para romper um feixe de fibras;

Alongamento à ruptura. É a diferença (expressa em percentual) entre o comprimento final e o inicial do corpo de prova submetido a uma força de ruptura;

Finura. Constitui uma característica complexa, que pode ser definida de um lado como finura "biológica" (perímetro da seção transversal da fibra, diâmetro) ou como finura "gravimétrica" (densidade linear ou massa por unidade de comprimento);

Maturidade. É o grau que indica a espessura das camadas de celulose da parede secundária em relação a seu diâmetro.

Todas essas características intrínsecas da fibra são avaliadas com mais ou menos confiabilidade por diversos aparelhos desenvolvidos ao longo dos anos. Alguns desses são usados apenas em laboratórios de pesquisa; outros, para classificação comercial, por conta de sua velocidade de análise.

Muitos trabalhos de pesquisa foram realizados para mostrar que essas propriedades físicas intrínsecas da fibra estão correlacionadas aos parâmetros referenciais da qualidade dos fios e tecidos. Por isso, alguns instrumentos de medição, como os HVI, calculam um parâmetro chamado de *SCI*, *Spinning consistency index*, com base na fórmula a seguir, que, de certa forma, caracterizará o comportamento desse algodão no processo de fiação. Quanto mais alto o valor desse índice, melhor o algodão.

SCI = – 414,67 + 2,90 (tenacidade) – 9,32 (micronaire) + 49,17 (comprimento em polegadas) + 4,74 (índice da uniformidade do comprimento) + 0,65 (reflectância) + 0,36 (amarelamento)

Finalmente, está bem consolidada a relação entre as propriedades físicas das fibras com as dos fios e tecidos. Há vários estudos científicos que enumeram por ordem de importância o grau de relação entre as propriedades físicas das fibras e dos fios fiados por tipo de fiação.

3. A classificação da fibra de algodão

A classificação é o ato de determinar a qualidade, que é o conjunto das propriedades intrínsecas e extrínsecas de um produto vegetal, com base em padrões oficiais, físicos ou descritos. A classificação será usada para a comercialização da fibra. O sistema de classificação precisa ser confiável,

porque, a partir dela, será estabelecido o preço de base da fibra, fundamentado em um sistema de prêmio e deságio, levando em consideração algumas propriedades físicas da fibra.

A classificação dá suporte às indústrias têxteis para selecionar a matéria-prima mais adequada a seu processo e produtos, e é base para discussão de preços. Por outro lado, para os produtores/beneficiadores a classificação facilita sobremaneira a colocação do produto no mercado. Atualmente, há processos de negociação de compra e venda do algodão em pluma que somente utilizam a análise da classificação tecnológica (HVI); há também negociações que, além da análise da classificação tecnológica, utlilizam a classificação visual/manual, denominada de *take-up*. Pode-se concluir que a classificação visual/manual e a classificação tecnológia se complementam.

Para a classificação da fibra, o Brasil adotou os padrões físicos universais, padrões elaborados nos EUA pelo USDA.

3.1. Classificação visual

Basicamente, a classificação por tipo é baseada em critérios do grau de cor (quantidade de reflectância e de amarelamento) e do grau de folha (quantidade e tamanho das partículas de impurezas); é realizada em salas de classificação padronizadas, principalmente em termos de iluminação, e usa os padrões físicos do USDA (Figura 11).

O tipo do algodão americano *Upland* é definido com base em um código numérico de três dígitos, composto por dois dígitos que representam o grau de cor (CG), e um dígito que representa o grau de folha (LG). Esses códigos de identificação do grau de cor e do grau de folha correspondem aos padrões físicos universais e a outros padrões descritivos (Tabela 1).

Figura 11. Classificação visual (Fonte: J. J. de Lima)

Tabela 1. Códigos de grau de cor (Fonte: USDA)

Universal American Upland Color Standards					
Grades colors	White	Light Spot (Lt Sp)	Spotted (Sp)	Tinged	Yellow Stained
Graus da cor	Branca	Ligeiramente creme	Creme	Avermelhada (tingida)	Manchada de Amarelo
Good Middling-GM	11*	12	13	--	--
Strict Middling-SM	21*	22	23*	24	25
Middling-M	31*	32	33*	34*	35
Strict Low Middling- SLM	41*	42	43*	44*	--
Low Middling- LM	51*	52	53*	54*	--
Strict Good Ordinary-SGO	61*	62	63*	--	--
Good Ordinary- GO	71*	--	--	--	--
Below Grade- (Below Good Ordinary)- BG	81	82	83	84	85
* Código 11	Cor Boa Média - **GM (Good Middling)**				
* Código 21	Cor Estritamente Média - **SM (Strict Middling)**				
* Código 31	Cor Média - **M (Middling)**				
* Código 41	Cor Estritamente Abaixo da Média - **SLM (Strict Low Middling)**				
* Código 51	Cor Abaixo da Média - **LM (Low Middling)**				
* Código 61	Cor Estritamente Boa Comum - **SGO (Strict Good Ordinary)**				
* Código 71	Cor Boa Comum - **GO (Good Ordinary)**				
Código 81	Abaixo de Padrão 71 - **BG (Below Grade - Below Good Ordinary)**				

Nota: os padrões físicos estão sinalizados por asterisco (*), todos os outros são descritivos.

Há oito graus de folha para o algodão, sendo sete com padrões físicos e um com padrão descritivo (Tabela 2). Cabe ressaltar que o padrão físico do grau de folha está em conjunto com o padrão físico de cor branca para o algodão americano *Upland*. Por exemplo, no Brasil, o algodão padrão de base é o algodão classificado como 41-4, quer dizer, um algodão de grau de cor 41 (*SLM- Strict Low Middling*, Cor Estritamente Abaixo da Média), e com grau de folha 4.

Tabela 2. Códigos do grau de folha do algodão Padrão *American Upland* (Fonte: USDA)

Grau de Folha (L.G.) do algodão americano "Upland" de comprimento Curto e Médio		
Grau da Folha (L.G.)	Código	Correspondente ao Código de Determinação do Grau de Cor (C.G.)
1	LG1	11
2	LG2	21
3	LG3	31
4	LG4	41
5	LG5	51
6	LG6	61
7	LG7	71
8	LG8	81

3.2. Classificação por instrumentos

A classificação por instrumentos laboratoriais é realizada com máquinas *HVI* (*High Volume Instruments*), que analisam rapidamente as amostras coletadas nos fardos de fibra produzidos nas algodoeiras (Figura 12).

A confiabilidade dos resultados de leitura dessas máquinas *HVI* depende de diversos fatores:

- Umidade e temperatura das amostras. As amostras devem ser condicionadas em salas com temperatura de 20°C +/- 2°C; umidade relativa: 65% +/- 2%;
- Calibração dos módulos que mensuram e estimam as propriedades físicas das fibras relativas ao comprimento/resistência, índice micronaire, grau de cor (reflectância/amarelamento) e do grau de folha.

Figura 12. Laboratório HVI, com sala de condicionamento de máquina *HVI* e amostras (Fonte: J. J. de Lima)

É de suma importância que todos os laboratórios *HVI* do Brasil calibrem as máquinas da mesma maneira, a fim de que os resultados de análise de uma amostra sejam equivalentes estatisticamente aos outros laboratórios. A rastreabilidade dos laboratórios brasileiros está sendo realizada pelo Laboratório Central Abrapa, localizado em Brasília (DF), que implementou o programa Standard Brasil (SBRHVI).

A Figura 13 apresenta um relatório de análise *HVI* de fardos comerciais.

UNICOTTON — Versão : V.: 5.047.004 Pág: 1

RESULTADO HVI — Emissão: 06/11/2014 10:28:42

Romaneio: 3008

Produtor: IMAMT - INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODAO — Entrada: 06/11/2014 09:18 — Término: 06/11/2014 10:13

Algodoeira: IMAMT - INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODAO — Fardos no Romaneio: 100 — Fardos Analisados: 100

Nº FARDO	TR	AREA	UHM		UI	SFC	STR	ELONG	MIC	RD	+B	COR	SCI	MAT	Categoria
99.969.001600	8	2,03	1,18	1.3/16	83,6	8,5	28,6	9,0	3,82	69,4	8,4	521	135	83	B - Ótimo
99.969.001601	8	1,55	1,17	1.5/32	84,7	7,1	28,0	8,2	3,55	69,7	9,4	421	141	83	C - Padrão
99.969.001602	7	1,38	1,21	1.7/32	79,5	10,7	32,7	7,3	3,62	65,0	8,5	522	128	84	D - Abaixo do Padrão
99.969.001697	8	1,58	1,18	1.3/16	80,8	8,1	26,3	8,5	4,24	70,3	9,7	421	112	84	D - Abaixo do Padrão
99.969.001698	7	1,18	1,11	1.1/8	81,5	10,0	25,8	8,4	4,02	74,2	10,5	321	116	84	D - Abaixo do Padrão
99.969.001699	8	1,45	1,18	1.3/16	81,7	8,6	30,0	8,0	3,25	71,8	9,6	421	137	82	D - Abaixo do Padrão
MEDIA:	7	1,53	1,16	1.5/32	81,6	9,5	27,8	8,1	3,66	70,2	9,2		125,00	83,28	
MÁXIMO:	8	3,29	1,28	1.9/32	85,5	18,3	32,7	10,4	4,41	80,5	11,6		153,00	85,00	
MÍNIMO:	4	0,44	1,03	1.1/32	77,7	6,7	22,8	6,9	2,62	60,4	8,0		89,00	80,00	
DESV PADRAO:	1,070	0,589	0,043		1,575	1,861	1,796	0,615	0,364	3,369	0,616		12,078	1,016	
CV (%):	14,95	38,64	3,66		1,93	19,51	6,45	7,63	9,93	4,80	6,70		9,70	1,22	

Figura 13. Relatório de análise HVI *(Unicotton, 2014)*

A descrição das principais características analisadas pelo HVI é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Descrição dos principais Itens do protocolo do aparelho HVI

Bale I.D.	Identificação do fardo (amostra), que normalmente é pelo número do fardo.
SCI	***Spinning Consistency Index*** (Índice de consistência da fiação) - é o valor estimado matematicamente da resistência do fio.
Grade (Gr)	***Grade – Gr*** (Grau) - coluna utilizada para introduzir outros dados via teclado, como por exemplo, a classificação visual ***Color Grade – CG*** e ***Leaf Grade – LG***.
Mst (%)	***Moisture - Mst*** (Umidade) – é o conteúdo de umidade no algodão.
Mic ou IM	***Micronaire Index - Mic*** (Índice *micronaire*) - Complexo finura/maturidade
Mat	***Maturity Index - Mat*** (Índice de maturidade)
UHML ou **UHM** ou **LEN**	***Upper Half Mean Length – UHML*** – é o comprimento médio da metade superior ou o comprimento médio dos 50% das maiores fibras, expresso em polegada (**in**) ou em milímetro (mm).
UI ou Un (%)	***Length uniformity* index – *UI*** (Índice de uniformidade do comprimento) – é a relação do comprimento médio dos 100% das fibras (***ML***) com o comprimento médio dos 50% das maiores fibras (***UHML***), expresso em percentual.
SF (%) ou SFI	***Short Fibres Index – SF*** (Índice de fibras curtas) – é a estimativa do conteúdo de fibras menores que 0,5 polegada ou 12,7 milímetros, expresso em percentual.
STR	***Strenght – Str*** (Resistência à rotura) – é a resistência específica ou tenacidade, expressa em ***gf/tex***, ou seja, a divisão da força em gramas (gf) pela densidade linear ou título tex (tex).
Elg (%) ou **ELONG** ou **EL**	***Elongation – Elg*** (Alongamento à rotura) – é quanto o feixe de fibras se alongou até a rotura em relação ao comprimento do corpo de prova inicial, expresso em percentual.
Rd (%) ou **RD**	***% Reflectance - Rd*** (Reflectância) – é a quantidade de reflectância da luz branca pelas fibras, expressa em percentual.
+b ou **+B**	***Yellowness index* - +b** (Índice de amarelamento) - é a quantidade de amarelamento da luz refletida pelas fibras.
C Grd ou **COR**	***Color Grade - CG*** (Grau de cor) – é o grau de cor equivalente aos padrões físicos universais, que são memorizados pelo HVI. Sendo o grau de cor determinado pelo cruzamento do valor de reflectância (*%Rd*) com o valor do amarelamento (+b) no diagrama de cor de *Nickerson/Hunter.*
TrCnt	***Trash Count* - TrCnt** (número de lixo ou número de folha) - Conteúdo de impurezas em número de partículas presentes na área total analisada.
TrAr (%) ou **AREA**	***Trash Area* - TrAr** (Área de lixo) - Área ocupada pelo somatório das partículas de impurezas em função da área total analisada, expressa em percentual.
TrID ou **TrGrd**	***Trash Grade*** ou ***Leaf Grade* - TrGrd** (Grau de lixo ou folha) – grau de lixo (resíduo) ou grau de folha estimado pelo instrumento, tendo de referência os padrões físicos universais.
Std. Dev.	***Stand desviaton* - Std. Dev.** (*Desvio padrão*) – é o desvio médio dos valores ocorridos em relação a média aritmética, expresso em valor absoluto.
C.V.(%)	***Coefficient of variation*** (Coeficiente de variação) – é o desvio padrão expresso em percentual em relação a média.

O grau de cor é determinado pelo colorímetro do instrumento HVI a partir dos diagramas de cores de *Nickerson/Hunter* pelo cruzamento dos valores de reflectância (%Rd) e de amarelamento (+b) (Figura 14).

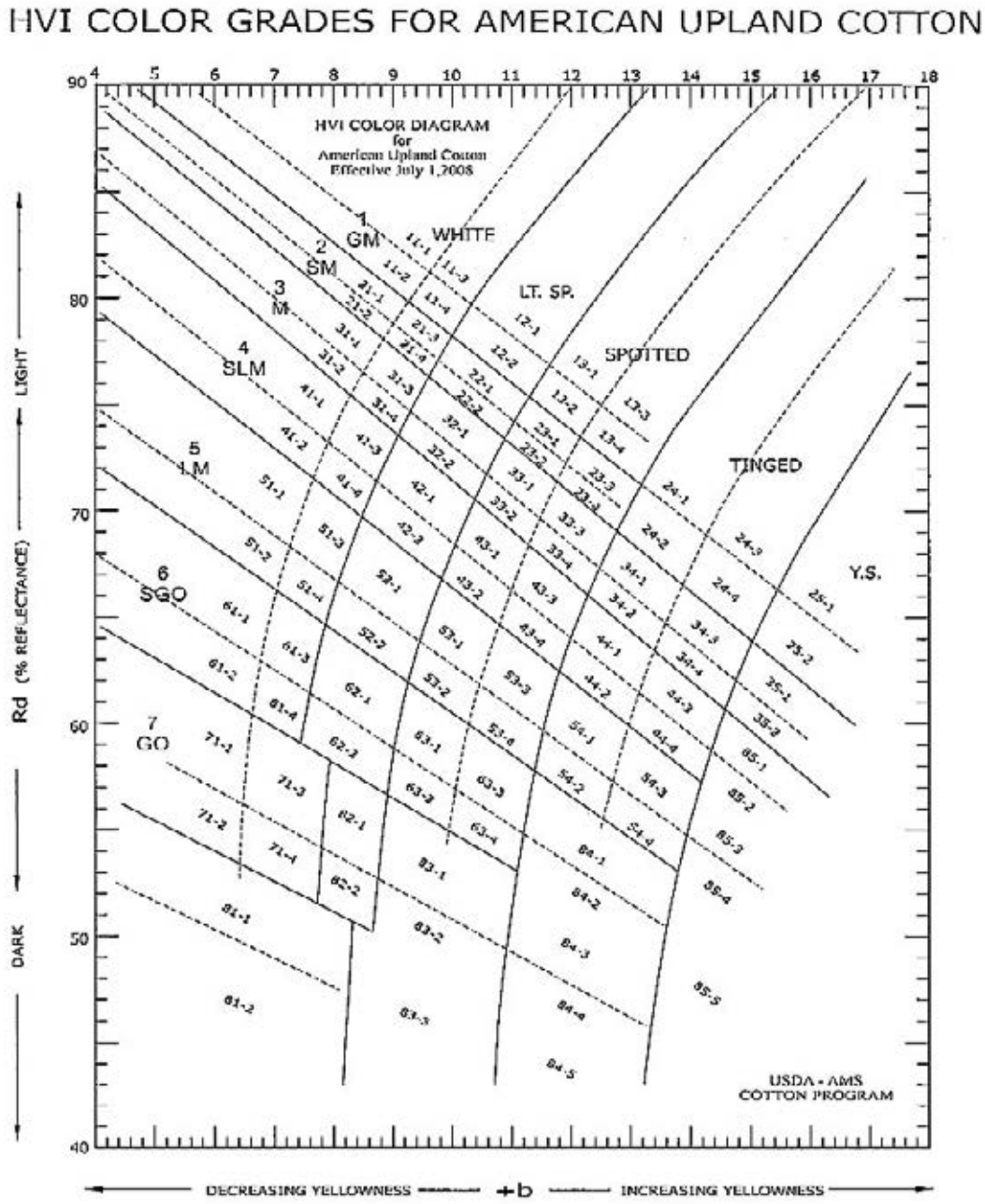


Figura 14 . Diagrama da cor para o algodão americano Upland com código de três dígitos. Padrão USDA a partir dos valores de reflectância (% Rd) e o índice de amarelamento (+b) (Fonte: USDA)

Para as principais propriedades físicas analisadas pelo HVI, podemos dar as seguintes classificações e interpretações:

– <u>Comprimento</u> (UHML ou Len). Para um algodão padrão 41-4, o comprimento de referência seria de 35/32" = 1'3/32" (27,8 mm). Em função da tabela de classificação oficial (Tabela 4), um algodão de comprimento 1'3/32" seria um algodão com comprimento UHML entre 27,3 e 27,9 mm. Abaixo de 27,3 mm de comprimento, o algodão poderá sofrer deságio;

Tabela 4. Código Universal para a determinação do comprimento - Padrões oficiais para o algodão "*Upland*" dos Estados Unidos da América (Fonte: BRASIL. Instrução Normativa nº 63)

Algodão em Pluma equivalente ao algodão americano "Upland" de comprimento Curto e Médio				
Comprimento de fibra em 32 avos da polegada (*classer's staple*)		Comprimento de fibra em (*UHML*) mensurado por instrumentos do tipo *HVI*		Código Universal
		em centésimos da polegada	em décimos do milímetro	
24/32	Abaixo de 13/16	0,79 + curta	20,1+ curta	24
26/32	13/16	0,80 - 0,85	20,2 – 21,6	26
28/32	7/8	0,86 - 0,89	21,7 – 22,6	28
29/32	29/32	0,90 - 0,92	22,7 – 23,4	29
30/32	15/32	0,93 – 0,95	23,5 – 24,2	30
31/32	31/32	0,96 – 0,98	24,2 – 24,9	31
32/32	1	0,99 – 1,01	25,0 – 25,7	32
33/32	1.1/32	1,02 – 1,04	25,8 – 26,4	33
34/32	1.1/16	1,05 – 1,07	26,5 – 27,2	34
35/32	1.3/32	1,08 – 1,10	27,3 – 27,9	35
36/32	1.1/8	1,11 – 1,13	28,0 – 28,7	36
37/32	1.5/32	1,14 – 1,17	28,8 – 29,7	37
38/32	1.3/16	1,18 – 1,20	29,8– 30,5	38
39/32	1.7/32	1,21 – 1,23	30,6 – 31,2	39

– Índice de uniformidade do comprimento (UI): Observe os parâmetros referenciais na Tabela 5;

Tabela 5. Interpretação dos valores do índice de uniformidade do comprimento (UI) (Fonte: BRASIL. Instrução Normativa nº 63)

Índice de Uniformidade do Comprimento da Fibra (%UI) (algodão em pluma de comprimento curto e médio)	
Categoria	**(%UI)**
Muito alta	Acima de 85%
Alta	85 a 83%
Média	82 a 80%
Baixa	79 a 77%
Baixa muito baixa	Abaixo de 77%

– Fibras curtas (SFC, SFI, SF): é o conteúdo de fibras curtas, menores que meia (0,5) polegada ou 12,7 milímetros, expresso em percentual. Observe os parâmetros referenciais na Tabela 6;

Tabela 6. Interpretação dos valores de SFC/SFI/SF (Fonte: USTER, 1999)

Índice de fibras curtas (algodão em pluma de comprimento curto e médio)	
Categoria	**% SFI**
Muito baixa	Abaixo de 6%
Baixa	6 a 9%
Regular	10 a 13%
Alta	14 a 17%
Muito alta	Acima de 17%

– Resistência da fibra à ruptura (STR): Observe os parâmetros referenciais na Tabela 7;

Tabela 7. Interpretação dos valores de Resistência à rotura (STR) (Fonte: BRASIL. Instrução Normativa nº 63)

Resistência da fibra (em gramas-força por tex) com garra de 1/8 de polegada (algodão em pluma de comprimento curto e médio)	
Categoria	**Gramas - força por tex (gf/tex)**
Muito resistente	31 gf/tex para cima
Resistente	30 a 29 gf/tex
Média	28 a 26 gf/tex
Intermediária	25 a 24 gf/tex
Fraca	23 gf/tex para baixo

– Alongamento à ruptura (Elongation - Elg - %). Observe os parâmetros referenciais na Tabela 8;

Tabela 8. Interpretação dos valores de alongamento à ruptura (EL) (Fonte: USTER, 1999)

Percentual de alongamento da fibra à ruptura (Elongation - EL - %) (algodão em pluma de comprimento curto e médio)	
Categoria	**Elongation (Elg - %)**
Muito baixo	Abaixo de 5,0%
Baixo	5,0 a 5,8%
Médio	5,9 a 6,7%
Alto	6,8 a 7,6%
Muito alto	Acima de 7,6%

– Índice micronaire: Observe os parâmetros referenciais na Tabela 9;

Tabela 9. Interpretação dos valores do índice micronaire (*Mic*) (Fonte: USTER, 1999)

Índice micronaire (*Mic*)	
Categoria	**Índice *micronaire***
Muito fina	Abaixo de 3,0
Fina	3,0 a 3,9
Média	4,0 a 4,9
Grossa	5,0 a 5,9
Muito grossa	Acima de 6,0

O índice micronaire é muito importante para a comercialização da fibra, embora esse critério seja um conjunto de finura com maturidade.

– Maturidade (Mat): o índice de maturidade estimada pelo *HVI* é um valor calculado, que envolve os valores de outras propriedades físicas (índice micronaire, resistência e alongamento à ruptura). Esse índice ainda não apresenta boa confiabilidade.

3.3. Classificação comercial: preços, ágios e deságios

Cada vez mais, o sistema de classificação da fibra de algodão é baseado em classificação por instrumentos, com máquinas *HVI*, deixando ainda a classificação de alguns parâmetros para os classificadores avaliarem de forma visual, tal como o modo de preparação e contaminações de materiais estranhos.

Para o estabelecimento do preço da fibra, faz-se necessário conhecer os valores tabelados atuais dos ágios e deságios.

No site da Bolsa Brasileira de Mercadorias (BBM), no Sistema de Informações de Negócios com Algodão em Pluma (Sinap), são informados valores de ágios e deságios para os mercados internos e de exportação (Tabela 10). O tipo SLM (*Strict Low Middling*, Cor Estritamente Abaixo da Média) de código 41-4, sendo o algodão de base para o mercado interno, e o tipo M (Middling, Cor Média) de código 31-4 para o mercado de exportação.

Tabela 10. Ágios e deságios para o mercado interno e externo (2023) (Fonte: https://www.bbmnet.com.br/sinap--algodao/tabela-de-agios-e-desagios)

BOLSA BRASILEIRA DE MERCADORIAS

ÁGIOS E DESÁGIOS

MERCADO INTERNO — Ágios e deságios - Padrões universais - pontos em R$/lp — 16/10/2023

Tipos brancos (white grades)	folha / tipo	1&2	3	4	5	6	7
Cor boa média (good middling)	11	-	-	-	-	-	-
Cor estritamente média (strict middling)	21	800	700	-	-	-	-
Cor média (middling)	31	700	600	500	-	-	-
Cor estritamente abaixo da média (strict low middling)	41	-	300	base	-300	-	-
Cor abaixo da média (low middling)	51	-	-	-600	-750	-900	-
Cor estritamente boa comum (strict good ordinary)	61				1100	1250	1500
Cor boa comum (good ordinary)	71	-	-	-	-	n	n
Abaixo de padrão (below grade)	81	-	-	-	-	n	n

Cor (color)	
1- Branco (white)	Base
2- Ligeiramente creme (light spot)	-500
3- Creme (spotted) (todos os tipos)	-1600
4- Avermelhado (tinged)	-1900
5- Amarelado (yellow stained)	n

Fibra	
1"	n
1.1/32	-1300
1.1/16	-800
1.3/32	Base
1.1/8	750
1.5/32	n

Micronaire (Para cada micronaire (0,1) abaixo e/ou acima do garantido no contrato, os seguintes descontos)	
Micro Valor Abaixo ou Acima do Garantido	Desconto (Pontos)
0,1	-400
0,2	-700
0,3	-1300
0,4	-1500
0,5	-1900
0,6	-2300

Abaixo 0,7 nominal

SFI - Fibra Curta	
≤ 10	Base
10,1 a 11,1 a 11,9	-400
≥ 12	-550
	n

n = nominal

Resistência da Fibra	
Intervalos de resistência abaixo do mínimo contratado:	Desconto (Pontos)
0,1 a 0,5	-300
0,6 a 1	-500
1,1 a 2	-700
2,1 a 3	-1300
3,1 a 4	-1700
4,1 a 5	-2100

e assim por diante: 500 para cada mais 1 gf / tex de intervalo.

MERCADO EXTERNO — Ágios e deságios - Padrões universais - pontos em US$/lp — 16/10/2023

Tipos brancos (white grades)	folha / tipo	1&2	3	4	5	6	7
Cor boa média (good middling)	11	n	-	-	-	-	-
Cor estritamente média (strict middling)	21	100	75	-	-	-	-
Cor média (middling)	31	75	50	base	-	-	-
Cor estritamente abaixo da média (strict low middling)	41	-	50	-100	-150	-	-
Cor abaixo da média (low middling)	51	-	-	-200	-350	-400	-
Cor estritamente boa comum (strict good ordinary)	61				600	700	800
Cor boa comum (good ordinary)	71	-	-	-	-	n	n
Abaixo de padrão (below grade)	81	-	-	-	-	n	n

Cor (color)	
1- Branco (white)	Base
2- Ligeiramente creme (light spot)	-100
3- Creme (spotted) (todos os tipos)	-250
4- Avermelhado (tinged)	-500
5- Amarelado (yellow stained)	n

Fibra	
1"	n
1.1/32	-400
1.1/16	-200
1.3/32	Base
1.1/8	150
1.5/32	175

Micronaire (Para cada micronaire (0,1) abaixo e/ou acima do garantido no contrato, os seguintes descontos)	
Micro Valor Abaixo ou Acima do Garantido	Desconto (Pontos)
0,1	-100
0,2	-200
0,3	-300
0,4	-400
0,5	-600
0,6	-800

de 0,7 para baixo ou para cima, nominal.

SFI - Fibra Curta	
≤ 10	Base
10,1 a 11,1 a 11,9	-100
≥ 12	-150
	n

n = nominal

Resistência da Fibra	
Intervalos de resistência abaixo do mínimo contratado:	Desconto (Pontos)
0,1 a 0,5	-50
0,6 a 1	-100
1,1 a 2	-150
2,1 a 3	-300
3,1 a 4	-400
4,1 a 5	-500
> 5 , nominal	

A Associação Nacional dos Exportadores de Algodão (Anea) publica também valores de ágios e deságios que obedecem às regras do mercado externo (mercado internacional) (Tabela 11). Os valores são levemente diferentes daqueles publicados pela BMF.

Tabela 11. Prêmios e descontos para exportação (Anea - Brasil) (Fonte: Anea, 2025. http://www.aneacotton.com.br/pt-br/servicos/agio-e-desagio)

ANEA
Agios Desagios/(Premiums & Discounts)
Valores/(Values): pontos/(points) /lb (US$)

fev/25							
Padrões Universais							
(Universal Standards)	Folha:	1 & 2	3	4	5	6	
TIPOS BRANCOS/(WHITE GRADES)							
Cor Boa Média/(Good Middling)	11	n	n	n	n	n	n
Cor Estritamente Média/(Strict Middling)	21	75	n	n	n	n	n
Cor Média/(Middling)	31	50	25	Base	n	n	n
Cor Estritamente Abaixo da Média/(Strict Low Middling)	41	n	n	-100	n	n	n
Cor Abaixo da Média/(Low Middling)	51	n	n	n	-400	n	n
Cor Estritamente Boa Comum/(Strict Good Ordinary)	61	n	n	n	n	-700	n
Cor Boa Comum/(Good Ordinary)	71	n	n	n	n	n	-1.000
Abaixo de Padrão/(Below Grade)	81	n	n	n	n	n	n

Cor/(Color)	
1- Branco (White)	Base
2- Ligeiramente Creme (Light Spot)	-200
3- Creme (Spotted)	-500
4- Tinged	n

SFI/SFC (Short Fiber Index/Content)	
<10	Base
10,1/11,9	-100
12>	n

Micronaire	
5.20>	n
5.00/5.20	-600
4.95/4.99	-300
3.45/4.94	Base
3.25/3.44	-600
2.95/3.24	-950
2.65/2.94	-1.500
2.45/2.64	-2.250
<2.45	n

Resistencia/(Strength)	
g/tx	
>21,00	n
21.00/22.99	-1.000
23.00/24.99	-600
25.00/26.99	-300
27.00/27,99	-100
28.00/30,99	Base
31.00/32.99	50
>33.00	100

Comprimento/(Staple)	
>1.5/32"	50
1.1/8"	Base
1.3/32"	-200
1.1/16"	-400

Esta tabela se refere a algodão livre de talo, capim, sementes, caramelização, de boa preparação, não encarnerado.

This table refers to cotton free of bark, grass, seeds, honeydew and of good

Vendo essas tabelas, percebemos que, muitas vezes, os valores de deságio são mais elevados que os valores de ágio. Assim, é de grande importância que o agricultor consiga produzir uma fibra com parâmetros de qualidade que ficam acima de certos valores estipulados nos contratos comerciais.

De modo geral, para evitar maiores problemas na comercialização, os valores dos parâmetros de qualidade medidos com HVI teriam que ser, no mínimo, os seguintes:

Comprimento da fibra (Len): ficar na categoria de comprimento 1.3/32' para cima, ou seja, uma fibra de comprimento superior ou igual a 27,4 mm;

Uniformidade da fibra (UI): ser superior ou igual a 81%. Valores inferiores podem significar que a fibra apresenta um alto conteúdo em fibras mais curtas;

Índice de fibras curtas (SFI): apesar de não ter algodão de calibração, os valores desse parâmetro precisariam ser inferiores a 10%. Acima desse valor, e principalmente acima de 12%, os deságios podem ser significativos, e certas indústrias poderiam até não aceitar a fibra;

Resistência (STR): precisa ser superior ou igual a 27 g/tex;

Micronaire (Mic): deve ficar no intervalo de 3,5-4,9. Fibra de micronaire inferior a 3,5 ou superior a 5 entram nas faixas de desconto. Micronaire inferior a 3,5 é muitas vezes relacionado a fibra imatura.

Para os mercados mais exigentes, podem ser estipulados valores diferentes nos contratos comerciais, correspondendo à fibra de tipo superior: micronaire no intervalo de 3,8-4,2, fibra de comprimento superior a 29 mm e resistência acima de 30 g/tex.

4. Considerações finais

A qualidade da fibra é elaborada a campo; o manejo da lavoura definirá as principais propriedades de qualidade da fibra, qualidade de "tipo" e/ou qualidade intrínseca. Muitas etapas do manejo da lavoura, desde a escolha da variedade até a pré-colheita, podem contribuir para a elaboração dessa qualidade.

Uma vez definida a campo, a qualidade deverá ser preservada ao máximo ao longo dos processos de colheita e pós-colheita (beneficiamento), a fim de assegurar rentabilidade máxima para o produtor.

Algumas propriedades da fibra, como índice micronaire, têm forte incidência sobre o valor comercial do produto, apesar de não ter obrigatoriamente incidência negativa sobre os processos têxteis. Porém, já que essas características fazem parte dos critérios de comercialização, o produtor terá que enquadrar o máximo que possível sua produção em função desses critérios.

Enfim, quanto mais se sabe sobre a matéria-prima, melhor é para vendê-la, comprá-la, processá-la e obter melhores resultados de produtividade em fiação, flexibilidade, qualidade, tempo, custo e rentabilidade.

Referências bibliográficas: para obtenção das referências bibliográficas deste capítulo, entrar em contato com os autores por meio do e-mail: jeanbelot@imamt.org.br

João Paulo Saraiva Morais
Embrapa Algodão

Manoel Francisco de Sousa
Embrapa Algodão

Frederico Olivieri Lisita
Embrapa Algodão

Everaldo Medeiros
Embrapa Algodão

Jean-Louis Bélot
IMAmt

CAPÍTULO 6.5

Valorização dos coprodutos do algodoeiro com foco na alimentação animal

Capítulo publicado originalmente em 2014/15 por Morais, Medeiros e Belot, e revisado em 2019/20. A atualização de 2025 contou com a colaboração de autores suplementares.

Introdução

O principal produto do cultivo do algodoeiro é a pluma, produzida para a indústria têxtil, e o óleo refinado, para a indústria alimentícia. Porém, da planta do algodão aproveita-se quase a totalidade. Vários coprodutos, subprodutos e resíduos são gerados e utilizados em grande escala para alimentação animal, especialmente na de ruminantes (bovinos, caprinos e ovinos). Dentre esses coprodutos destacam-se quatro: o resíduo de algodoeira, o caroço, a torta e o farelo de algodão, que são capazes de substituir diversas outras fontes nutricionais, como os produtos das cadeias produtivas da soja e do milho, e destacam-se entre as mais importantes fontes proteicas para a alimentação animal no Brasil e no mundo.

O rendimento em pluma do algodão herbáceo é variável, com registros que vão de 38% a 48%. Esses rendimentos de pluma indicam que o rendimento do caroço, constituído por línter, casca e amêndoa (Freire, 2004), varia de 62% a 52% (Kumar *et al*., 2021; Riaz *et al*., 2023). A porcentagem de línter nas sementes de algodão pode variar de 12% em variedades mais antigas de algodão herbáceo até 6-8,5% em variedades mais recentes (Sczostak, 2009), indicando que 94-91,5% da massa do caroço é composta por casca e amêndoa. Até hoje, estima-se que metade de todo o caroço de algodão produzido nos EUA seja usado para a alimentação de gado leiteiro (Mullenix *et al*., 2022).

O Brasil é um dos principais produtores de proteína animal do mundo, seja de carnes bovinas, caprinas, ovinas, suínas ou aves. No país, essas atividades requerem um quantitativo muito grande de ingredientes que participem das dietas dos animais produtores, sendo a alimentação responsável por cerca de 70% dos custos de produção das cadeias produtivas de proteína animal.

A utilização dos coprodutos da cadeia produtiva do algodão se associa perfeitamente ao aumento da busca pela intensificação dos sistemas produtivos da atividade pecuária, seja no setor de monogástricos ou de ruminantes, principalmente neste último. Pecuaristas utilizam cada vez mais o confinamento, o semiconfinamento, o sistema de recria, *free stall*, dentre outras alternativas de criação, em que a dieta dos animais é altamente exigente e fornecida basicamente em cocho, buscando a capacidade de transformar esses coprodutos em carne, leite, lã, pele e ovos.

Esses coprodutos vêm se tornando cada vez mais importantes nas formulações das dietas completas, não apenas por substituir ingredientes como milho e farelo de soja, mas também como ingrediente estratégico para dietas de determinadas espécies ou categorias animais, como, por exemplo, vacas em lactação. Esses coprodutos são excelentes fontes de fibras, energia e proteína para os animais de produção, capazes de fornecer um suplemento de boa qualidade nutricional.

Essa demanda por coprodutos é crescente no mundo todo, devido à melhor utilização dos recursos alimentares disponíveis, que não competem com a alimentação humana, além de implicar em menores desperdícios e na maximização de sua utilização – importantes para a mitigação de efeitos danosos ao meio ambiente – além de baratear o preço da alimentação animal, tornando as atividades rentáveis. Portanto, a seguir descreve-se, sucintamente, a produção e a qualidade de coprodutos da cultura algodoeira e sua viabilidade na alimentação animal, especialmente de ruminantes.

1. Resíduos de algodoeiras

O algodão em caroço é levado à algodoeira com sujeira, pedaços de folhas, cascas e ramos – impurezas que serão eliminadas em diversos processos, gerando volumes significativos de "casquinha" e outros resíduos. Em outras etapas do beneficiamento, outros tipos de impurezas serão gerados, em menor quantidade, como "motes" e fibrilas. Nas algodoeiras, esses subprodutos podem ser comercializados ou usados na própria fazenda.

A casquinha, geralmente, é usada para alimentar o gado. Pode ser utilizada também para produção de "compostos" (Figura 1) ou adubos organominerais, após processos de compostagem (Cf. CT11/2014 do IMAmt, *Compostagem de subprodutos das algodoeiras*).

Algumas fazendas confeccionam, com as casquinhas, briquetes compactados (Figura 2) para uso em fornos de secadores, no lugar da lenha. Prensas para a fabricação desses briquetes, inclusive a partir de outros tipos de resíduos, são comercializadas por diversas empresas.

O poder calorífico desse material é apresentado na Tabela 1.

Figura 1. Composto feito a partir de casquinhas de algodão e outras matérias-primas (Fonte: Elio Torre)

Figura 2. Prensa para fabricação de briquetes a partir de casquinhas de algodão ou de outros resíduos (Fonte: internet)

Tabela 1. Poder calorífico de briquetes fabricados com diversos resíduos (Fonte: Biomax)

Produto	Tipo de resíduo	Poder calorífico Sup. Kcal/k	Peso específico g/cm³	Peso a granel Kg/m³	Umidade
Briquete	Casca de arroz	3.800	1100	650 - 700	12%
	Casca de café	4.100	1100	650 - 700	12%
	Resíduos de algodão	4.300	1100	650 - 700	12%
	Resíduos de pinus	4.600	1170	700 - 750	12%
	Bagaço de cana	4.700	1100	650 - 700	14%
	Resíduos de madeira de lei	4.900	1200	750 - 800	12%
	Resíduos de eucalipto	4.800	1180	720 - 780	12%
Lenha comercial	-	2.200 a 2.500	600	350 - 400	25 - 30%

2. O caroço de algodão e seus coprodutos

No processo de beneficiamento do algodão, as fibras são removidas, e o caroço surge como um coproduto importante. O caroço de algodão poderá ser destinado a três fins: utilização na forma de semente, deslintado ou não; na alimentação animal; ou na produção de óleo, sendo que esta última originará dois importantes coprodutos: a torta e o farelo.

O caroço de algodão é um produto que sempre será produzido juntamente com a pluma do algodão, já que cada fibra de algodão é uma única célula que surge a partir da superfície do caroço. Nas variedades atualmente comercializadas, a porcentagem de fibra fica entre 38% e 48%, enquanto o caroço representa entre 52% e 62% do peso colhido. A produção de caroço de algodão no Brasil, na safra 2024/25, será de 5.497 milhões de toneladas, derivada de uma produção estimada de 3.904 milhões de toneladas de pluma (Abrapa, 2025). É extremamente importante que esse coproduto seja usado em toda a sua potencialidade para alavancar a economia nacional.

O caroço é composto por diversas frações: o línter e as impurezas, as cascas (tegumentos da semente) e a amêndoa (Figura 3).

Figura 3. As diversas partes de um caroço de algodão (Fonte: Jean-Louis Bélot)

Tabela 2. Conteúdo em óleo e proteína do caroço de algodão

Caroço bruto (com línter) de algodão (*G. hirsutum*)		
	Valor médio (%)	**Intervalo**
Línter	8,5	4-12%
Cascas	26	24-28%
Óleo	16	14-22%
Farinha	45,5	43-47%
Valores geralmente obtidos em unidades industriais de extração de óleo		
Proteínas	20-22%	
Óleo	18-20%	
Amido	3-4%	
Fibras	28%	

O caroço de algodão bruto apresenta ao redor de 8,5% de línter, fibras pequenas que não foram removidas da superfície das sementes durante o processo de descaroçamento. O caroço sem linter é composto aproximadamente, por 32% de cascas, 60% de cotilédones e 8% de embrião (primórdio de caule e raízes). Outras maneiras de apresentar a composição do caroço estão apresentadas na Tabela 2, sendo que há muita variabilidade em função das variedades empregadas, das condições de cultivo e beneficiamento, do clima, etc.

O caroço de algodão (Figura 4) é obtido durante o descaroçamento do algodão, nas algodoeiras, como um coproduto da cotonicultura. Após os caroços serem separados das fibras, esses grãos são armazenados em pilhas em galpões, com a umidade na faixa de 10% a 15%. Geralmente, no início da safra, os grãos apresentam umidade maior e são enviados o mais rapidamente possível para as esmagadoras, enquanto grãos com menor umidade são armazenados ao longo do ano (Willcutt & Mayfield, 1994).

Nas esmagadoras, os caroços de algodão podem ter o línter de primeiro e segundo corte removido (Sczostak, 2009). Em um processo clássico de esmagamento, os grãos, com ou sem línter, são extrusados em um filtro-prensa, separando-se óleo e torta. Essa técnica não remove todo o óleo da torta, o que reduz o teor de proteína (Arude, 2023). Alterações nesse processo de extração podem ser feitas para maximizar a separação entre óleo e proteína.

Figura 4. Caroços de algodão após o descaroçamento. Ainda há uma camada de fibras curtas, chamadas línter, aderidas às cascas (Fonte: Abiove, 2025)

Se a casca do algodão (Figura 5) for removida antes da prensagem, ela poderá ser comercializada separadamente e não interferirá na extração do óleo. As cascas são ricas em celulose e lignina, agindo como um volumoso destinado à ração animal. Assim, é possível produzir rações animais com diferentes teores de proteína, misturando-se diferentes proporções de casca e torta (Freire, 2004).

A tecnologia de extração de óleo pode influenciar a qualidade da torta (Figuras 6 e 7). Há carência de estudos sobre os efeitos da extrusão da torta de algodão na digestibilidade de proteínas e nos fatores antinutricionais. Entretanto, há relatos de que a extrusão, quando realizada sob determinados ajustes, pode reduzir compostos fenólicos antinutricionais em tortas de soja, canola e girassol (Vidal *et al.*, 2022). Também há relatos de que a extrusão aumenta a digestibilidade das proteínas da torta de canola (Salazar-Villanea *et al.*, 2018).

Os diferentes processos levam à produção de tortas e farelos com diferentes composições químico-bromatológicas (Kumar *et al.*, 2021) (Figura 8). Uma torta produzida pela extração mecânica do óleo terá maior percentual de óleo e, consequentemente, menor teor de proteína. Se a extração for feita com solvente, como etanol, o teor de óleo residual é bastante reduzido, e o teor de proteína pode chegar a até 55%.

Parte importante do caroço é comercializada para a produção de óleo, em pequenas unidades (extração mecânica), e para indústrias de esmagamento (extração por solventes). A transformação na fazenda visa agregar valor ao caroço, e diversos processos podem ser contemplados. Porém, uma análise econômica deve ser realizada caso a caso para determinar tanto o custo de investimento quanto as taxas de retorno sobre o investimento das usinas, garantindo o aproveitamento integral e local do caroço de algodão. Provavelmente, nas regiões produtoras de algodão, a abundância da oferta de caroço e a demanda pelos coprodutos que dele podem ser obtidos justificam esse investimento, pois aumentam as divisas geradas ao longo da cadeia produtiva do algodão.

Algumas fazendas equipam-se com prensas (Figura 9) a fim de extrair óleo bruto de algodão (Figura 10), tentando agregar valor e comercializando o óleo e a torta gorda.

Figura 5. Casca de algodão separada da amêndoa. A casca é rica em fibras, enquanto a amêndoa é rica em óleo e proteína (Fonte: Abiove, 2025)

Figura 6. Torta de algodão prensada (Fonte: Abiove, 2025)

Figura 7. Torta de algodão moída (Fonte: Abiove, 2025)

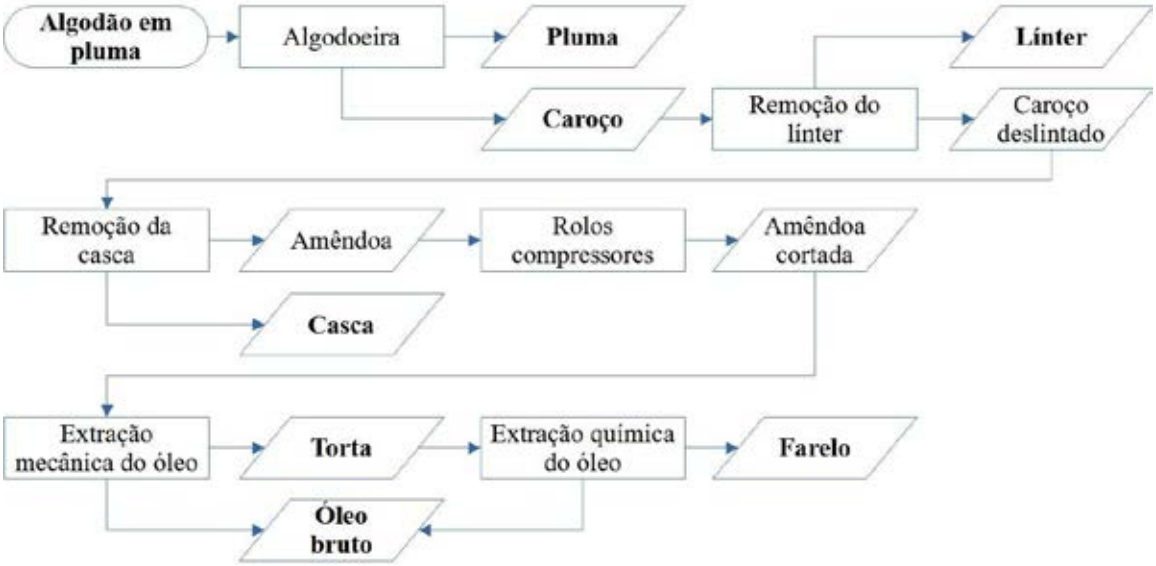


Figura 8. Processo de fracionamento da biomassa do caroço de algodão (Fonte: autoria própria)

Figura 9. Prensa para extração de óleo bruto e produção de torta gorda instalada em uma fazenda (Fonte: Jean-Louis Bélot)

No passado, algumas algodoeiras investiram em deslintadeiras mecânicas no Paraná, a fim de remover o línter e deixar o caroço quase totalmente "deslintado". Essas máquinas antigas eram muito exigentes em energia, e o valor do línter não compensava o investimento, o que as pôs em desuso.

Por outro lado, na transformação industrial do caroço, as indústrias brasileiras de produção de óleo trabalham principalmente com soja, porém processam também o caroço de algodão. Os processos industriais são complexos para extrair o máximo que possível de óleo do caroço, usando prensas com altas temperaturas, muitas vezes associadas, em sequência, à extração por solvente (Figura 11).

Figura 10. Óleo de algodão não refinado (Fonte: Everaldo Medeiros)

Figura 11. Unidade industrial de extração de óleo de algodão (Fonte: Caramuru)

Nesse caso, várias etapas são necessárias: deslintamento, descasca do caroço deslintado, extração mecânica, extração com solvente (hexano) e refino do óleo. Desse processo industrial, muitos subprodutos são produzidos e comercializados pelas indústrias para mercados variados, entre os quais destacam-se: a) o óleo produzido, principalmente destinado ao consumo alimentar (óleo, margarinas etc.), que é pouco usado atualmente para produção de biodiesel em razão do alto custo do óleo de algodão em relação ao do óleo de soja ou à gordura bovina; b) o línter; c) a torta; d) o farelo.

3. Os coprodutos do caroço de algodão na alimentação de ruminantes

Para a utilização do caroço, da torta e do farelo de algodão em animais de produção, faz-se necessário o conhecimento da composição química destes e dos outros ingredientes utilizados nas dietas, visando atender às exigências nutricionais dos animais. Deve-se atentar também para o conhecimento da forma de apresentação e de fornecimento do produto, bem como das técnicas de manejo alimentar e nutricional, a fim de minimizar efeitos negativos sobre a saúde e tornar os sistemas cada vez mais eficientes. As dietas devem ser formuladas com o máximo de precisão, minimizando perdas e aumentando a eficiência do uso dos nutrientes existentes nestes coprodutos.

O uso de coprodutos do algodão na alimentação de ruminantes tem sido amplamente explorado como alternativa viável e eficiente, tanto em sistemas intensivos quanto extensivos de produção. Entre os coprodutos, o caroço de algodão, a torta de algodão e o farelo de algodão destacam-se por suas características nutricionais, disponibilidade e custo competitivo frente a ingredientes tradicionais, como o farelo de soja e o milho (Coppock *et al.*, 1987; Abdalla *et al.*, 2008). Esses coprodutos vêm se tornando cada vez mais importantes nas formulações das dietas completas, não apenas por substituir ingredientes como milho e farelo de soja, mas também como ingrediente estratégico para dietas de determinadas espécies ou categorias animais, como, por exemplo, vacas em lactação.

3.1. Valor nutricional dos coprodutos do caroço de algodão

A composição químico-bromatológica varia muito. Essas variações devem ser levadas em consideração no momento da elaboração das dietas dos animais. Essa grande variação acontece muito em função de alguns fatores como a cultivar, condições climáticas, época de colheita e processamento que podem afetar significativamente de línter e o teor de umidade, influenciando a composição

química do ingrediente. O ideal é que o caroço de algodão e outros coprodutos sejam analisados em laboratório para determinação do real valor nutritivo no momento de fornecimento aos animais.

O caroço de algodão é uma fonte de gordura naturalmente protegida, já que a gordura está presente na amêndoa do caroço de algodão que está protegida pela casca, tornando a liberação dos lipídeos no ambiente ruminal mais lenta e diminuindo os efeitos deletérios sobre os microrganismos ruminais.

Diversos estudos têm demonstrado que níveis de lipídeos na matéria seca, em dietas totais, acima de 5 a 7% para ruminantes, podem interferir na fermentação ruminal, reduzindo a digestibilidade e o consumo de matéria seca (Palmquist, 1994; Cenkvári *et al.*, 2005; Maia *et al.*, 2006). Os possíveis mecanismos que provocam tal efeito podem estar associados aos ácidos graxos insaturados e à sua ação tóxica sobre os microrganismos gram-positivos do rúmen, como as bactérias fibrolíticas, dificultando a digestibilidade da fibra pelo efeito inibitório, ou ou pela formação de uma camada protetora ao redor da partícula ruminal, impedindo a aderência dos microrganismos ao substrato, e, consequentemente, a degradação do alimento que passa pelo rúmen (Palmquist, 1995).

Diversos trabalhos pesquisados evidenciam que o caroço de algodão apresenta boa capacidade de manter a atividade mastigatória, o que o torna em uma fonte de fibra efetiva.

A utilização de fontes lipídicas em dietas totais para ruminantes, principalmente aquelas ricas em ácidos graxos insaturados, tem despertado interesse por aumentar a densidade energética, melhorar a eficiência de utilização de nutrientes, influenciar positivamente a reprodução animal e alterar positivamente o perfil de ácidos graxos do leite, além de contribuir para a redução da metanogênese e do incremento calórico. Esses dados corroboram Muñoz *et al.* (2021), que relataram que a suplementação com fontes lipídicas é uma opção para a redução da emissão de metano em ruminantes.

Os teores de fibras, extrato etéreo, proteínas e fatores antinutricionais da torta e do farelo variam muito de acordo com as características intrínsecas do algodão em caroço original, do tipo de coproduto a ser utilizado pelos animais, do método de extração do óleo e da proporção de casca/amêndoa. A torta e o farelo são resultantes de processamentos industriais, e sua variação em composição nutricional é comum, pois depende de fatores como moagem, prensagem, tipo de extração, além da variação natural do material originário, que pode ser influenciada pelas características do solo, variedades ou cultivares, etc.

Análises químicas indicam as seguintes composições químicas em coprodutos de algodão: 88,1 a 94,2% de matéria seca (MS); 1,2 a 11,4% de extrato etéreo (EE); 25,9 a 47,5% de proteína bruta (PB); 28,4 a 58,9% de fibras solúveis em detergente neutro (FDN); 2,6 a 21,5% de fibras solúveis em detergente ácido (FDA) e 4,4 a 15,1% de lignina (Valadares Filho *et al.*, 2018; Valadares Filho *et al.*, 2020). Considerando-se um processo no qual as amêndoas sejam descascadas e esmagadas, dependendo da variedade e do teor de proteína original, pode-se obter um teor de aproximadamente 38% de proteína na amêndoa e até 40% na torta prensada a frio. Se ainda for realizada a remoção do óleo por solvente, a torta é transformada em farelo e o teor de proteína pode atingir até 55% (Kumar *et al.*, 2021). Embora esses números possam variar de lote para lote, eles demonstram o potencial que a torta e o farelo possuem para a alimentação animal, frente a outros ingredientes (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação entre diferentes fontes de proteína vegetal, comumente usadas para a alimentação animal

Fonte de proteína vegetal	Caroço de algodão*	Torta de algodão**	Farelo de algodão***	Farelo de soja †	Farelo de girassol††	DDGS††
Umidade	9,34	9,52	9,48	12,04	9,2	7,2
Proteína	22,94	29,72	40,67	44,37	49,7	33,5
FDN	45,65	45,21	28,76	14,72	40,4	30,2
FDA	33,81	35,17	17,94	8,60	34,0	15,6
Óleo	20,06	9,30	1,43	1,58	1,2	5,5
Minerais	4,28	4,77	5,86	5,82	8,1	2,3

*(Valadares Filho *et al.*, 2018), **(Valadares Filho *et al.*, 2020), ***(Zhuo *et al.*, 2023), †(Generoso *et al.*, 2008), ††(Gao *et al.*, 2015)

Figura 12. Exemplo de farelo P38. Esse farelo possui, no mínimo, 38% de proteína bruta (Fonte: Abiove, 2025)

Figura 13. Glândula de gossipol na amêndoa do caroço de algodão (pontos pretos) (Fonte: Jean-Louis Bélot)

De acordo com as Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes – CQBAL 4.0 (Valadares Filho *et al.*, 2018), há cinco tipos de farelo de algodão encontrados no Brasil, sendo eles: Algodão Farelo, Algodão Farelo 28% PB, Algodão Farelo 38% PB (Figura 12), Algodão Farelo 45% PB e Algodão Farelo Alta Energia, apresentando diferenças na composição bromatológica, conforme Tabela 4.

3.2. Fator antinutricional em coprodutos do caroço de algodão

O gossipol é um composto polifenólico produzido nas glândulas de folhas, flores e sementes do algodoeiro como um mecanismo natural de defesa contra insetos e pragas (Figura 13). É um composto tóxico para a maior parte dos animais não ruminantes e um pouco menos tóxico para ruminantes. Existem dois tipos de gossipol presentes nas sementes do algodoeiro: o gossipol livre e o gossipol ligado. O gossipol ligado não é tóxico, mas reduz a biodisponibilidade e o valor nutritivo da lisina, um aminoácido essencial, além de diminuir a digestibilidade (Câmara *et al.*, 2016).

Tabela 4. Composição bromatológica de diferentes farelos de algodão (valores médios)

Teor %	FA	FA 28%	FA 38%	FA 42%	FA AE
MS	89,55	89,71	89,74	90,48	87,50
PB	25,19	31,48	39,63	46,61	25,50
FDN	36,54	39,30	32,68	31,98	36,11
FDA	27,68	29,85	21,23	20,12	nd
CNF	46,59	27,34	18,56	18,10	22,85
Lignina	4,18	7,78	4,04	6,49	6,02
EE	1,00	1,99	1,46	1,64	9,00

Onde: MS (matéria seca), PB (proteína bruta), FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido), CNF (carboidratos não fibrosos), EE (extrato etéreo), FA (farelo de algodão), FAAE (farelo de algodão de alta energia).

Grande parte do gossipol é removida durante o processamento de obtenção da torta de algodão na fase de cozimento. A variação na forma de extração do óleo, que dará origem ao farelo e à torta de algodão, exerce influência sobre o teor de gossipol nos coprodutos, variando de 200 a 500 ppm no método de extração por prensagem e de 200 a 700 ppm no processo de pré-prensagem seguido de extração por solvente (Gamboa *et al.,* 2001).

Dentre os coprodutos do algodoeiro, o caroço é aquele que apresenta maior limitação quanto à utilização na alimentação animal, devido ao seu teor de gossipol livre ser mais alto quando comparado aos outros coprodutos, farelo e torta. Quanto maior o teor de gossipol livre (GL) nesses ingredientes, maior é a absorção pelo trato gastrointestinal e, por conseguinte, maior o efeito tóxico sobre os animais. Segundo Jorge (2006), a concentração de gossipol no caroço de algodão varia amplamente com os genótipos da planta, podendo-se encontrar plantas sem gossipol e outras com até 9% do peso da semente.

O gossipol, nos níveis usualmente contidos nos coprodutos do algodão, não causa grandes prejuízos aos ruminantes, dentro de limites confiáveis, uma vez que esse gossipol livre residual dos coprodutos é inativado no rúmen. Entretanto, em reprodutores, pode haver redução da libido, que está relacionada à diminuição dos níveis de testosterona, hormônio luteinizante e hormônio folículo estimulante, podendo ainda tornar os animais estéreis. Esse efeito pode ou não ser reversível com a interrupção da dieta, variando de acordo com o tempo de ingestão dessa substância (Arieli, 1998).

Os sinais clínicos de intoxicação por gossipol são observados principalmente em não ruminantes e pré-ruminantes. Segundo Risco *et al.* (1993), touros apresentam menor concentração de espermatozoides normais no ejaculado a partir da quinta semana de inclusão do caroço de algodão na dieta. Sendo assim, o caroço de algodão não deve ser utilizado na dieta de reprodutores. Já as fêmeas ruminantes parecem tolerantes a problemas de reprodução induzidos pelo gossipol. Mello *et al.* (2018) reforçam que, atualmente, é conhecido o impacto do gossipol sobre o sistema reprodutor de machos, sendo prejudicial à espermatogênese; porém, existem poucos relatos sobre a influência do gossipol no aparelho reprodutor de fêmeas.

Boscarato *et al.* (2018) não recomendam o uso de coprodutos algodoeiros como suplemento proteico para bezerros (pré-ruminantes), porque concentrações baixas, de 100 mg de gossipol livre por kg de ração, podem ser tóxicas. Rogers *et al.* (2002) recomendaram níveis máximos de gossipol livre na dieta total de 200 ppm para pré-ruminantes, 900 ppm para bovinos em crescimento, 600 ppm para touros jovens em desenvolvimento, 900 ppm para touros adultos e 1200 ppm para vacas adultas.

As proporções de coprodutos de algodão, considerando as concentrações de gossipol, na prática, são difíceis de serem relacionadas para dosar quantidades na dieta total de uma determinada espécie ou categoria animal. Isso ocorre porque existem diversas variáveis que interferem nas proporções e nas concentrações de gossipol presentes nos coprodutos do algodão, entre as quais: espécies, nível de produção, categoria animal, variedade ou cultivar de algodão, condições climáticas, tipo de processo de beneficiamento do caroço de algodão, etc. Assim, torna-se impraticável associar proporções de coprodutos com concentrações de gossipol. Duas dietas com proporções iguais de algum coproduto podem ter concentrações de gossipol diferentes, dependendo do lote do coproduto de algodão.

Não há tratamento específico, no momento, para animais que sofrem de intoxicação por gossipol. Esses animais não devem ser estressados; ou seja, deve-se evitar o transporte de animais afetados ou transportá-los muito lentamente. Animais morrem até duas semanas após a remoção do gossipol da dieta. A menos que o dano seja grave, muitas lesões serão reversíveis com o tempo e com a remoção imediata do caroço de algodão da dieta. Adsorventes, como carvão ativado e catárticos salinos, são de pouca utilidade devido à exposição crônica e à natureza cumulativa do gossipol. Uma dieta de alta qualidade, suplementada com lisina, metionina e vitaminas lipossolúveis, deve ser incluída na terapia de suporte. Deficiências de selênio ou cobre podem potencializar a toxicose por gossipol. Uma alta ingestão de proteína, hidróxido de cálcio ou sais de ferro parece ser protetora em bovinos. A recuperação depende principalmente da extensão da cardiopatia tóxica. A prevenção consiste na utilização de níveis de inclusão recomendados para a espécie, a categoria e o nível de produção animal.

Se o caroço de algodão ou o farelo de algodão forem comprados a granel, vale a pena testá-los antes de alimentá-los e, se possível, consultar um especialista (Garland, 2024).

3.3. Utilização do caroço de algodão na alimentação de ruminantes

Dentre os coprodutos do algodoeiro, o caroço é aquele que apresenta maior limitação quanto à utilização na alimentação animal, devido ao seu teor de gossipol livre ser mais alto quando comparado aos outros coprodutos, farelo e torta. Quanto maior o teor de gossipol livre (GL) nesses ingredientes, maior a absorção pelo trato gastrointestinal e, por conseguinte, maior efeito tóxico nos animais. Segundo Jorge (2006), a concentração de gossipol no caroço de algodão varia amplamente com os genótipos da planta, podendo-se encontrar plantas com ausência de gossipol e até com 9% do peso da semente.

Muitos produtores formulam as dietas de seus rebanhos com base nos nutrientes do caroço de algodão. Os pequenos produtores usam-no misturado com outros ingredientes em misturas básicas. Já os grandes produtores compram grandes quantidades a granel e adicionam-no a uma dieta total.

Devido à sua apresentação na forma física, granulado e de baixa densidade, o caroço deve ser fornecido separadamente ou sobre os outros ingredientes da dieta; porém, pode ser fornecido misturado com outros ingredientes (volumosos ou concentrados), dividido em duas vezes, se necessário.

A introdução, de forma moderada, permite melhor adaptação ao consumo do lipídeo existente no caroço de algodão. Por isso, recomenda-se, além do período de adaptação, respeitar os limites de 5-7% de lipídeo (extrato etéreo) na matéria seca da dieta para os ruminantes. É importante frisar que o excesso de óleo, acima desses teores, prejudica a flora microbiana presente no rúmen, diminuindo a digestibilidade da fibra e da energia das dietas; além disso, o excesso de óleo provoca diarreia nos ruminantes.

A melhor forma de utilização do caroço de algodão é o fornecimento "inteiro", ou seja, sem moer em máquinas forrageiras, amassar ou quebrar. Não há vantagem em amassar, quebrar ou moer o caroço de algodão. O caroço de algodão integral, ainda com línter, é uma fonte estratégica de energia, proteína e fibra efetiva, com vantagens relacionadas à sua gordura naturalmente protegida pela casca. Essa proteção proporciona liberação lenta no rúmen e reduz os efeitos tóxicos dos ácidos graxos insaturados sobre os microrganismos ruminais (Palmquist, 1994; Maia *et al.*, 2006), garantindo ruminação adequada, degradação e absorção lentas. A fibra presente no caroço de algodão é fundamental para a atividade ruminal e para a saúde do animal, além de ser importante para a síntese de gordura no leite.

Os limites de inclusão do caroço de algodão em ruminantes variam muito conforme a categoria animal, nível de produção e estado de saúde. dos animais.

Segundo Paim *et al.* (2010), recomenda-se a inclusão de caroço de algodão em até 15% na matéria seca da dieta total para ruminantes com rúmen funcional, enquanto para os animais jovens esse nível deve ser limitado a 10%.

Recomendações de uso em função do percentual da dieta total ou por kg/animal/dia incluem:

- Vacas: até 20% da dieta ou de 2,3 a 3,2 kg/animal/dia.
- Touros: até 15% da dieta ou de 2,3 a 3,2 kg/animal/dia.
- Bovinos em crescimento: até 15% da dieta ou de 0,7 a 1,1 kg/animal/dia.

Não deve ser utilizado para bezerros e touros jovens. A inclusão do caroço na dieta deve ser planejada de modo a não prejudicar a performance reprodutiva de ruminantes, sendo uma alternativa viável em sistemas de confinamento de bovinos no Brasil (Rogers *et al.*, 2002).

O caroço de algodão não deve ser fornecido para pré-ruminantes (bezerros, borregos, cabritos etc.) nem para outras categorias de ruminantes em fase de crescimento, até a idade reprodutiva. Também não é indicado para reprodutores machos, principalmente os reprodutores jovens. Portanto, o caroço de algodão é recomendado para animais adultos, especialmente fêmeas adultas e machos em fase de terminação para abate. Portanto, os níveis de inclusão de 25% de torta de algodão na dieta total de ovinos são permitidos, enquanto níveis de 40% causam maior efeito tóxico no fígado dos animais (Phyu *et al.*, 2017).

A introdução de torta de algodão com elevado teor de gordura pode auxiliar na mitigação do metano entérico (Abdalla *et al.*, 2008). O uso de fontes lipídicas em dietas para ruminantes pode ainda melhorar a eficiência de utilização de nutrientes, influenciar positivamente na reprodução, alterar positivamente o perfil de ácidos graxos do leite e contribuir para a redução da metanogênese e aumento calórico (Muñoz *et al.*, 2021).

3.4. Utilização da torta e de farelo do algodão na alimentação de ruminantes

A torta de algodão (produto da prensagem mecânica do caroço) e o farelo de algodão (resultante da extração por solvente) são coprodutos ricos em proteína bruta e fibra, podendo ser utilizados como substitutos parciais ou totais do farelo de soja. A digestibilidade ruminal e o perfil de aminoácidos, especialmente após o tratamento com enzimas ou submetidos à fermentação, tornam esses ingredientes competitivos do ponto de vista zootécnico e econômico. No entanto, recomenda-se que o tamanho de partículas de fontes de fibra de produtos agroindustriais seja monitorado para garantir segurança alimentar (Arcanjo *et al.*, 2022). Entre os principais benefícios da torta de algodão, destacam-se:

- Fonte rica em proteínas: a torta de algodão possui alto teor de proteínas que contribui para o desenvolvimento muscular, a produção de leite e o crescimento dos animais;
- Eficiência alimentar e nutricional: a inclusão de torta de algodão na dieta contribui para uma maior eficiência alimentar dos animais, resultando em melhor produtividade e menor custo de alimentação;
- Versatilidade: a torta de algodão pode ser incorporada em diferentes dietas e fases dos ruminantes, seja em animais de corte ou leiteiros, proporcionando flexibilidade na formulação de rações.

Vários trabalhos apontam para o potencial da torta e do farelo de algodão na alimentação animal, substituindo parcial ou totalmente o farelo de soja e milho, reduzindo custos de produção (Abdalla *et al.*, 2008). A torta de algodão pode ser um ingrediente eficiente em dieta de animais que necessitam de altos níveis de proteína e energia, como vacas em lactação, ou para animais criados em sistemas de pastejo. Esse coproduto auxilia na redução da idade ao abate, na obtenção de carcaças mais pesadas e com melhor acabamento. Resultados semelhantes obtiveram Imaizumi *et al.* (2016) e El- Nomeary *et al.* (2021), que confirmaram a viabilidade da substituição do farelo de soja pelo farelo de algodão, sem diminuir o desempenho produtivo dos ruminantes.

Para bovinos de corte, diversos estudos demonstraram a viabilidade de substituir o farelo de soja por farelo de algodão sem diminuir o desempenho animal (Imaizumi *et al.*, 2016).

Estudos com cordeiros e caprinos também confirmam que o farelo de algodão pode substituir completamente o farelo de soja sem afetar a digestibilidade, o ganho de peso ou a eficiência alimentar (Caballero *et al.*, 2023). Em cabras em lactação, observou-se digestibilidade e absorção de nitrogênio semelhantes à da torta de soja (Santos *et al.*, 2014).

Alves *et al.* (2010) avaliaram o farelo de algodão de alta energia (FAAE) e concluíram que este pode substituir o farelo de soja em dietas de vacas com produção de 15 kg de leite/dia, sem interferir no desempenho animal e produção de leite. Já Bittencourt *et al.* (2022) verificaram que a substituição total do farelo de soja pelo farelo de algodão em vacas leiteiras Holandês x Gir, sob sistema de pastoreio intensivo, não afetou o desempenho, a

eficiência alimentar, a composição do leite e o comportamento ingestivo.

Trabalhos publicados mostram que a inclusão de até 28% de torta de algodão na dieta total de ovinos não compromete a qualidade da carne nem o desempenho zootécnico, além de reduzir a presença de ácidos graxos indesejáveis e aumentar a concentração de CLA, um ácido graxo benéfico à saúde humana. No entanto, níveis acima de 28% causaram redução de ganho de peso e peso de carcaça. Já Kandylis *et al.* (1992) sugeriram que um nível de até cerca de 30% de torta de algodão pode ser incorporado em dietas de ovinos em engorda sem risco de intoxicação por gossipol. No entanto, recomendam cautela ovelhas prenhes alimentadas com teores acima de 30%.

Vacas leiteiras em sistemas de pastoreio intensivo não apresentaram diferenças na produção ou qualidade do leite quando o farelo de soja foi substituído por farelo de algodão (Bittencourt *et al.*, 2022). Outros trabalhos apontam aumento da produção de leite e do ganho de peso em vacas mestiças com inclusão de até 35% de torta de algodão na dieta total.

4. Efeito dos coprodutos do algodão no sabor e qualidade da carne

Os coprodutos do algodão podem ser utilizados como alternativas para substituir ingredientes com altos teores de gorduras saturadas, já que são fontes de ácidos graxos poli-insaturados. A inclusão da torta de algodão pode contribuir para a maximização da deposição de tecido muscular, melhorar as características organolépticas desejáveis e a composição química da carne, com o incremento de ácidos graxos poli-insaturados, fornecendo aceitabilidade e qualidade nutricional para o consumidor, incluindo aroma, textura e sabor agradáveis (Alves *et al.*, 2014).

No entanto, segundo Mottram (1998), a oferta excessiva desses lipídios pode gerar rancificação oxidativa, que, por sua vez, gerará sabor desagradável na carne. Portanto, a adição de lipídeos protegidos em dietas para ruminantes, como é o caso do caroço de algodão, pode alterar o sabor da carne quando acima dos limites preconizados.

Os animais terminados em confinamento com período mais curto, como comumente praticado no Brasil, proporcionam melhor composição lipídica. O caroço de algodão inteiro proporciona mais maciez e melhora a qualidade da carne em animais acabados por 111 dias. Estudos mostram que a utilização de caroço de algodão para bovinos em confinamento até o nível máximo de 30% na dieta total e salientam que o sabor e o aroma da carne poderiam estar comprometidos com a utilização de níveis acima de 30%, pois esta alteração poderia gerar sabor e odor característicos a carne dos animais (Ferrinho *et al.*, 2018). Em outra pesquisa, a inclusão de até 32% de caroço de algodão inteiro em dietas de animais em fase de acabamento não apresenta efeitos negativos sobre a qualidade ou aceitabilidade da carne. Já a utilização de até 34,09% de caroço de algodão na dieta de novilhos Nelore não causa oxidação lipídica e também não altera a força de cisalhamento nem a cor da carne e da gordura. Porém, o aroma e o sabor são alterados negativamente. No caso de cordeiros, a inclusão de até 20% de caroço de algodão na dieta não resultou em efeitos negativos sobre as características sensoriais da carne. Além do sabor, a maciez da carne também é influenciada. Em cordeiros confinados, a inclusão de até 20% de farelo de algodão melhorou a maciez da carne e reduziu as perdas por cocção, favorecendo a aceitação do produto final (Caballero *et al.*, 2023).

5. Considerações finais

O caroço, a torta e o farelo de algodão podem substituir parcial ou totalmente o farelo de soja e os DDG/DDGS (*distillers dried grains/distillers dried grains with solubles*), principalmente em áreas onde o cultivo de algodão e/ou agroindústrias de processamento estão presentes em maior escala, gerando os coprodutos referidos e disponibilizando-os para os mercados pecuários locais com preços competitivos, podendo contribuir para a redução dos custos das dietas animais, a partir de formulações orientadas por especialistas que buscam atender aos requisitos nutricionais e à saúde dos animais.

Os coprodutos da cultura do algodão são excelentes alternativas confiáveis para a alimentação de ruminantes, desde que sejam utilizados os níveis recomendados, devido à presença de gossipol, cujo excesso pode ocasionar problemas aos animais, já especificados neste estudo. Porém, a grande variação nos níveis desta substância nos coprodutos indica que a recomendação de uso deve ser feita de forma cuidadosa e fundamentada na análise do coproduto no momento de utilização. Para isso, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos de avaliação práticos e rápidos para determinar o nível de gossipol presente, bem como uma rede de laboratórios regionais disponíveis e habilitados para realizar esse tipo de análise nas diversas regiões do Brasil.

Referências bibliográficas

ABDALLA, A.L.; SILVA FILHO, J.C.; GODOI, A.R.; et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, suplemento especial, p.260-268, 2008.

ABIOVE. **Estudo técnico-científico sobre a viabilidade de utilização do farelo de algodão na alimentação animal**. Abril/2025. Disponível em: https://abiove.org.br/abiove_content/Abiove/Relatorio-de-Farelo-de-algodao.pdf

ABRAPA. BI Cotton Brazil – **Plataforma Cotton BI.**, 2025. Disponível em: <https://cottonbi.com.br/>. Acesso em: 23 de setembro de 2025.

ALVES, A.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; ZERVOUDAKIS, L, K.H.; CABRAL, L.S.; et al. Substituição do farelo de soja por farelo de algodão de alta energia em dietas para vacas leiteiras em produção: consumo, digestibilidade dos nutrientes, balanço de nitrogênio e produção leiteira. **R. Bras. Zootec**., v.39, n.3, p.532-540. 2010.

ALVES, L.G.C.; OSÓRIO, J.C.S.; FERNANDES, A.R.M.; RICARDO, H.A.; CUNHA, C.M. Produção de carne ovina com foco no consumidor. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2399, 2014.

ARCANJO, A.H.M.; ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C.C.B.F.; et al. Cotton cake as an economically viable alternative fibre source of forage in a high-concentrate diet for finishing beef cattle in feedlots. **Tropical Animal Health and Production**. v.54, n. 112, p. 1-6. 2022.

ARIELI, A. Whole cottonseed in dairy cattle feeding: a review. **Animal Feed Science and Technology**. v.72, p.97-110. 1998.

ARUDE, V.G. Significance of scientific processing of cottonseed in cotton value chain. **Journal of Cotton Research and Development**, v. 37, n. 1, p.115–126, 2023.

BITTENCOURT, C.C.; JUNIOR, R.T.A.; SILVA, E.E.P; et al. Replacement of soybean meal with alternative protein sources in the concentrate supplement for lactating Holstein x Gyr cows in an intensive tropical pasture-based system: Effects on performance, milk composition, and diurnal ingestive behavior. **Livestock Science**, v.259. 2022.

BOSCARATO, A.G.; RIBEIRO, R.C.L.; BORGES, J.L.; et al. Efeitos da utilização dos subprodutos algodoeiros na dieta de pré-ruminantes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 461-470. 2018.

CABALLERO, J.D.; PORTILHO, G.A.; GONZÁLEZ, J.F. et al. Inclusion of levels of cotton expeller in the feeding of confined sheep: productive behavior, carcass characteristics and meat quality. **Manglar**. v.20, n.3, p.195-200. 2023.

CÂMARA, A.C.L.; VALE, A.M.; MATTOSO, C.R.S.; et al. Effects of gossypol from cottonseed cake on the blood profile in sheep. **Tropical Animal Health and Production**. v.48, p.1037-1042. 2016.

CENKVÁRI, É.; FEKETE, S.; FÉBEL, H.; et al. Investigation on the effects of Ca-soaps of oil linseed on rumen fermentation in sheep on milk composition of goats. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.89, n.3-6, p.172-178, 2005.

COPPOCK, C.E.; LANHAM, J.K.; HORNER, J.I. A review of the nutritive value and utilization of whole cottonseed, cottonseed meal and associated by-products by dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology**. v.18, p.89-129. 1987.

EL-NOMEARY, Y.A.A.; EL-RAHMAN. H.H.H.; SHOUKRY, M.M.; et al. Effect of different dietary protein sources on digestibility and growth performance parameters in lambs. **Bulletin of the National Research Centre**, v.45, n.40. 2021.

FERRINHO, A.M. et al. Whole cottonseed, vitamin E and finishing period affect the fatty acid profile and sensory traits of meat products from Nellore cattle. **Meat Science**, v.138, p.15–22, abr. 2018.

FREIRE, R.M.M. **Química do algodoeiro**. Em: Algodão. 500 perguntas 500 respostas. Brasília: Embrapa, 2004. p. 227–237.

GAMBOA, D.A.; CALHOUN, M.C.; KUHLMANN, S.W.; et al. Tissue distribution of gossypol enantiomers in broilers fed various cottonseed meals. **Poultry Science,** v.80, n.7, p.920-925, 2001.

GAO, W. et al. Rumen Degradability and Post-ruminal Digestion of Dry Matter, Nitrogen and Amino Acids of Three Protein Supplements. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 4, p. 485–493, 14 fev. 2015.

GARLAND, TAM. **Gossypol poisoning in animals**. MSD MANUAL – VETERINARY MANUAL. Texas A&M Veterinary Medical Diagnostic Laboratory. 2024.

GENEROSO, R.A.R. et al. Composição química e energética de alguns alimentos para frangos de corte em duas idades. **Revista Brasileira de Zootecni**a, v. 37, n. 7, p. 1251 1256, jul. 2008.

IMAIZUMI, H.; SOUZA, J. BATISTEL, F.; et al. Replacing soybean meal for cottonseed meal on performance of lactating dairy cows. **Trop. Anim. Health Prod**., v.48, n.1, p.39-44. 2016.

JORGE, S.A.F. **Estudo da adsorção do gossipol existente em óleo de semente de algodão**. 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

KANDYLIS, K.; NIKOKYRIS, P.; LIAMADIS, D.; DELIGIANNIS, K. Evaluation of cotton seed cake as a feed ingredient for fattening sheep. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v.58, p.291-299. 1992.

KUMAR, M. et al. Cottonseed: A sustainable contributor to global protein requirements. **Trends in Food Science & Technology**, v. 111, p. 100–113, 1 maio 2021.

MAIA, F.J.; BRANCO, A.F.; MOURO, G.F.; et al. Inclusão de fontes de óleo na dieta de cabras em lactação: digestibilidade dos nutrientes e parâmetros ruminais e sanguíneos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1496-1503, 2006.

MELLO, R.R.C.; MOREIRA, E.M. et al. Efeitos do caroço de algodão sobre a reprodução de bovinos. **PUBVET,** v.12, n.10, p.1-8, 2018.

MOTTRAM, D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. **Food Chemistry**, v.62, n.4, p.415-424, 1998.

MULLENIX, M.K. et al. Invited Review: Using whole cottonseed and cotton harvest residue in southeastern US beef cattle diets: Quality, intake, and changes in feed characteristics. **Applied Animal Science**, v. 38, n. 5, p. 447–455, 1 out. 2022.

MUÑOZ, C.; VILLALOBOS, R.; PERALTA, A.M.T.; et al. Long-term and carryover effects of supplementation with whole oilseeds on methane emission, milk production and milk fatty acid profile of grazing dairy cows. **Animals**, v.11, p.2978, 2021.

PAIM, T. P.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. M.; ABDALLA, A.L. Uso de subprodutos do algodão na nutrição de ruminantes. **Ciência Veterinária dos Trópicos**, v.13, n.1/2/3, p.24-37, 2010.

PALMQUIST, D.L. Digestibility of cotton lint fiber and whole oilseeds by ruminal microorganisms. **Animal Feed Science and Technology**, v.56, n.3, p.231-242, 1995.

PALMQUIST, D.L. The role of dietary fats in efficiency of ruminants. **Journal of Nutrition**, v.124, n.11, p.1377-1382, 1994.

PHYU, H.W.; PO, S.P.; HEIN, S.T.; et al. A study on the effects of cottonseed cake on histopathological changes of liver in sheep. **International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry**, v.2, n.4, p.10-13, 2017.

RIAZ, T. et al. Cottonseed oil: A review of extraction techniques, physicochemical, functional, and nutritional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 9, p. 1219–1237, 3 abr. 2023.

RISCO, C.A.; CHENOWETH, D.J; LARSEN, R.E.; et al. The effects of gossipol in cottonseed meal on performance and on hematological and semen traits in pospubertal Brahman bulls. **Theriogenology**, v.40, p.629-642, 1993.

ROGERS, G.M.; POORE, M.H.; PASCHAL, J.C. Feeding cotton products to cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v.18, p.267-294, 2002.

SALAZAR-VILLANEA, S. et al. Pelleting and extrusion can ameliorate negative effects of toasting of rapeseed meal on protein digestibility in growing pigs. **Animal,** v. 12, n. 5, p. 950–958, 2018.

SANTOS, A.B. et al. Nitrogen Metabolism in Lactating Goats Fed with Diets Containing Different Protein Sources. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 27, n. 5, p. 658–666, 22 abr. 2014.

SCZOSTAK, A. Cotton Linters: An Alternative Cellulosic Raw Material. **Macromolecular Symposia**, v. 280, n. 1, p. 45–53, jun. 2009.

VALADARES FILHO, S.C., LOPES, S.A., CHIZZOTTI, M.L.; et al. **BR-CORTE 4.0. Formulação de dietas, predição de desempenho e análise econômica de zebuínos puros e cruzados.** 2020. Disponível em: www.brcorte.com.br.

VALADARES FILHO, S.C; LOPES, S.A.; et al. CQBAL 4.0. **Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes**. 2018. Disponível em: www.cqbal.com.br. 2018.

VIDAL, N.P. et al. Enhancing the nutritional value of cold-pressed oilseed cakes through extrusion cooking. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 77, p. 102956, maio 2022.

WILLCUTT, M.H.; MAYFIELD, W.D. Cottonseed handling and storage. Em: Cotton ginners handbook. **Agricultural Handbook**. Washington: USDA, 1994. p. 195–214.

ZHUO, Y. et al. Nutritional values of cottonseed meal from different sources fed to gestating and non-pregnant sows. **Journal of Animal Science**, v. 101, p. skad118, 3 jan. 2023.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

MANEJO SUSTENTÁVEL
DO CULTIVO ALGODOEIRO

Como produzir de forma sustentável?

Nesta seção, são agrupadas informações sobre os conceitos de ESG (Ambiente, Social e Governança) na produção algodoeira, bem como recomendações para mitigar os riscos ocupacionais e os impactos dos pesticidas no meio ambiente.

Cada vez mais, o produtor de algodão incorpora o controle biológico em suas práticas de manejo integrado de pragas, doenças e nematoides, razão pela qual dois capítulos são dedicados ao controle biológico por meio de micro e macrorganismos.

Os conceitos de "agrobiologia", quando aplicados aos sistemas de produção do cerrado, podem contribuir significativamente para a saúde do solo e para o sequestro de carbono. Nesse contexto, os produtores precisam ser informados sobre a emergência dos mercados de carbono, a fim de poderem se preparar para, em momento oportuno, valorizar suas boas práticas de manejo.

Fábio Carneiro
Abrapa

Sabrina Petry
Lamparina
Comunicação &
Sustentabilidade

CAPÍTULO 7.1

ESG na produção algodoeira

Capítulo publicado na edição 2025.

1. Sustentabilidade: conceitos e normas

A sustentabilidade é, antes de tudo, uma estratégia de permanência. Mais do que uma tendência ou um diferencial, ela representa um novo paradigma de gestão diante das crises interligadas que marcam o século XXI: a emergência climática, a ameaça de perda da biodiversidade, o domínio das fibras derivadas de petróleo na matriz têxtil global e o aprofundamento das desigualdades sociais. Esse cenário, definido em relatórios científicos como o do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática), é também descrito como um marco da sociedade, unindo desafios ecológicos, econômicos e culturais de forma sistêmica.

Em resposta a esse contexto, consolidou-se o conceito de desenvolvimento sustentável, popularizado com a publicação do Relatório Brundtland (1987) e ampliado a partir da definição do Triple Bottom Line por John Elkington em 1994 (Elkington, 1997). Essa abordagem substitui a tradicional lógica econômica por um olhar mais amplo, baseado em pilares interdependentes: o econômico, o social e o ambiental.

Nos últimos anos, essa visão evoluiu para uma estrutura de gestão mais ampla: a agenda ESG. A sigla, derivada do inglês *Environmental, Social and Governance*, passou a nortear relatórios, políticas corporativas e investimentos ao redor do mundo. No Brasil, o conceito de ESG se disseminou fortemente a partir de 2020, muito impulsionado pela pandemia e pela constatação, em inúmeros estudos à época, de que negócios calcados em princípios de sustentabilidade seriam os primeiros a se recuperar após a crise que se abateu sobre a sociedade mundial, sendo hoje considerado um dos principais vetores de inovação e de redução de riscos em empresas de todos os portes e setores.

ESG é, portanto, uma estrutura de gestão que busca garantir que as organizações sejam responsáveis por seus impactos ambientais, sociais e de governança.

- Ambiental (E) refere-se ao uso consciente dos recursos naturais, com foco na gestão eficiente, na preservação desses recursos e na mitigação de impactos ambientais do negócio;
- Social (S) abrange tudo que está relacionado ao aspecto humano e de relações dentro de uma organização, incluindo sua cadeia de valor, como a promoção de trabalho justo, diversidade e inclusão, aspectos de saúde e segurança e impacto positivo em comunidades e territórios;
- Governança (G) envolve aspectos de ética, integridade, transparência e boas práticas administrativas.

O planejamento de ESG é hoje uma estratégia fundamental para decisões assertivas de investimento, consumo, crédito e reputação institucional, além de orientar as políticas de prevenção de riscos. Contudo, a consolidação dessa estratégia como critério técnico de gestão só é possível com a adoção de diretrizes reconhecidas nacional e internacionalmente. É nesse cenário que se destacam metodologias e normativas, tais como:

GRI – Global Reporting Initiative

A GRI (Global Reporting Initiative) é uma estrutura internacional para construção de relatórios de sustentabilidade por meio de padrões e indicadores específicos, para que empresas e organizações possam relatar, de forma sistemática, seus impactos econômicos, ambientais e sociais. Esses padrões são reconhecidos globalmente por promoverem transparência, comparabilidade e consistência na comunicação de desempenho não financeiro.

Os indicadores GRI são métricas específicas que auxiliam as empresas e organizações a mensurar e comunicar seus impactos nos três aspectos do tripé da sustentabilidade. Eles são parte integrante dos relatórios que seguem essa metodologia e permitem apresentar resultados objetivos em temas como consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa, diversidade no ambiente de trabalho, políticas de integridade e impactos na cadeia de valor, por exemplo.

Além disso, o sistema de indicadores proposto pela norma é, por si só, um sistema de gestão, uma vez que envolve um processo estruturado para identificação de temas materiais (definição dos temas mais relevantes para a organização e suas partes interessadas), definição de indicadores para estes temas (considerando as características da organização e seus objetivos estratégicos de sustentabilidade), coleta e análise de dados e, também a orientação para o relato em si. Por fim, a própria GRI estimula o monitoramento contínuo dos indicadores, visando à melhoria contínua da gestão sustentável do negócio.

Normas ISO e ABNT

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem contribuído para a institucionalização de padrões de responsabilidade socioambiental por meio de normas como a NBR ISO 26000, que oferece diretrizes sobre responsabilidade social, e a NBR ISO 14001, voltada para sistemas de gestão ambiental. A ABNT PR 2030, por sua vez, é uma prática recomendada publicada em 2022 com o objetivo de orientar a elaboração de relatórios de sustentabilidade, conectando as exigências nacionais a frameworks como GRI, SASB e IR.

Essas normas promovem um ambiente mais estável para empresas que desejam estruturar suas políticas e demonstrar conformidade com expectativas regulatórias, contratuais e de mercado. Além disso, contribuem para o alinhamento de negócios brasileiros com compromissos internacionais assumidos pelo país, como a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Normativa CVM e contexto financeiro

A Comissão de Valores Mobiliários (CVM) incorporou recentemente ao arcabouço regulatório brasileiro a Resolução nº 193, de 2023, que torna obrigatória a divulgação de informações ESG com base nos padrões internacionais da IFRS Foundation. A medida é parte de um esforço maior de consonância global das regras de relato de sustentabilidade, com impacto direto sobre empresas listadas e indireto sobre suas cadeias de fornecimento.

Essa regulação aponta para um cenário de pressão crescente por transparência e responsabilidade, no qual até mesmo empresas não listadas, bem como organizações e instituições, precisarão se alinhar às boas práticas globais se quiserem manter acesso a crédito, licitações, mercados internacionais e parcerias institucionais.

Ao adotar uma estratégia de planejamento que dialogue com esses frameworks e normas, instituições se beneficiam em outras frentes de negócios, como:

- Transparência e prestação de contas: demonstração de compromissos reais com sustentabilidade, com base em evidências
- Engajamento de stakeholders: facilitação do diálogo com investidores, clientes, colaboradores, comunidades e órgãos reguladores;
- Gestão de riscos e oportunidades: antecipação de riscos, ao mesmo tempo em que identificam-se oportunidades de inovação e melhoria de processos;
- Melhoria contínua: promoção do uso da informação como instrumento de aprendizagem organizacional.

No contexto do agronegócio, e em especial da cotonicultura brasileira, a incorporação da agenda de sustentabilidade tem se mostrado não apenas uma escolha ética, mas uma exigência estratégica. Empresas que adotam práticas sustentáveis de forma estruturada tendem a acessar mercados mais exigentes, atrair investimentos financeiros, reduzir riscos operacionais e reputacionais e estabelecer uma cultura organizacional mais resiliente.

2. Algodão e sustentabilidade: do que estamos falando?

A produção algodoeira brasileira vive um momento estratégico. A demanda internacional por rastreabilidade, compromisso ambiental e responsabilidade social elevou os padrões exigidos pelas cadeias globais. Nesse cenário, os critérios ESG deixaram de ser um diferencial e tornaram-se pré-requisitos para acesso a mercados, linhas de financiamento e competitividade internacional, além de passarem a ser usados como referência global para avaliar a performance de empresas, organizações e cadeias produtivas frente aos desafios do desenvolvimento sustentável.

No setor algodoeiro, essas dimensões ganharam protagonismo devido ao aumento da demanda de compradores internacionais por produtos rastreáveis e produzidos com base em premissas éticas, a partir de um intenso trabalho conjunto de produtores, associações estaduais e Abrapa. Além disso, consumidores no Brasil e no exterior estão mais atentos à origem e ao impacto dos produtos que consomem. Com isso o algodão brasileiro assume protagonismo nesse cenário.

Ao mesmo tempo, a necessidade de compromissos crescentes com a descarbonização e do fortalecimento da imagem do agronegócio do Brasil coloca a sustentabilidade como pauta estratégica para toda a cadeia produtiva do algodão. O algodão brasileiro, que já conquistou espaço pela qualidade da pluma e eficiência produtiva, agora consolida sua posição como referência em sustentabilidade com resultados concretos e auditáveis.

No setor agrícola, portanto, o ESG precisa ser compreendido de maneira prática e integrada, envolvendo uma nova lógica de gestão que conecta produção, inovação e reputação em escala nacional e global. Nesse contexto, sustentabilidade não deve ser vista apenas como uma exigência externa ou um padrão burocrático, uma vez que ela representa um instrumento estratégico de gestão, capaz de orientar melhorias contínuas, ampliar o acesso a mercados e consolidar a imagem positiva da produção brasileira frente a pressões concorrenciais internacionais.

Ao longo deste texto, procuramos apresentar estratégias e caminhos práticos para a incorporação dos princípios ESG no setor algodoeiro, com foco na realidade das fazendas e na responsabilidade compartilhadas entre equipes técnicas, lideranças institucionais e compradores internacionais.

3. O Brasil como referência global em algodão sustentável: liderança e desafios

O Brasil é hoje o maior exportador de algodão do mundo, tendo superado os Estados Unidos em volume de exportação em 2024. Esse crescimento está ancorado em sua escala produtiva, claro, mas também no compromisso com a sustentabilidade e a rastreabilidade da cadeia, que englobam requisitos de alta tecnologia e eficiência no campo, permitindo a liderança em certificações socioambientais frente a outros mercados mundiais.

Na safra 2023/2024, o país certificou 3,04 milhões de toneladas de algodão, o equivalente a 83% de toda a produção nacional, por meio do Programa Algodão Brasileiro Responsável (ABR), que conta hoje com mais de 450 unidades produtivas auditadas e rastreadas. Essa conquista representa o maior volume de algodão certificado em sustentabilidade do mundo.

O desempenho impressiona também pela baixa dependência hídrica, um ponto sensível quando tratamos de produção agrícola: 93% da produção ocorre em sequeiro (sem utilização de irrigação artificial), e grande parte das propriedades incorpora áreas preservadas e tecnologias limpas — a

produção de cotonicultura conta com, no mínimo, 20% da área das fazendas com vegetação nativa preservada.

Essas características somadas colocam o Brasil em uma posição de liderança em termos de sustentabilidade, superando outros países produtores, como EUA, Índia, China e Austrália em volume certificado e rastreável.

O protagonismo brasileiro se reflete ainda na parceria estratégica com a Better Cotton, a maior organização global de certificação sustentável para o setor. Atualmente, 48% da pluma certificada Better Cotton em todo o mundo é brasileira.

Apesar desses avanços e trabalho sério, o setor algodoeiro brasileiro enfrenta desafios e preconceitos significativos em relação à sua imagem internacional, muitas vezes associada a desmatamento ou práticas danosas ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos na produção. Além disso, o uso de defensivos agrícolas e a necessidade de avançar na mensuração da pegada de carbono são temas centrais no debate internacional sobre sustentabilidade no agro.

4. Programa ABR como instrumento de sustentabilidade

Criado em 2012, o Programa Algodão Brasileiro Responsável (ABR) é hoje o principal mecanismo de certificação socioambiental da cotonicultura no país. Estruturado com base em legislações nacionais e internacionais, o protocolo estabelece critérios rigorosos que abrangem os pilares ambiental, social e de governança.

O Programa, hoje sob a coordenação da ABRAPA, consolidou-se como uma das principais ferramentas de estruturação das práticas ESG no setor algodoeiro. Na safra 2023/2024, o ABR certificou 83% de toda a produção nacional, com 452 unidades produtivas auditadas, o que representa um salto qualitativo em termos de compromisso com a sustentabilidade, transparência e governança.

As auditorias, realizadas por instituições independentes, seguem checklists detalhados que contemplam critérios ambientais, sociais e de governança, gerando planos de ação corretiva sempre que são identificadas não conformidades. Ao longo dos anos, o programa evoluiu de maneira consistente, tanto em número de participantes quanto na complexidade das ações. Desde 2012, a adesão voluntária ao ABR cresceu continuamente, impulsionada pela percepção dos produtores de que a certificação agrega valor e facilita o acesso a mercados internacionais.

A rastreabilidade da produção, garantida pela plataforma SouABR, tornou-se um diferencial competitivo. Cada fardo de algodão recebe uma etiqueta, permitindo que compradores e parceiros comerciais acessem informações detalhadas sobre origem, manejo e certificações. Em 2023, mais de 15 milhões de fardos rastreados foram comercializados, fortalecendo a posição do Brasil como líder mundial em algodão sustentável. Essa transparência é cada vez mais exigida pelos consumidores e pelas grandes marcas, como revelam pesquisas recentes da Kantar e do Akatu, que mostram que a rastreabilidade, a coerência e a reputação de marca são hoje critérios decisivos de compra.

Os dados mostram uma cadeia cada vez mais organizada. Uma pesquisa realizada em 2024 com 14 unidades produtivas demonstrou que:

- 91% das propriedades utilizam bioinsumos;
- 47% implementam programas de recuperação ambiental;
- 18% já contam com energia solar;
- Para cada hectare plantado de algodão nas propriedades certificadas há mais de um hectare de vegetação nativa na mesma fazenda.

A atuação da ABRAPA junto ao ABR vai além das fazendas. A entidade tem investido de forma significativa em comunicação institucional, com o objetivo de reposicionar a imagem do algodão brasileiro no cenário global. Esse trabalho é baseado em dados auditáveis e narrativas alinhadas aos principais frameworks de sustentabilidade atuais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e a Global Reporting Initiative (GRI), que orientam a gestão e o reporte de indicadores ESG.

Ainda assim, o setor enfrenta desafios como a necessidade de desmistificar percepções negativas sobre o agronegócio, atender exigências regulatórias cada vez mais rigorosas (como a EUDR, da União Europeia, mencionada acima) e garantir que a agenda ESG seja compreendida como estratégia de gestão, e não apenas como ferramenta de marketing.

Como mencionado, houve um resultado bastante expressivo na safra 2023/2024, com 451 unidades produtivas certificadas, distribuídas em nove estados e 97 municípios, totalizando 3,04 milhões de toneladas de algodão. O processo é conduzido por auditorias independentes e inclui checklist com 9 critérios e 193 indicadores que englobam os aspectos dos três pilares da sustentabilidade.

A rastreabilidade é um atributo importante da certificação, que acontece por meio da plataforma SouABR, onde as peças de roupa compradas pelos consumidores nas lojas possuem um QR Code que mostra toda a sua origem, histórico de conformidade e práticas sustentáveis envolvidas na produção, na fiação, tecelagem, confecção e marca final.

5. Benchmark e governança

Na comparação com outros protocolos internacionais, como o Better Cotton (BCI), o US Cotton Trust Protocol, o Cotton Made in Africa e o myBMP (Austrália), o ABR tem se destacado por sua profundidade no pilar social, seu modelo de auditoria independente e seu sistema de rastreabilidade física — que supera o sistema de balanço de massa utilizado por outras certificações. Como um dos resultados do trabalho realizado ao longo de 2024, com foco no aprimoramento e reposicionamento do ABR, está a necessidade de aprofundamento de alguns indicadores de aspecto ambiental, como dados relacionados às mudanças climáticas, já incorporados na versão atual do checklist de 2025.

No recorte temático, os dados consolidados indicam uma evolução importante nas dimensões ambiental, social e de governança. Ambientalmente, cresce o uso de fontes renováveis de energia, práticas de conservação do solo e redução do uso de defensivos químicos, por meio da adoção de tecnologias e bioinsumos. Na dimensão social, nota-se o fortalecimento de ações contra o trabalho infantil e análogo à escravidão, com maior atenção à saúde ocupacional, segurança e treinamento de equipes. Já na governança, observa-se um avanço na formalização de processos, na documentação de evidências e no alinhamento entre diferentes áreas da fazenda.

Apesar dos avanços, o programa também identificou alguns gargalos importantes. Entre os principais desafios estão a padronização da documentação, a coleta sistemática de evidências fotográficas exigidas nas auditorias e a gestão adequada de resíduos sólidos. Além disso, a cultura de sustentabilidade ainda é percebida, em algumas propriedades, como uma exigência externa e não como parte do planejamento estratégico. O reforço em treinamentos contínuos, o uso de ferramentas digitais de gestão agrícola e a aproximação entre times técnicos e de liderança são apontados como caminhos essenciais para consolidar essa mudança de cultura.

A nova proposta de governança do ABR, em vias de implementação, já sinaliza o comprometimento com essas mudanças, ampliando o letramento em sustentabilidade nas unidades de produção e nas associações, promovendo capacitações para pequenos e médios produtores e intensificando a articulação entre todos os elos da cadeia.

6. Desafios e recomendações para o campo

Embora a agenda ESG esteja cada vez mais presente nas discussões do setor, muitos produtores e equipes técnicas ainda têm dúvidas sobre como aplicá-la na prática do dia a dia. Abaixo, listamos alguns caminhos viáveis e acessíveis para os profissionais de campo:

a) Monitoramento de bioinsumos e defensivos

- Registrar detalhadamente o tipo, quantidade e frequência de uso;

- Priorizar o uso do manejo integrado de pragas e doenças, envolvendo as soluções biológicas e buscar assistência técnica para avaliação de eficácia.

b) Gestão de áreas preservadas

- Mapear, documentar e georreferenciar reservas legais e áreas de vegetação nativa;
- Criar trilhas de verificação simples para auditorias e relatórios ambientais.

c) Diagnóstico de sustentabilidade anual

- Realizar uma autoavaliação com base nos principais critérios do ABR;
- Identificar pontos fortes e lacunas, definindo ações de melhoria contínua;
- Para acessar o checklist do ABR acesse o site da Abrapa.

d) Preparo para auditorias

- Manter todos os documentos organizados (contratos de trabalho, laudos ambientais, fichas de EPI);
- Treinar a equipe sobre os principais requisitos da certificação e sobre a importância da conformidade.

e) Rastreabilidade e comunicação

- Usar as ferramentas online para registrar o histórico produtivo;
- Compartilhar boas práticas com parceiros comerciais, associações estaduais, fortalecendo a imagem positiva da produção.

7. Conclusão

A sustentabilidade é, atualmente, uma alavanca de competitividade para o algodão brasileiro. O Programa ABR se consolida como um diferencial robusto na validação de boas práticas, combinando produtividade, responsabilidade e inovação.

Avançar na agenda ESG significa proteger mercados estratégicos, garantir acesso a financiamentos verdes e, principalmente, posicionar o Brasil como líder mundial na produção de algodão sustentável — com voz ativa nas discussões sobre clima, justiça social e governança global.

A adoção plena de critérios ambientais, sociais e de governança no campo exige planejamento, capacitação e persistência. Mas a trajetória já construída pelas fazendas certificadas demonstra que é possível produzir em escala, com qualidade e responsabilidade.

Referências bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT PR 2030-1:2024 Ambiental, social e governança (ESG)**, 2024. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/default.aspx?P=Q7E29T1DB5A3

ABRAPA, Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. 2025. **Guia técnico de conformidade – ABR**. Disponível em: <https://www.dropbox.com/scl/fi/tjhk8jiosufflubh8hdfr/GUIA-TECNICO_24-25_-ABR_BCI_compressed.pdf?rlkey=alh0e6r7v1fxdd2use7cjzfwn&e=1&st=5c2m9d2b&dl=0>.

BRUNDTLAND, G.H. et al. **Our common future; by world commission on environment and development**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: The triple bottom line of 21th century business**. Oxford: Capstone Publishing. 1997.

FAO, Food and Agriculture Organization. **The Role of Agriculture in Achieving the Sustainable Development Goals**. 2020. Disponível em: https://www.fao.org/3/cb1447en/cb1447en.pdfnn5.

FRIEDE, G.; BUSCH, T.; BASSEN, A. ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, 5 (4), 210-233. 2015.

MCKINSEY & COMPANY, 2024. **The State of Fashion**. Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/state-of-fashion-2024

PUCRS, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. **ESG: O conceito que está em alta no mercado**. 2024. Disponível em: <https://online.pucrs.br/blog/esg>.

TEXTILE EXCHANGE. **Materials Market Report**. 2024. Disponível em: https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2024/

Antonio Nunes Barbosa Filho
UFPE

CAPÍTULO 7.2

Riscos ocupacionais na cadeia produtiva do algodão: do plantio à colheita

Capitulo novo, publicado na edição de 2025.

Introdução

Todos os processos produtivos, para a sua consecução apresentam oportunidades de danos, em maior ou menor intensidade, à integridade laboral daqueles que neles atuam. A capacidade de realizar trabalho é um dos mais importantes fundamentos da vida humana, porque é por intermédio da remuneração pelo labor realizado que se possibilita aos indivíduos o próprio sustento e o de suas famílias, além dos recursos para empreender. Essa capacidade é, portanto, meio para a ascensão social e para o provimento dos investimentos públicos a partir dos tributos incidentes sobre o próprio trabalho, bem como sobre o consumo gerado em decorrência da capacidade de pagamentos, na esfera privada e dos serviços públicos. Logo, preservar esta capacidade, mais do que uma imposição de caráter legal, é um requisito ético para a manutenção e evolução da vida em sociedade. Assim sendo, como empregadores de mão de obra ou como tomadores de serviço, jamais deveremos descuidar desta obrigação junto àqueles que trabalham em nossos ambientes produtivos, sob pena de contribuirmos, ainda que involuntariamente, para prejuízos diversos na vida pessoal, familiar e social destes indivíduos e de todos aqueles afetados por eventos indesejados que resultem danos a esta capacidade de realizar trabalho.

A produção do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), uma das mais importantes culturas do agronegócio nacional, pode ser dividida em dois grandes segmentos: o primeiro se refere às atividades no campo, e o segundo às atividades inerentes à sua indústria de beneficiamento. As questões relativas à segurança ocupacional deste último segmento foram devidamente tratadas no "Manual de Beneficiamento do Algodão", publicado pelo Instituto Mato-grossense do Algodão. Renovado o compromisso dos produtores de algodão do estado do Mato Grosso com a preservação da capacidade de realizar trabalho de todos os que atuam na cadeia produtiva dessa cultura, compete-nos, neste capítulo, discorrer sobre como planejar e implantar o devido gerenciamento das condições de trabalho nas atividades de campo. Ou seja, desde o plantio e até a colheita.

1. O modo de atuação da SSO na preservação da integridade laboral dos trabalhadores

Para cumprir e fazer cumprir as regras e as medidas relativas à **Saúde e Segurança Ocupacional** junto a todos os que realizam atividades produtivas sob o seu comando, interesse ou em suas instalações, os produtores de algodão deverão estabelecer suas ações a partir de três conjuntos de saberes (Figura 1). Esses saberes são complementares, interdependentes e precisam ser aplicados de forma simultânea. Assim, tomando como referência as normas legais, o conhecimento técnico e as medidas gerenciais, e considerando a perspectiva do gerenciamento da rotina e da melhoria do Sistema de Saúde e Segurança Ocupacional (SSSO), as organizações podem desenvolver os meios necessários para enfrentar esses desafios.

Figura 1. As três dimensões da Saúde e Segurança Ocupacional (Fonte: Antonio Nunes Barbosa Filho)

De posse desses três conhecimentos no que diz respeito às atividades produtivas do empreendimento, os responsáveis pela Saúde e Segurança Ocupacional (SSO), enquanto função organizacional, poderão iniciar o planejamento das condições de trabalho com o objetivo de preservar a integridade laboral dos envolvidos — desde o cultivo até a colheita — e evitar a ocorrência de eventos indesejados que possam causar acidentes ou doenças relacionadas ao trabalho. Esse planejamento deverá ser conduzido a partir de três etapas ou perspectivas de atuação (Figura 2), que se desenvolvem sucessivamente, a saber:

i. **A previsão:** consiste em analisar cada uma das divisões do processo produtivo, identificando os riscos ocupacionais presentes (químicos, físicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes), avaliando o potencial de danos aos trabalhadores e os fatores que podem potencializar sua concretização;
ii. **A prevenção:** de posse das informações anteriores, será preciso estabelecer alternativas para as condições que apresentam maior potencial de causar perdas humanas, bem como aquelas com maior probabilidade de ocorrência. Exemplos dessas ações incluem a substituição de matérias-primas, a limitação de sua utilização ou a redução da exposição a elas. Além disso, devem ser associadas medidas como treinamentos, esclarecimentos, sinalização de segurança e outras iniciativas voltadas à orientação do comportamento nos ambientes de trabalho. E, por fim:
iii. **A proteção:** apesar de todos os cuidados e ao fiel cumprimento das etapas anteriores, ainda poderá existir a possibilidade de riscos residuais ou de difícil controle. Nesse caso, será necessário estabelecer medidas protetivas, priorizando aquelas de caráter coletivo (ou de engenharia), por dispensarem, a princípio, a necessidade de comportamento individual adequado para sua efetividade. Em última instância — por serem consideradas as medidas mais precárias — devem ser adotadas as de caráter individual (EPI).

2. O Olhar da Saúde e Segurança Ocupacional no cultivo do Algodão

Um dos principais desafios dos profissionais de SSO no planejamento de intervenções, com o objetivo de preservar a integridade laboral dos

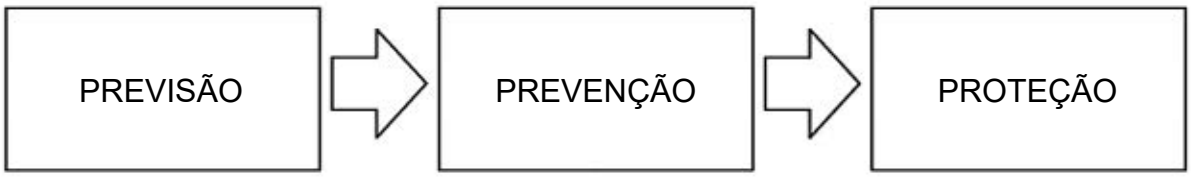


Figura 2. As etapas ou momentos da intervenção da Saúde e Segurança Ocupacional (Fonte: Antonio Nunes Barbosa Filho)

trabalhadores sob sua responsabilidade, está relacionado à compreensão dos fenômenos associados às oportunidades de danos a essa integridade: sua natureza, a probabilidade de ocorrência e a gravidade dos efeitos. Nesse sentido, a sistematização do conhecimento relacionado à multiplicidade de variáveis envolvidas, por meio de modelos para levantamento de informações e análise, será tarefa fundamental e poderá contribuir substancialmente para a melhor consecução do objetivo desejado.

No trabalho de campo, o profissional de SSO deverá orientar sua futura intervenção a partir da análise de cinco grupos de informações, sendo quatro deles relacionados aos fatores de produção e o último, ao fator humano. No primeiro bloco, estão incluídos: a cultura, as dimensões e o relevo, o ambiente bioclimático e os meios materiais (Figura 3). Com base nas informações associadas a esses fatores, o profissional de SSO definirá oportunidades e prioridades, além de avaliar o potencial de perdas e danos relacionados ao sistema produtivo — o que abrange tanto os trabalhadores quanto a própria produção em curso.

Nesta esteira, as atenções devem voltar-se às características da cultura, conforme as particularidades de cada variedade, considerando riscos típicos, em particular os químicos, seja decorrentes de substâncias naturais ou pelo uso de fertilizantes, além de defensivos agrícolas ou reguladores de crescimento. Tal preocupação deve levar em conta as composições e potencial toxicológico das substâncias componentes, o número de vezes e intervalos entre aplicações, observando-se o ciclo fenológico ou fases de desenvolvimento do algodão (fases vegetativa, formação de botões florais, de florescimento ou de abertura de flor e de abertura de capulho), de acordo com as quais será realizado o manejo fitossanitário, visando o controle de pragas e plantas daninhas.

Em continuidade, é necessário observar os modos de plantio, a colheita, as posturas às quais os trabalhadores estarão sujeitos e os esforços desprendidos nessas etapas, bem como nas atividades intermediárias, como o raleio ou desbaste em algumas culturas. Também devem ser considerados os meios materiais utilizados para essas atividades (ferramentas, gabaritos, equipamentos e maquinaria empregados), entre outros.

Por outro lado, é fundamental observar as dimensões, a topografia e a altitude do terreno em relação ao nível do mar, onde os trabalhadores atuarão. Essas informações darão ideia das distâncias a serem percorridas e da possibilidade ou não de utilização de determinadas tecnologias em benefício do trabalho.

Por sua vez, o ambiente bioclimático inclui biomas, que indicam a natureza da vegetação originária (como a liberação de pólen, por exemplo), a presença de animais diversos, considerando sua vitalidade e sua capacidade de atacar os seres humanos (insetos, roedores, animais peçonhentos e selvagens) de acordo com o horário do

Figura 3. Variáveis de Análise relativas à SSO nas atividades de campo (Fonte: Antonio Nunes Barbosa Filho)

dia e com a estação do ano em que uma determinada atividade será realizada. Fatores como temperatura e umidade também precisam ser considerados, pois têm repercussões específicas sobre o metabolismo. Trabalhos realizados sob exposição solar ou em temperaturas extremas (altas ou baixas), que impõem a necessidade rigorosa de controlar a hidratação e o equilíbrio hidroeletrolítico dos trabalhadores submetidos a essas condições. Além disso, há o risco de agressões à pele, resultantes da exposição à radiação ultravioleta, e o impacto de chuvas ou de ambientes úmidos, que podem afetar principalmente as extremidades do corpo.

No que diz respeito aos meios materiais, atenção especial deve ser dada à maquinaria, aos tratores e seus implementos (pulverizadores, semeadoras, colheitadeiras, etc.). Isso se justifica pelo elevado número de ocorrências de acidentes graves ou fatais, em sua maioria originados na inobservância das boas práticas na condução destes veículos (velocidade da operação, mudança súbita de direção, não uso de cinto de segurança, procedimentos de parada e estacionamento, entre outros aspectos rotineiros), cuja potência e porte são ampliados a cada nova geração.

Por último, mas não menos importante, como um quinto fator de análise, devem ser consideradas as características individuais de cada trabalhador (idade, biotipo, sexo, condições de saúde preexistentes, uso de medicações continuadas, doenças metabólicas e suas implicações sobre a aptidão para determinadas tarefas, etc.). Por fim, é essencial confrontar a susceptibilidade individual e o domínio técnico sobre o processo produtivo — do qual derivam o (re)conhecimento dos riscos associados, dos procedimentos e dos comportamentos necessários para a execução segura das tarefas — com as exigências impostas pelas condições laborais estabelecidas pelos empreendimentos.

3. Os riscos ocupacionais por estágio da produção do algodão

Os riscos ocupacionais se distribuem em cinco categorias:

a. **Riscos químicos:** relacionados às interações humanas e ambientais com substâncias químicas, cujo potencial danoso depende de suas propriedades físico-químicas, da forma e da intensidade de exposição a determinada matéria.
b. **Riscos físicos:** associados ao trânsito de energias na forma de ondas (calor, ruído e radiações, por exemplo).
c. **Riscos biológicos:** decorrentes do contato direto com agentes patogênicos (vírus, fungos, bactérias, protozoários, etc.).
d. **Riscos de acidentes:** ligados ao manuseio de elementos físicos, como maquinaria, ferramentas e o ambiente construído, bem como seus componentes (redes energizadas ou de combustíveis, partes móveis). Também incluem eventos derivados, como incêndios, explosões e o contato com animais em geral, inclusive os peçonhentos.
e. **Riscos ergonômicos:** aqueles que não se enquadram nas categorias anteriores e estão relacionados à individualidade, como posturas inadequadas, manuseio manual de cargas, duração, horário e extensão da jornada de trabalho, além das relações interpessoais e a forma como são conduzidas. Dentro desta categoria, destacam-se os riscos psicossociais, associados às relações humanas no trabalho (relações de subordinação e conflitos decorrentes do trabalho em equipe).

A partir desta conceituação, serão relacionados os riscos ocupacionais de acordo com as intervenções humanas em cada fase do processo produtivo. Nesse contexto, desde a preparação da área para o cultivo do algodão até a colheita, podem ser identificados oito estágios produtivos com intensa presença humana, quais sejam:

3.1. Limpeza da área destinada ao cultivo: seja para cultivo original ou por exigência fitossanitária, em razão de cultivos anteriores — em especial do próprio algodão (soqueiras)— com a subsequente adoção do vazio sanitário. Nesta fase, as intervenções podem ocorrer por meio da utilização de maquinaria especializada, conjugada com a aplicação de herbicidas conforme descrito no Capítulo 5-11 deste Manual. Dessa condição resultam riscos como: exposição a poeiras, ruído da maquinaria, acidentes com máquinas (durante o deslocamento

e operação), aplicação de defensivos e a exposição solar. Em face desses riscos, serão necessárias medidas preventivas e protetivas, como a separação e a sinalização dos espaços destinados à circulação de pessoas e de veículos, além do uso de EPI apropriados, incluindo vestimentas com faixas reflexivas para o trabalho em condições de baixa luminosidade.

Tabela 1. Recomendações para a destruição dos restos culturais do algodão (Fonte: APIPA (2020) *apud* Dias & Santos (2023, 78))

Alternativa	Técnica
Combinação 1	Roçadeira ou triturador de restos culturais + aplicação de herbicida sistêmico em sequência ou após a rebrota das soqueiras;
Combinação 2	Triturador de restos culturais + subsolador + grade. Após alguns dias é necessário avaliar a brotação;
Combinação 3	Correntão "pique a repique" + herbicida sistêmico em sequência imediata;
Combinação 4	Triturador de restos culturais + arrancador de soqueira + grade intermediária + avaliação da necessidade de utilização de herbicida.

3.2. Preparo do solo: após a eliminação dos restos culturais, realiza-se o tratamento dos terrenos (redução da compactação e nivelamento da superfície), com a incorporação de insumos (calcário, gesso ou similares). Nesta fase, também estarão presentes riscos como a exposição ao ruído e aos particulados, além das oportunidades de acidentes no manuseio de maquinaria e implementos (subsolador, escarificador, etc.) e, ainda, com animais peçonhentos, como ocorre em todo trabalho realizado em campos abertos.

3.3. Amostragem do solo: a coleta de amostras para o levantamento das características físicas e químicas do solo poderá demandar tecnologias diversas, de acordo com a disponibilidade na propriedade, em razão do número de pontos por área, da metodologia adotada, da profundidade de penetração no solo requerida, entre outros parâmetros. Nesta etapa, além dos riscos já citados no preparo do solo, exigências ergonômicas relacionadas ao manejo de trados e às demais atividades de coleta das amostras deverão receber atenção especial por parte dos profissionais de SSO.

3.4. Tratamento de sementes e, posterior semeadura: visando evitar problemas fitossanitários relacionados ao surgimento de doenças na fase inicial de desenvolvimento da cultura, realiza-se o tratamento de sementes com o uso de defensivos agrícolas. Listagem de produtos recomendados para o tratamento de sementes na cultura do algodão pode ser encontrada no site Agrofit do MAPA (https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Essa prática expõe todos os que lidam com seu manuseio aos potenciais efeitos toxicológicos destes produtos, até a conclusão da semeadura. A observação dos requisitos preventivos estabelecidos nas bulas e demais documentos técnicos de cada produto servem é essencial para

orientar quanto aos cuidados no manuseio e de ações necessárias em caso de acidentes, como derramamento, vazamentos, entre outros.

3.5. **Manejo de macronutrientes:** com o objetivo de favorecer o crescimento e o desenvolvimento dos tecidos vegetais, bem como a produção do algodoeiro, torna-se necessário realizar o aporte de nutrientes devido às características da formação dos solos de nosso país. Essa prática pode impactar diretamente a produtividade e a qualidade da pluma. Para isso, produtos contendo nitrogênio, fósforo, potássio, devem ser incorporados ao solo. Nesta etapa, os riscos ocupacionais estão relacionados ao manuseio dos materiais na forma de particulados, exigindo proteção adequada das vias respiratórias e da pele contra o contato das poeiras emanadas. Há ainda riscos relacionados ao manuseio das embalagens (deslocamento, abertura e tombamento, conforme o caso), e a lesões decorrentes do uso de equipamentos e implementos específicos para a aplicação dos insumos. Como medida subsequente, realiza-se a amostragem foliar para a verificação do estado nutricional da cultura.

3.6. **Uso de reguladores de crescimento e desfolhantes:** com o objetivo de propiciar maior produtividade, é necessário regularizar o processo de crescimento e de maturação das plantas que compõem determinada lavoura, coordenando a relação entre o crescimento vegetativo e o reprodutivo. Nesse contexto, o uso de reguladores de crescimento é de fundamental importância (cf. Capítulo 5-9 deste Manual), assim como a aplicação de desfolhantes na etapa de colheita para garantir plumas com o mais alto grau de limpeza (cf. Capítulo 5-10 deste Manual).

3.7. **Os cuidados relativos à aplicação dos reguladores de crescimento e desfolhantes para o algodão devem seguir os procedimentos padrão para o uso de defensivos agrícolas, abrangendo todas as fases:** recebimento, estocagem, manuseio, preparação para aplicação (caldas, etc.), limpeza de equipamentos e de vestimentas, bem como o manejo de resíduos e embalagens. Além do uso de equipamentos de proteção individual (EPI) adequados, tabelas com sintomas de eventuais intoxicações agudas e crônicas causadas pelos produtos devem estar disponíveis e ser de conhecimento de todos os que tenham contato direto ou indireto com essas substâncias.

3.8. **Colheita:** a fase final do trabalho de campo não está isenta de riscos. Pelo contrário, o uso intensivo de maquinaria em jornadas prolongadas, associado a situações de perigo decorrentes da operação regular dessas máquinas nessas condições, gera oportunidades para eventos indesejados, como a ocorrência de incêndios e falhas humanas por fadiga, entre outros.

Outrossim, cabe destacar que o trabalho no campo apresenta oportunidades de acidentes com animais diversos, sobretudo os peçonhentos, específicos de cada bioma, e doenças resultantes do contato com patógenos — seja pelo contato com os animais, com o solo ou por via hídrica. Atenções referentes a estas ocorrências devem ser antecipadas por meio de medidas preventivas e protetivas, que devem integrar a rotina de gerenciamento de riscos ocupacionais do empreendimento. Como parte adicional da estratégia da preservação da integridade ocupacional dos trabalhadores, exames médicos devem ser realizados para verificar eventual contágio por esses patógenos, com a adoção da terapêutica adequada para cada caso.

Em continuidade, considerando a frequência do uso de maquinaria, o manuseio de defensivos agrícolas e seus resíduos, incluindo as embalagens, e o trabalho sob exposição solar no cultivo do algodão, passaremos a dedicar atenção a estas temáticas nos tópicos a seguir.

4. O trabalho sob exposição solar

Apesar dos milhares de anos de evolução e das maravilhas que o ser humano foi — e continua sendo — capaz de realizar, o corpo humano, frequentemente chamado de "máquina humana", é, do ponto de vista do aproveitamento da energia para a execução de tarefas, um aparato rudimentar. Em geral, o rendimento não ultrapassa

25%, sendo que todo o restante dessa energia é transformado em calor, o qual precisa ser liberado ao meio. Caso contrário, esse calor se acumulará no interior do corpo e, entre outros prejuízos, causará esgotamento físico. Essa é, portanto, uma condição essencial para a sobrevivência, em razão da necessidade inafastável de manter uma temperatura corporal estável e dentro de certos limites (homeostase), o que tem de ser alcançado por meio de ações do mecanismo da termorregulação.

Estas trocas térmicas dependem, em linhas gerais, de duas dimensões principais: i) a quantidade de calor gerado na execução das atividades e ii) as características do ambiente térmico no qual essas trocas irão ocorrer.

O calor gerado depende da intensidade do esforço físico despendido, considerando a amplitude dos movimentos, sua repetição em uma unidade de tempo, entre outras variáveis. O ambiente térmico, por sua vez, seja construído ou a céu aberto, é influenciado por fatores como a temperatura da atmosfera, a presença ou ausência de fontes de calor, a umidade relativa do ar, a ventilação ou renovação do ar, além da velocidade de circulação (que afeta o arrastamento do calor na superfície do corpo). Outros aspectos relevantes incluem a geometria, as dimensões e os materiais do ambiente (como o número e as posições de aberturas e as propriedades térmicas das superfícies circundantes, incluindo a permeabilidade.). Também é importante considerar o tipo de vestimenta utilizada (se curta ou longa), o número de camadas e o tecido com o qual é confeccionada (natural, sintético ou de alta performance em relação à resistividade térmica e à sudorese).

Somam-se a esses fatores, é possível discorrer sobre atributos específicos de cada indivíduo e sua influência na adaptabilidade às exigências térmicas de um local de trabalho. Entre esses atributos estão a idade, etnia, uso de medicamentos, o biotipo (relação massa/altura), superfície corporal e estado geral de saúde (como a presença de distúrbios cardíacos ou circulatórios, diabetes ou outras condições) que, em conjunto com os fatores já citados, podem influenciar a capacidade de resposta à elevação da temperatura corporal.

Convém esclarecer que, tanto em situações de calor extremo positivo (altas temperaturas) quanto de calor extremo negativo (baixas temperaturas), o principal mecanismo de regulação térmica ocorre por meio das trocas mediadas pela água — sobretudo pela excreção e pela sudorese. Assim, se o processo de perda de líquidos e sais não for interrompido, o organismo poderá entrar em falência por desidratação. Portanto, é imprescindível manter uma hidratação correta e contínua quando exposto a temperaturas elevadas, ingerindo pequenas quantidades de líquidos em intervalos regulares. Isso porque todas as funções do organismo dependem do balanço hidroeletrolítico— o delicado equilíbrio entre água e sais —, cuja manutenção é essencial para a saúde e a sobrevivência.

Em condições regulares, eliminamos, em média, cerca de 2,5 litros de água por dia, sendo a maior parte excretada na forma de urina. Quando há exposição acentuada ao calor ambiental, esse volume tende a aumentar significativamente, o que pode causar danos à saúde e a órgãos específicos. A desidratação pode provocar câibras (nos músculos dos membros e do abdômen), além de alterações neurológicas que podem deixar sequelas de longa duração. Entre os efeitos decorrentes dessas condições, não é raro ocorrerem insolação e intermação, fenômenos com sintomas semelhantes, mas de gravidades distintas.

A insolação é caracterizada por tontura, náuseas, vômitos ou diarreia, sede intensa, aumento da temperatura corporal, diminuição do nível de cons-

ciência e, em alguns casos, pode levar ao estado de coma. Como intervenções, deve-se proceder à imediata hidratação da vítima, de preferência com soluções isotônicas em pequenas doses (como o soro caseiro, por exemplo), além de favorecer o resfriamento do corpo, removendo-a para um local arejado e fresco e aplicando compressas frias (não geladas) sobre pontos de grande circulação de calor, como a nuca, axilas, virilha e pulsos. O estado de consciência deve ser monitorado constantemente, verificando-se respostas a perguntas simples, como o nome, idade e o dia da semana. Em caso de desfalecimento, a vítima deve ser colocada em decúbito lateral esquerdo para evitar eventual engasgo, sendo providenciada a remoção imediata para o serviço de saúde mais próximo.

A intermação, por sua vez, ocorre quando, diante das exigências de regulação térmica impostas, o organismo não consegue reagir de forma adequada para promover as compensações frente ao calor acumulado no interior do corpo. Essa condição é mais comum durante a realização de atividade física intensa em ambientes quentes e úmidos (que dificultam a evaporação do suor e, consequentemente, as trocas térmicas com o meio). Há uma súbita elevação da temperatura corporal, sem necessariamente apresentar sinais de alerta como cefaleia, vertigens, sensação de desmaio, cãibras ou dores musculares intensas. A sudorese pode estar ausente ou diminuída. Entretanto a frequência cardíaca aumenta intensamente, enquanto a frequência respiratória decresce, podendo causar desorientação ou confusão mental, seguida de convulsões ou coma. Esses distúrbios podem resultar em graves lesões musculares e desidratação, insuficiência renal, danos cerebrais e até mesmo morte. A intermação é uma emergência médica. Ao identificar sintomas dessa condição em membros da equipe, é imprescindível a remoção imediata destes indivíduos para um hospital, a fim de receberem as condutas médicas apropriadas.

Mais que pertinentes, são rigorosamente necessárias as pausas ao longo da jornada de trabalho para a recuperação muscular, reidratação e reposicionamento postural. Essas medidas visam diminuir os efeitos de sobrecargas nas estruturas musculoesqueléticas decorrentes da permanência prolongada em determinadas posições, resultado da baixa alternância de posturas durante a execução de tarefas específicas na agropecuária.

Neste sentido, cuidados especiais devem ser tomados quando a umidade relativa estiver baixa, uma vez que a sensação subjetiva de ausência de transpiração pode levar à ideia equivocada de que ela não está ocorrendo. Pelo contrário, o que ocorre é uma rápida evaporação do suor assim que ele alcança a superfície do corpo, não havendo acúmulo nas vestes ou sobre a pele, como é comum quando a umidade é mais elevada. Por vezes, devido a essa percepção incorreta, a duração das atividades se prolonga, o que pode resultar em efeitos como os anteriormente citados.

Quanto aos efeitos térmicos do ambiente de trabalho, especialmente quando realizados a céu aberto, mesmo com a utilização de cobertas para a proteção contra a exposição solar e intempéries, não podemos deixar de mencionar os potenciais danos da radiação solar sobre a pele. São as radiações compreendidas entre 250 e 400 nm (1 nm = 10-9 m), notadamente a faixa UV-A, que tem potencial danoso devido ao seu poder de penetração nas camadas da pele (Figura 4). É importante compreender que é a exposição prolongada, de maneira não controlada ou sem os devidos cuidados, o que representa perigo à saúde dos indivíduos expostos.

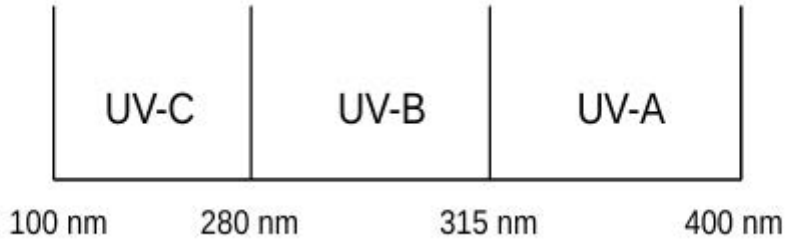


Figura 4. Comprimentos de onda para as radiações UV (A, B e C)

Uma maneira prática de orientar a necessidade de proteção contra a exposição solar, considerando os níveis de radiação e sua contribuição efetiva para queimaduras na pele humana, é utilizar o Índice de Ultravioleta (IUV), que fornece uma medida da energia incidente por unidade de área. Cada valor nessa escala corresponde a 25 mW/m². Assim, quanto maior o índice UV, maior será o risco de queimaduras em decorrência da exposição durante determinado período de tempo (Tabela 2).

Tabela 2. Tempo máximo de exposição por Índice UV

Índice UV	Nível	TME* (mín)
0, 1, 2	Baixo	-
3, 4, 5	Moderado	**45**
6, 7	Alto	**30**
8, 9, 10	Muito alto	**15**
11 ou +	Extremo	10

TME – tempo máximo de exposição

Quanto às medidas protetivas requeridas em função do IUV, sugere-se o seguinte:

a. O nível baixo (IUV 1 e 2) não requer proteção específica durante a exposição;
b. Os níveis moderados e alto de exposição (IUV 3 a 7) requerem proteção, sendo recomendado manter-se à sombra durante as horas centrais do dia, utilizar camisa, creme protetor e chapéu;
c. Os níveis muito alto e extremo (IUV 8 ou superior) demandam proteção extra, incluindo evitar sair ao sol durante as horas centrais, sendo imprescindível o uso de camisa, creme protetor, chapéu e óculos escuros.

A intensidade da radiação UV incidente em determinada localidade não é uniforme em relação às demais, pois resulta de um conjunto de fatores, tais como:

a. Altura do sol: quanto mais alto o sol no céu, maior será o nível de radiação. Esse fator depende do horário e da época do ano em que ocorre a exposição, com os maiores níveis acontecendo por volta do meio-dia solar e no período do verão;
b. Latitude: quanto mais próximo da linha do Equador, mais intensa será a radiação;
c. Nebulosidade: na ausência de nuvens, recebemos uma maior quantidade de radiação UV, que pode ser alta mesmo em dias nublados, devido ao efeito de espalhamento, similar à refletância, elevando os níveis totais aos quais estamos expostos;
d. Camada de ozônio: há variações na camada de ozônio e em sua capacidade de absorção da radiação UV ao longo do ano e mesmo durante um único dia;
e. Altitude: à medida que nos deslocamos para altitudes maiores, a camada de atmosfera se torna cada vez mais fina, o que resulta em menor absorção dos raios **UV**. Uma subida de 1.000m pode resultar um aumento de 10 a 12% dos níveis de radiação;
f. Reflexo das superfícies adjacentes: como a superfície do

próprio chão e a superfície das águas, que provocam reflexão e espalhamento da radiação incidente sobre elas.

Neste sentido, a NR 21, que trata dos trabalhos a céu aberto (Brasil, 2020), estabelece:

- Item 21.1. Nos trabalhos realizados a céu aberto, é obrigatória a existência de abrigos, ainda que rústicos, capazes de proteger os trabalhadores contra intempéries.
- Item 21.2. Serão exigidas medidas especiais que protejam os trabalhadores contra insolação excessiva, o calor, o frio, a umidade e os ventos inconvenientes.

Juchem *et al.* (1998, p. 48) apontam que "para um indivíduo de pele normal, há cinco perigos da exposição solar", a saber:

1. Os efeitos agudos (queimadura solar, fototoxicidade induzida por medicamentos);
2. Os riscos a longo prazo da exposição descontrolada e repetida, resultando no desenvolvimento de modificações actínicas ou dermatohelioses, como o envelhecimento precoce (rugas, adelgaçamento irregular da epiderme, telangiectasias, máculas hiperpigmentadas);
3. O desenvolvimento de lesões pré-malignas (ceratoses celulares), como carcinoma basocelular, espinocelular e melanomas;
4. A consequência do dano fotoquímico cumulativo aos olhos desprotegidos, resultando no escurecimento das lentes (envelhecimento da lente) e formação de catarata nuclear;
5. A alteração da resposta imune, da função e da distribuição dos componentes do sistema imunológico, causando uma incompetência imune seletiva.

A percepção dos efeitos danosos da exposição prolongada e reiterada ao sol sobre a pele deve levar cada indivíduo a se tornar um agente ativo na identificação de sinais de alerta, especialmente no que diz respeito à ocorrência de melanoma, considerada a principal doença fatal originada na pele (Juchem *et al.*, p. 54). Neste sentido, convém destacar a importância do autoexame, durante o banho ou em outras ocasiões, como ao se vestir, verificando-se a integridade da pele e as características "ABCD" de manchas ou pintas que possam surgir ou se modificar. Ao exame cuidadoso, devemos observar se estas têm:

a. Assimetria dos bordos;
b. Bordos irregulares ou mal definidos;
c. Cor ou pigmentação não uniforme;
d. São de diâmetro superior a 6 mm .

Manchas com estas descrições, assim como feridas na pele que coçam, descamam, sangram ou que não cicatrizam em até cerca de um mês, bem como aquelas que aumentam de tamanho ou ganham proeminência, são indicativos de alerta e da necessidade imediata de atenção médica especializada.

Ali (1994, p. 191) explicita que "o câncer cutâneo ocupacional é doença pouco conhecida em virtude de dificuldades em se estabelecer o nexo causal, devido ao período de latência longo (de 5 a 50 anos) que decorre desde as primeiras exposições ao agente até o aparecimento das manifestações cutâneas". Ele também destaca que, para este processo, vários fatores podem contribuir, dentre os quais se destacam:

i. Genéticos (cor da pele e dermatose preexistente);
ii. Imunológicos: para indivíduos imunodeprimidos;
iii. Ambientais: o tipo da radiação e as características da exposição

A melanina é um pigmento natural que tem função fotoprotetora. Ou seja, exerce ação protetora contra os efeitos da luz e da radiação. Existem três tipos de melanina: a eumelanina, que varia do castanho ao preto; a feomelanina, que vai do amarelo ao vermelho; e a alomelanina, que tem coloração negra, embora ocorra apenas em vegetais. Pessoas negras ou morenas possuem maiores quantidades de eumelanina, enquanto as loiras ou ruivas possuem maiores quantidades de feomelanina. As eumelaninas têm alto peso molecular, sendo insolúveis em quase todos os solventes. Já as feomelaninas são solúveis em álcalis diluídos. Logo, as eumelaninas são mais eficientes na proteção contra os raios UV do que as feomelaninas. Por fim, vale destacar que o uso de

diuréticos, antibióticos e outras drogas pode aumentar a sensibilidade da pele em relação a esta radiação à radiação solar, assim como a ingestão de alguns alimentos fotossensibilizantes.

Cuidados especiais devem ser dedicados aos pés, pois, não raro, são bastante exigidos em distintos momentos da prospecção arqueológica: em longas caminhadas, frequentes deslocamentos, inclusive conduzindo cargas, e em posturas esdrúxulas, que podem ocorrer ao atravessar cursos d'água ou serem submetidos a condições com efeito similar, devido à acumulação de suor no interior dos calçados. Essa exposição, quando contínua, pode resultar no quadro clínico conhecido como "pé de imersão", cujas implicações incluem lesões decorrentes da absorção da água pela pele. Quando não tratadas adequadamente, essas lesões podem se transformar em feridas abertas, tornando-se dolorosas e propensas à instalação de infecções.

Neste contexto, como medida preventiva, deve-se adotar como prática habitual a troca das meias sempre que houver a sensação de pés úmidos ou a intervalos regulares. Para tanto, mantenha à mão pares de meias limpas e secas (preferencialmente de tecidos naturais). A cada troca, verifique a presença ou tendência à formação de bolhas e/ou feridas, mantendo os pés enxutos e devidamente protegidos. Na ocorrência de determinadas lesões, o tratamento pode envolver a administração de antibióticos, sob rigorosa prescrição médica, o reforço da vacina antitetânica e, nos casos mais graves, até mesmo intervenções cirúrgicas nos locais afetados.

Resta-nos, então, atuar no sentido de minimizar o exercício laboral que sujeite os trabalhadores aos potenciais infortúnios da tarefa sob exposição solar. Como primeira ação, podemos nos valer, em particular, de medidas de proteção individual (uso de protetor solar, chapéus com abas largas, capuz ou touca árabe, óculos de proteção contra luminosidade intensa e radiações, além de vestimentas apropriadas, inclusive com mangas para a proteção do braço e do antebraço), ao que se soma a limitação quanto ao horário de não-exposição preferencial (entre as 10 h e 16 h, nem sempre viável). No que diz respeito aos efeitos decorrentes dessa condição de trabalho, devem ser adotadas para a rigorosa manutenção do equilíbrio hidroeletrolítico (entre água e sais minerais, essencial para a fisiologia humana), por meio de reidratação constante, adequada e contínua, além da realização de pausas visando o descanso térmico e termorregulação. A essas medidas, podemos ainda acrescentar a recomendação de banhos de imersão, o uso de sistemas de resfriamento e o repouso em ambientes refrigerados, como métodos adicionais de recuperação térmica durante exposições prolongadas ao sol e seus efeitos sobre o organismo.

5. O uso de defensivos agrícolas para o combate de pragas, ervas daninhas e doenças do algodoeiro

A presença de doenças, pragas e ervas daninhas, nas diversas fases de ciclo produtivo pode causar grandes perdas à lavoura de algodão. O conhecimento dos agentes causadores e do período de maior incidência deles, em relação ao número de dias após a semeadura (DAS), constitui-se como informação primordial no combate e controle destes elementos indesejados. Estratégias baseadas no uso de agroquímicos ainda prevalecem, embora intervenções orientadas pelo controle biológico estejam cada vez mais presentes, sobretudo como resultado das exigências de rastreabilidade, cada vez mais comuns no mercado da *commodity* algodão.

	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
	EXTREMAMENTE TÓXICO	ALTAMENTE TÓXICO	MODERAMENTE TÓXICO	POUCO TÓXICO	IMPROVÁVEL DE CAUSAR DANO AGUDO	NÃO CLASSIFICADO
PICTOGRAMA					Sem símbolo	Sem símbolo
PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	CUIDADO	Sem advertência
CLASSE DE PERIGO						
Oral	Fatal se ingerido	Fatal se ingerido	Tóxico se ingerido	Nocivo se ingerido	Pode ser perigoso se ingerido	-
Dérmica	Fatal em contato com a pele	Fatal em contato com a pele	Tóxico em contato com a pele	Nocivo em contato com a pele	Pode ser perigoso em contato com a pele	-
Inalatória	Fatal se inalado	Fatal se inalado	Tóxico se inalado	Nocivo se inalado	Pode ser perigoso se inalado	-
COR DA FAIXA	Vermelho PMS Red 199 C	Vermelho PMS Red 199 C	Amarelo PMS Yellow C	Azul PMS Blue 293 C	Azul PMS Blue 293 C	Verde PMS Green 347 C

Figura 5. Classes toxicológicas de produtos químicos. Fonte: RDC 294/2019 (ANVISA, 2019)

Cabe destacar que, a priori, nem toda substância com aprovação para utilização como defensivo agrícola é necessariamente danosa aos seres humanos. Para tanto, é preciso verificar sua composição e potencial toxicológico, a fim de identificar interações prejudiciais com os organismos vivos e com o meio ambiente. A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) classifica os defensivos agrícolas em 6 categorias toxicológicas com relação à periculosidade ao ser humano, sendo a Categoria 1 e a Categoria 2 as mais tóxicas (faixa vermelha), e a categoria não classificada (faixa verde) a menos tóxica, conforme mostrado na Figura 5.

A intoxicação por agrotóxicos pode ocorrer de duas formas:

- Exposição direta: diz respeito à exposição em atividades como o manuseio para o transporte, a armazenagem, o preparo e a transferência de caldas, aplicação na lavoura, destinação de resíduos e limpeza dos ambientes e utensílios.
- Exposição indireta: ocorre contaminação cruzada, devido ao contato com plantas, roupas, objetos e até alimentos contendo resquícios dos produtos utilizados.

Quanto à probabilidade de um determinado defensivo agrícola causar danos à saúde do trabalhador, é necessário avaliar o risco relacionado às condições nas quais as atividades a cargo desse indivíduo ocorrem. O risco pode ser entendido como o produto da toxicidade do produto em si, combinado com as condições de exposição (dose, duração, forma de penetração no organismo, meios de proteção disponíveis etc.), conforme ilustrado na Tabela 3.

Em relação aos efeitos, estes podem ocorrer em curto espaço de tempo após o contato ou exposição, sendo chamados de efeitos agudos. Já os efeitos de longo prazo, que surgem dias, meses ou até anos após a exposição, são considerados crônicos.

Tabela 3. Avaliação de risco por exposição a químicos

Risco =	Toxidade	x Exposição
Alto	Alta	Alta
Baixo	Alta	Baixa
Alto	Baixa	Alta
Baixo	Baixa	Baixa

Os sintomas da intoxicação por agrotóxicos podem assumir uma variedade de formas, como cefaleias, tonturas, vertigem e alterações visuais, passando por náuseas, vômitos e cólicas abdominais, problemas respiratórios, dores no peito e falta de ar, irritação nasal, nos olhos e na garganta, com acessos de tosse, alterações na micção (em quantidade e cor), salivação e sudorese aumentadas, falas com frases desconexas, queimaduras e alterações na pele, entre outros, dependendo da natureza das substâncias às quais o trabalhador foi exposto e das vias de penetração no organismo.

Visando a tomada de providências em atenção à saúde do trabalhador, a OPAS/OMS define como caso suspeito de intoxicação por agrotóxicos: *"Todo indivíduo que, tendo sido exposto a agrotóxicos, apresente sinais e/ou sintomas clínicos de intoxicação. Também será considerado como suspeito o indivíduo que, mesmo sem apresentar sinais e/ou sintomas clínicos de intoxicação, tenha sido exposto a produtos agrotóxicos e apresente alterações laboratoriais compatíveis".*

Assim, além do devido treinamento e do fornecimento dos equipamentos de proteção necessários para lidar com esses produtos, as empresas que os utilizam devem estabelecer, previamente, um conjunto de procedimentos para as condutas de emergência e primeiros socorros, em casos de contato com a pele, olhos, inalação ou ingestão acidental. Ademais, devem adotar exames regulares de biomarcadores, que indicam a presença e o nível de determinado toxicante no organismo de um trabalhador.

É não apenas possível, mas necessário, prevenir a intoxicação por agrotóxicos. Para a gestão adequada dos agrotóxicos no ciclo produtivo dos empreendimentos agropecuários, é indispensável observar o ciclo de vida desses produtos dentro das organizações. Ou seja, sua entrada, permanência, utilização e saída nas instalações da organização.

A entrada deve ocorrer por meio da aquisição adequada, a partir da prescrição em receituário apropriado, com o tipo de produto (e sua composição) específico para a cultura-alvo, número e periodicidade entre aplicações, sempre em conformidade com as restrições primárias de segurança, contidas na bula, no rótulo do produto ou, ainda, em sua Ficha com Dados de Segurança (FDS).

A permanência diz respeito aos cuidados com o transporte, armazenamento e preparação para as aplicações, inclusive em relação às transferências desde o contenedor utilizado para esse preparo até o aplicador, de acordo com o meio utilizado: se por pulverizadores intercostais, tratorizados ou até mesmo por drones.

Por sua vez, a saída do agrotóxico ocorre pelo seu consumo, bem como pelo descarte de seus resíduos e embalagens. Essas ações devem seguir procedimentos adequados, como a lavagem dos reservatórios utilizados em seu processamento e a logística reversa das embalagens, após inutilizadas, para evitar o uso indevido das mesmas, enviando-as de volta aos fabricantes e seus representantes ou distribuidores.

Além dos cuidados gerais ao longo do ciclo de vida dos agrotóxicos nas organizações, como explicitado acima, os trabalhadores sujeitos ao contato com esses produtos devem utilizar equipamentos de proteção individual (EPI) em todas as situações que ofereçam risco de exposição, dentre os quais podemos recomendar:

- Vestimentas: macacão impermeável com capuz (preferencialmente) ou calças e camisas longas, de tecido hidrorrepelente (para evitar a passagem dos produtos ao seu interior e

o contato com o corpo dos trabalhadores).

- Avental: também impermeável, de uso frontal durante as manipulações (como na preparação da calda) e costal (durante as aplicações com reservatórios costais).
- Calçados: botas de cano longo e impermeáveisque devem ser usadas dentro das calças para evitar o escorrimento de produtos para seu interior.
- Luvas: preferentemente nitrílicas ou de neoprene, ou, ainda, de látex ou de PVC, conforme as indicações de compatibilidade e exigências constantes nas bulas ou nas FDS dos produtos manuseados. Devem ser usadas interna ou externamente às mangas, conforme a posição da aplicação em relação ao trabalhador, para evitar o escorrimento para o interior das luvas. Por regra: alvos altos, luvas por fora; alvos baixos, luvas por dentro.
- Proteção respiratória: é importante evitar a inalação de partículas e/ou vapores tóxicos. Os respiradores podem ser descartáveis ou duráveis (com filtros de reposição), cuja vida útil e efetividade devem ser rigorosamente controladas, pois podem tornar-se meios de contaminação direta e cruzada quando saturados.
- Proteção facial e ocular: por meio de viseiras, preferencialmente, para a proteção dos olhos e da face contra respingos.
- Proteção para a cabeça, pescoço e couro cabeludo: touca ou boné árabe, em tecido impermeável, que deve ser cuidadosamente ajustado à proteção facial e respiratória.

Cabe destacar que as vestimentas com a finalidade de proteção devem ser adequadas ao tamanho e às medidas dos segmentos do corpo de cada usuário, para que não ocorram folgas ou áreas desprotegidas durante quando o plantio, fumigação, pulverizações, etc. É importante relembrar a necessidade de adquirir vestimentas e EPIs, em geral, devidamente certificados. Ou seja, aqueles que foram desenvolvidos, testados e aprovados para uma finalidade específica e segundo níveis de proteção desejados. Outrossim, é fundamental observar que a sequência de vestir e despir as peças da vestimenta de proteção aos agrotóxicos não segue a ordem inversa, como poderia se pensar. Ao despir, a última peça a ser retirada é o protetor respiratório, para que sua função seja mantida durante todo o ciclo de retirada das vestimentas.

5.1. Tratamento e destinação de embalagens de defensivos agrícolas

É inegável que o uso adequado de agrotóxicos contribui significativamente para o nível de produtividade do agronegócio nacional. Entretanto, para que isso ocorra, milhares de embalagens vazias ou contendo resíduos são geradas e precisam ser corretamente tratadas e destinadas.

Mas, dado que há uma variedade de tipos de embalagens, é necessário diferenciá-las quanto às suas características e o tratamento a ser dedicado a cada uma delas. O primeiro passo é classificá-las como laváveis ou não-laváveis.

As embalagens laváveis são rígidas (plásticas ou metálicas) e comportam produtos na forma líquida. Essas embalagens devem passar por tríplice lavagem ou lavagem sob pressão antes do descarte.

As embalagens não-laváveis são oriundas de produtos que não utilizam água como veículo de pulverização. Entre essas, encontramos embalagens flexíveis (sacos plásticos, de papel, metalizadas, mistas ou de outro material flexível), rígidas não-laváveis (usadas em produtos para tratamento de sementes e formulações oleosas), e embalagens secundárias (rígidas ou flexíveis), que acondicionam as embalagens primárias ou de contenção, não entrando, portanto, em contato direto com os produtos contidos – como caixas de papelão, cartuchos de cartolina, fibrolatas e embalagens termo moldáveis.

As embalagens rígidas laváveis devem ser inutilizadas após a lavagem, para evitar reutilização indevida. Já as não-laváveis não devem ser perfuradas antes do descarte. Ambas devem ser armazenadas temporariamente em local apropriado até o encaminhamento para os postos de recebimento.

Para tanto, cada grupo deve ser segregado e destinado à armazenagem temporária, em área ventilada ou dedicada a essa função, ou no próprio armazém de defensivos, mantido em embalagens secundárias ou de resgate, obtidas junto aos fornecedores, até a sua destinação a postos de recebimento, fixos ou volantes, indicados pelos revendedores na Nota Fiscal, no prazo de até

um ano de sua aquisição, e posteriormente encaminhado a uma central de recolhimento de embalagens vazias.

O Brasil conta com o Sistema Campo Limpo, uma rede de logística reversa coordenada pelo Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV), entidade sem fins lucrativos que representa a indústria fabricante de defensivos agrícolas. O INPEV gerencia e articula os diferentes elos da cadeia agrícola para garantir a eficiência e a melhoria contínua dos processos do Sistema Campo Limpo, responsável pela logística reversa dessas embalagens em território nacional e responsável por garantir a destinação correta das embalagens vazias de defensivos agrícolas. O sistema tem mais de 400 unidades de recebimento, distribuídas por todo o país.

Os postos de recebimento conferem se as embalagens foram devidamente lavadas e separadas por tipo. O encaminhamento para esses postos deve ser feito em até um ano após a aquisição do produto, conforme indicado na Nota Fiscal. O produtor deve realizar um agendamento prévio para entrega das embalagens nos postos de recolhimento, utilizando os canais do INPEV. O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é essencial durante o manuseio desses materiais que são destinados às centrais de recolhimento, o local apropriado para o encaminhamento final das embalagens vazias, sob coordenação e a encargo do INPEV.

De acordo com a legislação nacional (Lei 9974/2000 e Decreto-Lei 4074/2002), a responsabilidade pelo tratamento e destinação adequados das embalagens de agrotóxicos é compartilhada por todos aqueles que fazem parte da cadeia de produção, comercialização e uso: fabricantes, distribuidores, produtores e poder público.

Deste modo, além dos fabricantes, os seus representantes ou distribuidores, bem como os produtores têm um papel a cumprir ao longo do ciclo de vida destes produtos, desde a sua concepção, produção, venda, uso e retorno ou devolução aos atores competentes para a destinação adequada, seja reciclagem ou incineração, caracterizando, assim, o que chamamos de "logística reversa": aquela que se dá desde o ponto em que se encontra junto aos consumidores, retornando até a origem do sistema produtivo.

Além destes atores, o Poder Público também atua com regulamentações e fiscalizações, definindo normas e padrões de atuação, bem como aplicando multas pelo descumprimento destes, o que pode, inclusive, resultar em crimes, conforme estabelece o Art. 56 da Lei n. 9.605/1998:

Caput – Produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos:

§ 1o Nas mesmas penas incorre quem:

I – Abandona os produtos ou substâncias referidas no caput ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança;

II – Manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

Quando uma cadeia produtiva envolve diferentes atores, o melhor resultado somente será alcançado com a efetiva e contínua participação de cada um deles na plena satisfação de suas obrigações e deveres. Assim,

quanto às embalagens de agrotóxicos e sua logística reversa, temos as seguintes competências a cumprir solidariamente:

i. Aos agricultores/produtores rurais cabe:
   - Lavar, inutilizar e armazenar temporariamente as embalagens, de acordo com as orientações técnicas pertinentes;
   - Devolver as embalagens no local indicado na Nota Fiscal;
   - Guardar o comprovante de entrega ou de devolução das embalagens junto ao canal de distribuição (cooperativas ou revendedores) pelo prazo de um ano.

ii. Aos canais de distribuição, incluindo cooperativas, compete:
   - Educar e conscientizar os agricultores sobre a importância da logística reversa e incentivar a efetiva e contínua participação no sistema;
   - Indicar o local para a devolução da embalagem pós-consumo;
   - Receber e armazenar adequadamente o material;
   - Emitir comprovante de devolução aos produtores.

iii. Aos fabricantes (representados pelo INPEV):
   - Educar e conscientizar os agricultores sobre a importância da logística reversa e incentivar a efetiva e contínua participação no sistema;
   - Retirar as embalagens armazenadas nas unidades de recebimento;
   - Dar a correta destinação e tratamento ao material recebido (reciclagem ou incineração).

iv. Por fim, cabe ao Poder Público:
   - Educar e conscientizar os agricultores sobre a importância da logística reversa e incentivar a efetiva e contínua participação no sistema;
   - Conceder licenciamento às unidades de recebimento (conforme o disposto na Resolução CONAMA 465/214, que dispõe sobre os requisitos e critérios técnicos mínimos necessários para o licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens de agrotóxicos e afins, vazias ou contendo resíduos);
   - Fiscalizar o cumprimento das atribuições dos segmentos envolvidos.

Ao descumprirem quaisquer dos aspectos relacionados à aquisição, guarda e conservação, uso e destinação de agrotóxicos e, por conseguinte, ao trato com suas embalagens e resíduos, os produtores estarão sujeitos às penalidades previstas na legislação, em especial às multas, que podem variar de valores na ordem de reais a milhões de reais, sendo aplicadas cumulativamente a outras sanções, por órgãos estaduais e federais, conforme o caso.

Costumo dizer aos meus alunos que uma forma de convencer seus futuros contratantes ou atuais empregadores sobre o valor dos investimentos na prevenção de acidentes e doenças ocupacionais pode ser estabelecida por meio da comparação entre os valores a serem investidos nesse processo e os valores resultantes das multas – sem desconsiderar outras consequências econômicas, como indenizações acidentárias e ações regressivas.

É uma equação bastante simples, a partir da qual, inclusive, podemos vislumbrar o tempo de retorno da inversão, o qual será sempre favorável ao "Investimento". Como dizem por aí: "As multas são a pior forma de se desperdiçar recursos!"

O conjunto de cuidados com os defensivos agrícolas vai além da destinação correta das embalagens vazias. O manejo responsável começa na aquisição dos produtos por meio dos canais formais, integrantes do sistema de logística reversa, e segue com as recomendações técnicas do receituário agronômico. A segurança deve ser observada em todas as etapas, incluindo o transporte, recebimento, armazenamento, preparo para aplicação, durante e após o uso , além do descarte adequado de resíduos e embalagens.

Também é fundamental ficar atento a eventuais sintomas de intoxicação por agrotóxicos presentes, não nos que têm contato direto com eles, mas em todos os envolvidos em seu manuseio, incluindo, até mesmo, pilotos de drones e da aviação agrícola, conforme o caso, e moradores da circunvizinhança dos campos de lavouras tratados. Neste sentido, é importante estabelecer um mapa de sintomas, de acordo com os tipos de defensivos mais utilizados na organização, como forma de atuação preventiva e para emergências.

6. Acidentes com máquinas e implementos agrícolas

Podemos definir uma máquina como um conjunto de peças ou de órgãos ligados entre si, em que, pelo menos, um é móvel, e se for o caso, acionadores, circuitos de comando e de potência, etc., reunidos de maneira solidária com vista de uma aplicação definida, notadamente para a transformação, o tratamento, o deslocamento e o acondicionamento de um material.

A partir desta definição, é importante compreender que, para fins de segurança ocupacional, as peças ou órgãos que compõem uma determinada máquina, também devem ser observados e tratados de maneira solidária. Ou seja, devemos sempre estabelecer uma visão integrada entre o trator, os implementos ou acessórios – de acordo com as funções operativas que agregam, seus mecanismos, os riscos associados e as formas de preveni-los, mitigá-los ou controlá-los.

Máquinas agrícolas são, portanto, aquelas que são projetadas, desenvolvidas e utilizadas para a obtenção de funcionalidades aplicadas ao segmento econômico do agronegócio. Cabe ressaltar que as máquinas podem ser estacionárias (ou fixas, sem pronta mobilidade para o seu uso) ou móveis (sob reboque ou autopropelidas).

Acidentes envolvendo tratores agrícolas são motivo de preocupação em todo o mundo, não apenas pelos altos custos dos veículos, mas também pelas repercussões e implicações para a continuidade das atividades produtivas. A indisponibilidade de uma máquina pode trazer sérias consequências para os objetivos produtivos. Da mesma forma, podemos nos referir ao afastamento de operadores dessas máquinas, bem como às restrições para a formação de novos operadores e à substituição, temporária ou em definitiva do acidentado.

Assumindo que tal equipamento é um veículo, é necessário observar fundamentos de segurança relacionados à sua operação, como, por exemplo, o contínuo uso de cinto de segurança (retrátil, com tensor de comprimento, meios de ancoragem e fixação adequados à estrutura), o qual deverá manter suas condições de uso a longo prazo (sendo resistente à abrasão, a ácidos leves, álcalis, aos efeitos da umidade, temperatura e radiação solar).

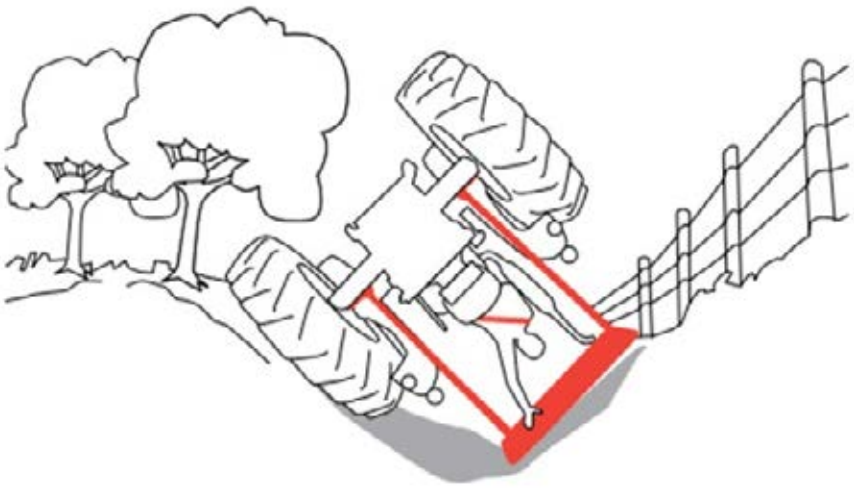


Figura 6. A importância do uso conjunto do cinto de segurança e a presença da EPC para a proteção do operador em caso de capotamento de um trator. (Fonte: OSHA Agricultural Safety Fact Sheet)

Dentre os tipos mais comuns de ocorrências indesejadas envolvendo máquinas agrícolas, temos:

- Tombamento e capotamento;
- Colisões com outros veículos e atropelamentos;
- Cortes e lesões por choques mecânicos junto a partes móveis e de transmissão de movimento;
- Contato com redes elétricas energizadas.

Para minimizar os possíveis danos ao condutor, este deve operar o veículo utilizando o cinto de segurança, conforme especificações anteriormente citadas, e sob a proteção de uma estrutura de proteção contra capotamento (EPC) – vide Figura 6. Esta estrutura funcionará como uma célula de sobrevivência em casos de tombamento ou capotamento.

As causas destes acidentes com tratores e outras máquinas agrícolas podem ser diversas. De um lado, podemos elencar a forma ou estilo de condução, como velocidade inadequada, mudanças bruscas de direção, circulação em vias impróprias e caronas irregulares. Também contribuem para esses acidentes as jornadas de trabalho, por vezes excessivas, e o uso de estimulantes. De outro, a falta de verificação prévia da topografia, da estabilidade do solo e das condições ambientais para o deslocamento, além do não cumprimento dos requisitos específicos para a condução do veículo nessas condições.

É possível prevenir a ocorrência de acidentes com tratores e outras máquinas agrícolas, especialmente por meio do preparo ou formação profissional dos operadores destes equipamentos, em associação a um adequado gerenciamento da vida útil desta maquinaria. Conscientização é a palavra-chave neste processo!

O preparo para lidar com a maquinaria, incluindo o reconhecimento dos aspectos relacionados aos riscos inerentes à operação do equipamento e às intervenções requeridas seu manuseio (parada, ajustes, entrada em marcha, operação plena e descarga de materiais, quando for o caso, bem como nas atividades de manutenção), é de fundamental importância para alcançarmos o que denominamos de "prevenção cognitiva". Ou seja, uma permanente consciência acerca das decisões e ações dos operadores que assegurarão o trato seguro com determinada máquina agrícola ao longo de sua vida útil.

Por outro lado, a adoção de práticas como a vistoria prévia e posterior à utilização da maquinaria, com a verificação de parâmetros necessários para a operação segura, bem como o cumprimento de procedimentos durante o deslocamento, ativo ou não, do equipamento, também contribui para a segurança ocupacional no trato com esses veículos.

O atendimento conjunto desses dois aspectos, sem prejuízo da adoção de outras medidas, poderá contribuir efetivamente com o aumento da segurança da operação veicular, de maneira ampla.

O domínio técnico sobre os componentes que integram os sistemas dos equipamentos agrícolas, suas funções e atributos operacionais, incluindo aspectos de segurança e de manutenção, é de fundamental importância para a correta operação desses equipamentos, com a confiabilidade e a disponibilidade desejadas, evitando, assim, improvisações, que, não raro, também costumam ser causa de acidentes. Este conhecimento será útil não apenas para a formação de operadores diretamente ligados aos equipamentos, mas para todos aqueles que estejam envolvidos na lida diária do empreendimento agrícola.

Para tanto, além dos manuais técnicos fornecidos pelos fabricantes, recomendamos a leitura do texto "Mecanização: operação de tratores agrícolas", que integra a Coleção SENAR, citada na seção de referências bibliográficas deste texto, no qual são apresentados os sistemas funcionais do equipamento, aspectos de operação segura e desempenho produtivo.

Outro aspecto importante na prevenção de acidentes é a utilização de dispositivos de proteção de partes móveis, como as tomadas de potência (TDP), e o reconhecimento da sinalização de riscos existentes em distintos pontos da maquinaria, bem como aqueles disponíveis no painel de controle veicular.

Sem dúvida, novos e promissores horizontes estão em curso para a agricultura mundial e, em especial, para a brasileira. A consolidação das tecnologias digitais integradas ao segmento do agronegócio permitirá avanços em diversos aspectos nos diferentes tratos com a lavoura, conduzindo estes negócios ao que se denomina Agricultura 5.0. Nesse contexto, destaca-se a Robótica Agrícola, cuja aplicação pode resultar na minimização, quiçá eliminação, dos acidentes com máquinas agrícolas, uma vez que sua operação junto

à lavoura poderá ser realizada com mínima presença humana.

Do exposto, podemos afirmar que a quase totalidade dos potenciais acidentes envolvendo máquinas agrícolas é previsível e, portanto, evitável. Para tanto, é necessário realizar um correto levantamento prévio de riscos relacionados a essa maquinaria e adotar medidas de prevenção e controle das condições de interação entre o equipamento, o ambiente e as pessoas envolvidas, direta ou indiretamente, com a sua operação, muitas das quais elencamos neste texto.

7. Incêndios em máquinas agrícolas: como surgem e como evitar?

Outro tipo de ocorrência com grande potencial danoso e, infelizmente, recorrente, são os incêndios em máquinas agrícolas, que podem ser originados de duas maneiras:

- De forma endógena, surgindo em seu interior, em decorrência das condições de sua operação e/ou manutenção, ou;
- De modo exógeno ao veículo, iniciando-se em seu exterior, como no caso de queimadas ou pela prática indevida do fumo no entorno das máquinas, o que pode atingi-las e se comportar com igual intensidade àqueles.

Os incêndios no interior das máquinas surgem por uma série de fatores, muitas vezes resultantes da inobservância de cuidados essenciais no trato com a maquinaria. A estas condições, sobre as quais trataremos adiante, somam-se o clima seco e os fortes ventos, tão comuns em diversas regiões do país durante a época das colheitas, o que, quando não agrava as ocorrências, potencializa o seu surgimento.

Desta forma, a melhor maneira de lidar com o risco de incêndios é evitar que eles ocorram. Em outras palavras, é colocar em prática o ditado popular: "É melhor prevenir do que remediar!" Para que um incêndio aconteça, é necessária a conjugação de um conjunto de fatores: material combustível, comburente e energia de ativação, que pode ser provida por uma fonte de calor, uma chama aberta ou pela reação em cadeia.

Durante a colheita, não é raro que todos estes fatores estejam presentes junto à maquinaria. Vale lembrar que as horas consecutivas de operação costumam gerar aquecimento em algumas partes do veículo, que possui inúmeras partes em movimento, sujeitas a atrito devido à lubrificação deficiente. Além disso, a presença de pós combustíveis, resíduos da lavoura, partes e fiação elétrica do veículo danificadas, bem como a longa rede de tubulações que conduzem óleo por diversas partes da máquina, são fatores que contribuem para o evento indesejado, o qual desejamos evitar!

No intuito de evitar a ocorrência do evento indesejado, especialmente aqueles originados nos sistemas elétrico, hidráulico e de combustão, é fundamental seguir rigorosamente todas as instruções de lubrificação e de manutenção, conforme as orientações do fabricante do equipamento. Além disso, deve-se dar atenção especial a qualquer vazamento de óleo ou combustível, bem como à frequência de atuação dos fusíveis, pois isso pode indicar falhas no sistema elétrico do veículo.

Nesta linha, é imperativo realizar, de imediato, a substituição da fiação, tubulações e demais componentes que possam contribuir para o surgimento ou propagação do fogo na máquina agrícola.

É importante ressaltar que os incêndios em máquinas agrícolas podem ter início em diversas situações, como após o encerramento de seu uso no campo ou durante pausas na operação regular. Eles podem surgir, por exemplo, quando as máquinas

são recolhidas aos galpões do empreendimento, podendo atingir não apenas o veículo em questão, mas toda a instalação, outras máquinas, estacionárias ou não, e os materiais armazenados no ambiente, ampliando os prejuízos decorrentes do fogo. Há relatos de incêndios causados pelo simples fato de estacionar o equipamento próximo à vegetação ressecada, que entrou em combustão devido ao calor elevado emanado pelo sistema de exaustão. Portanto, essa possibilidade deve ser evitada, verificando-se a adequação dos locais para a parada e estacionamento das máquinas, mesmo que por períodos curtos.

Por oportuno, é importante também estar atento aos fatores climáticos (chuvas, ventos, umidade etc.) e aos fenômenos a eles associados, antecipando como estes poderão afetar as condições de segurança na colheita que se aproxima. Ter essa previsão será igualmente importante para o planejamento de ações voltadas à prevenção de incêndios, como, por exemplo, a restrição de colheitas nos dias e horários mais quentes, especialmente em lavouras como milho, algodão e cana-de-açúcar, e que podem favorecer a ocorrência desse evento indesejado.

Sem incorrer em uma interpretação simplista dos fatores envolvidos, podemos afirmar que é possível prevenir a ocorrência de incêndios em máquinas agrícolas, especialmente por meio do preparo e formação profissional dos operadores desses equipamentos, em conjunto com um adequado gerenciamento da vida útil da maquinaria. Reforçamos que a conscientização é a palavra-chave nesse processo!

Para tanto, a limpeza diária das áreas sensíveis, como os elevadores e transportadores de grãos, eixos sem-fim, correias, polias e os rolamentos do equipamento, é fundamental. Galhos, folhas, palha e demais resíduos da colheita devem ser removidos de toda a máquina, seja a seco ou com o uso de ar comprimido (para essas operações, o uso de equipamentos de proteção individual é indispensável!). Atenção igual deve ser dada aos locais com sujeiras resultantes de graxas, óleos e combustíveis, até a sua completa remoção.

Não devemos esquecer que cabem cuidados específicos junto aos sistemas motor e de escapamento. Um motor limpo funcionará mais frio e com mais eficiência, o que contribuirá para a redução das chances do surgimento de um incêndio em seu compartimento. Devemos também realizar inspeções quanto a vazamentos no coletor, silenciador e turbocompressor.

A prevenção de incêndios em máquinas agrícolas começa a partir do conhecimento dos componentes que integram os sistemas dos equipamentos agrícolas, suas funções e atributos operacionais, incluindo aspectos de segurança e de manutenção. Isso é de fundamental importância para a correta operação, com a confiabilidade e a disponibilidade desejadas, evitando, assim, improvisações, o que, não raro, também são causa de acidentes.

Além dos cuidados listados no item anterior, podemos destacar o trato com combustíveis, as baterias e o sistema elétrico como um todo, cujos componentes podem resultar ignições. Assim sendo, essas operações devem ser executadas segundo procedimentos padronizados, dentre os quais citamos:

- Serem conduzidas com o equipamento desligado, de preferência após um período de resfriamento (uns 15 minutos) e sempre com a disponibilidade próxima de um extintor de pó químico, para o pronto combate a princípios de incêndios;
- Qualquer derramamento de combustível ou de solução de bateria deve ser imediatamente limpo, para evitar a emissão de vapores que podem resultar em queima,
- Por fim, quando da identificação de quaisquer danos à fiação (descascados, rompidos etc.), aos conectores ou a outros elementos que possam gerar oportunidades para curto-circuitos, estes elementos devem ser imediatamente reparados.

Por outro lado, os operadores devem estar atentos a sinais como ruídos incomuns, que podem indicar falhas na lubrificação, as quais podem resultar, por exemplo, no travamento de rolamentos ou outras condições propícias para o sobreaquecimento de partes e, desta feita, para o iminente surgimento de risco de incêndios.

Vejamos, a seguir, uma lista de verificação que pode ser realizada visando combater o risco de incêndio em máquinas agrícolas:

1. Na manutenção diária:
   - Inspeção Visual;

- Verifique vazamentos de óleo e combustível;
- Cheque a integridade das fiações elétricas;
- Inspecione os filtros de ar e combustível.

2. Limpeza
   - Remova resíduos de palha, folhas e poeira acumulados nas partes sensíveis da máquina;
   - Limpe áreas com acúmulo de graxa e óleo.
3. Lubrificação
   - Lubrifique partes móveis de acordo com as especificações do fabricante.
4. Sistema de Exaustão
   - Verifique possíveis obstruções e vazamentos no sistema de escapamento;
   - Assegure-se de que o motor e o sistema de escapamento estejam livres de resíduos inflamáveis.

Na manutenção semanal:

1. Componentes Mecânicos
   - Inspecione e aperte parafusos e conexões;
   - Verifique o estado das correias e substitua se necessário.
2. Sistema Hidráulico
   - Cheque os níveis de fluido hidráulico e procure por vazamentos.
3. Sistema Elétrico
   - Teste todos os sistemas elétricos e substitua fusíveis ou cabos danificados.
4. Sistema de Combustível
   - Inspecione todas as conexões de combustível e substitua mangueiras desgastadas.

9. Conclusões

Riscos ocupacionais são inerentes a todos os sistemas produtivos. E, como tal, é possível identificá-los, avaliá-los e atuar em sua minimização e controle. A conscientização de que as perdas associadas a um evento indesejado, como um acidente de trabalho, que pode resultar em perdas humanas, ambientais e materiais, pode ultrapassar os custos da prevenção e da proteção da integridade dos trabalhadores, é de fundamental importância para a valorização dos profissionais que atuam nesse setor. A preservação da integridade ocupacional de seu quadro funcional deve ser requisito inegociável para as empresas, pois representa importante aspecto de sua responsabilidade social.

De outro lado, os custos relacionados às potenciais consequências de um acidente de trabalho podem atingir milhares de reais, seja por perdas diretas ou indiretas. Custos relacionados ao suporte às vítimas (socorro e tratamento) e aos familiares, as despesas com ações acidentárias (indenizações) e regressivas junto ao Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), com a seleção, treinamento e substituição de pessoal, com a interrupção das atividades produtivas e eventual perda da produção em curso, podem resultar em sérios prejuízos ao empreendimento.

Neste sentido, a cooperação intrassetorial com a troca de experiências para o aprendizado recíproco é medida de aperfeiçoamento de todo o conjunto de Sistemas de Saúde e Segurança Ocupacional das Empresas, sobretudo em razão do caráter coletivo do Seguro de Acidentes do Trabalho, suportado por todas as empresas que compõem um mesmo segmento produtivo. Ou seja, em alguma medida, os custos de um acidente de trabalho são suportados por todos que integram determinado segmento econômico.

Resta, por fim, esperar que o conteúdo deste capítulo, em sua simplicidade, contribua para a realização dos objetivos destacados. Reiteramos: contem conosco em sua caminhada!

Referências bibliográficas

ALI, S.A. **Dermatoses ocupacionais**. São Paulo: Fundacentro, 1994.

BARBOSA FILHO, A.N. **Intoxicação por defensivos agrícolas: compreender para prevenir**. Blog Agroadvance. 2024a. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-intoxicacao-por-defensivos-agrotoxicos/

_____. **Acidentes com máquinas agrícolas – Por que ocorrem e como evitar?** Blog Agroadvance. 2024b. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-acidentes-com-tratores-maquinas-agricolas/

_____. **Risco de incêndio em máquinas agrícolas – *Dicas para uma colheita segura***. Blog Agroadvance. 2024c. Disponível em: https://agroadvance.com.br/ blog-risco-de-incendio-em-maquinas-agricolas/

_____. Diretrizes para a formação do profissional de Saúde e Segurança Ocupacional nas atividades da agropecuária e da agroindústria. In FERNANDES, A.M. et al. (org.) **Coletânea Universitária: Ciências Agrárias e Meio Ambiente**. V1. Curitiba: FaCiência, 2023. pp.145 – 160.

_____. Trabalho sob exposição solar. *In* **Saúde e Segurança Ocupacional em Arqueologia**. Olinda: Babbeco, 2019. pp. 53-63.

_____. **Segurança do Trabalho na Agropecuária e na Agroindústria**. São Paulo: Atlas, 2017.

BRASIL- Portaria SEPRT n. 6.734, de 10 de março de 2020. Aprova a **Norma Regulamentadora n.21**- Trabalhos a céu aberto. Diário da União: Seção 1, Brasília, DF, n.49, p.115, 12 mar. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora (NR) n. 31** – Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura.

_____. **Norma Regulamentadora (NR) n. 12** – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.

DIAS, A.S.; SANTOS, C. O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (org.). **Estudos em Ciências Florestais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2023. pp. 73-100.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO (IMAmt). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 4. ed. Cuiabá: IMAmt, 2020.

_____. **Manual de beneficiamento do algodão**. 2. ed. Cuiabá: IMAmt, 2025.

JUCHEM, P.P. et al. Riscos à Saúde da Radiação Ultravioleta. **Revista da Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica**. Vol. 13 nº 2 - Abr/Mai/Jun de 1998, pp. 47-60.

OSHA. **Agricultural Safety Fact Sheet: Protecting Agricultural Workers from Tractor Hazards**. Disponível em: https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3835.pdf. Acesso em: 17/05/2025.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Mecanização: operação de tratores agrícolas**. Brasília: SENAR, 2017. [Coleção SENAR, 177].

Eliana Freire Gaspar de Carvalho Dores
UFMT

Michelle Fernanda Brugnera
UFMT

Antonio Brandt Vecchiato
UFMT

CAPÍTULO 7.3

Como limitar o impacto do cultivo do algodão sobre o meio ambiente

Capítulo publicado originalmente na edição de 2012/13 do Manual de Boas Práticas, por Dores e Vecchiato. Atualizado pelos mesmos autores nas edições de 2014/15 e 2019/20, em 2025 foi feito uma nova atualização por Dores, Brugnera e Vecchiato.

Os impactos do cultivo do algodão são decorrentes de mudanças no meio físico e da utilização de insumos químicos, que podem resultar em problemas de contaminação ambiental, em particular da água, do solo e de sedimento, e no assoreamento de cursos d'água superficiais, podendo levar à sua redução ou até eliminação.

As mudanças no meio físico decorrem da retirada da vegetação natural e do manuseio do solo, que podem causar erosão, perda de fertilidade e mudanças do movimento da água no solo, tendo como efeito a redução na disponibilidade da água superficial e subsuperficial. Assim, o manejo adequado do solo é fundamental para minimizar esse tipo de impacto.

A contaminação do ambiente aquático por pesticidas usados na agricultura depende de vários processos, conforme ilustrado na Figura 1, dentro os quais podem ser destacados os seguintes:

- Transporte dessas substâncias pelo escoamento superficial, tanto associados aos sedimentos como solubilizadas na água de escoamento;
- Movimentação vertical das moléculas ao longo do perfil do solo (lixiviação) até atingir as águas subsuperficiais;
- Deriva durante a pulverização dos pesticidas;
- Deposição de substâncias presentes na atmosfera pela água de chuva e precipitação seca de material particulado carreado pelo vento.

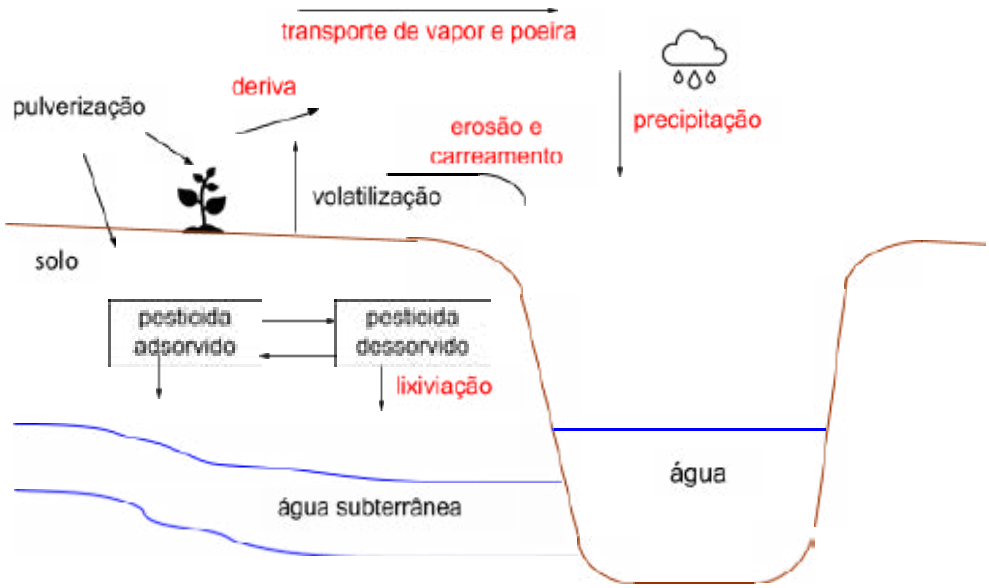


Figura 1. Principais processos de movimentação de pesticidas no ambiente

A magnitude desses processos depende dos seguintes fatores:

- Características do ambiente (meio físico e clima) onde o produto é aplicado;
- Sistema de cultivo empregado;
- Frequência, dosagem, escolha de moléculas, tecnologia da aplicação dos pesticidas e condições meteorológicas no momento da aplicação.

Dessa forma, são apresentadas nas seções a seguir algumas recomendações para reduzir o potencial de contaminação, organizadas separadamente por compartimento ambiental, incluindo alternativas em que se discute como interferir nos fatores que afetam os processos de distribuição das moléculas no ambiente.

1. Redução do risco de contaminação de águas superficiais

Para diminuir o transporte de substâncias pelas águas das enxurradas (escoamento superficial, conforme demonstrado na Figura 2), é necessária a adoção de práticas adequadas de conservação de solo voltadas à prevenção de processos erosivos, tais como:

- Implantar sistemas de terraceamento, semeadura em nível e manutenção de faixa de cultura de contenção e/ou de mata ciliar;
- Não cultivar em solos muito erodíveis e/ou mal drenados, especialmente quando estes ocorrem nas porções mais inferiores das vertentes. Dentre os solos muito erodíveis que ocorrem com frequência nas áreas de cultivo de algodão em Mato Grosso, destacam-se os solos arenosos como o neossolo quartzarênico.

Com relação aos solos mal drenados, os plintossolos, que também ocorrem frequentemente em Mato Grosso nas porções inferiores das vertentes, estes apresentam, em subsuperfície, camada pouco permeável que impede a infiltração das águas de chuva, favorecendo o escoamento superficial concentrado e aumentando sua capacidade erosiva. Além disso, durante o período chuvoso, ocorre a formação de lençol freático suspenso, que se dirige aos fundos de vales (Figura 2), onde ocorrem nascentes e cursos d'água.

- Os solos mal drenados ocorrem também em áreas de campos úmidos, onde se tem observado a prática de drenagem do solo para o cultivo do algodão. Nessas áreas, mesmo drenadas, o lençol freático ocorre a uma pequena profundidade, e o próprio sistema de drenagem favorece o transporte das moléculas aplicadas ao solo para os cursos d'água e áreas de nascente.

Com o desencadeamento de processos erosivos e ausência de cobertura vegetal na faixa marginal dos cursos d'água, fatalmente os sedimentos acumulam-se nos fundos de vale e calhas dos cursos d'água, promovendo o assoreamento.

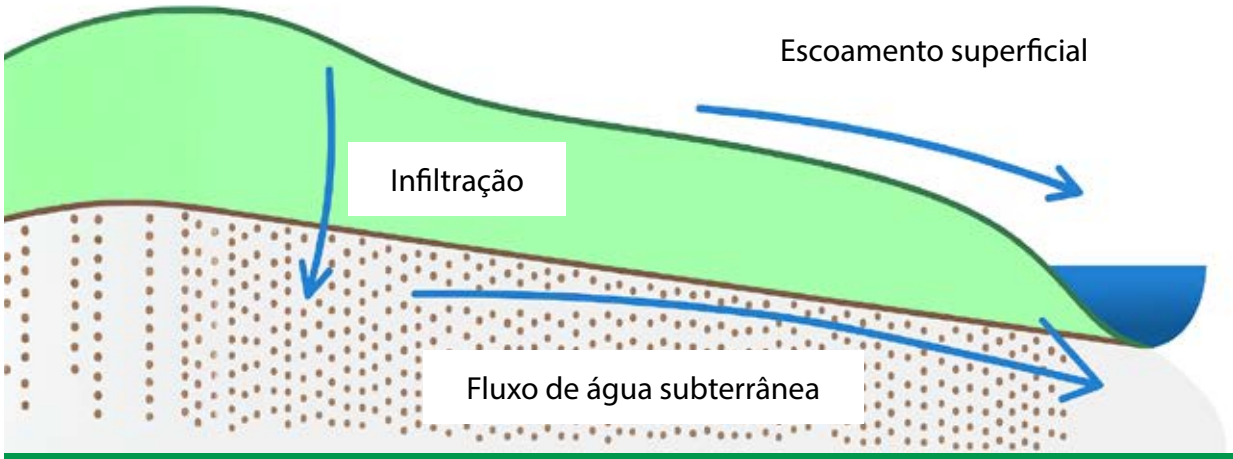


Figura 2. Movimentação da água no solo

- Manter especial atenção na preservação da vegetação em áreas de cabeceira de drenagem, uma vez que se trata de local com concentração de fluxos d'água superficiais e subterrâneos e de lençol freático aflorante a subaflorante. São, portanto, locais extremamente suscetíveis à erosão e contaminação. A Figura 3 ilustra uma situação de extremo risco de contaminação.
- Adotar um sistema de manejo que permita rotacionar as culturas, pois, a partir desta rotação, aumenta-se o estoque de matéria orgânica no ambiente, de modo a reter com maior eficiência as moléculas dos pesticidas;
- Adotar práticas que reduzam a compactação do solo, pois este fenômeno reduz a infiltração da água, aumentando o escoamento superficial;
- Dar preferência a sistemas de cultivo que revolvam menos o solo (semeadura direta, cultivo mínimo etc.), nos quais o carreamento superficial é reduzido e ocorre o acúmulo de matéria orgânica no solo;
- Obedecer às leis ambientais vigentes com relação às áreas de preservação permanente (APP) ao longo dos cursos d'água, levando em consideração que, quanto mais larga for a vegetação ciliar, maior a proteção do manancial hídrico no que diz respeito tanto à contaminação como ao assoreamento. Destaca-se, ainda, que a preservação das APPs contribui também para a preservação dos recursos hídricos em termos de quantidade de água.

Assim, recomenda-se que os produtores avaliem a possibilidade de utilizar faixas mais largas do que o previsto na legislação em áreas de nascente e no entorno de cursos d'água quando estas se mostrem mais vulneráveis, considerando os tipos de solo e a declividade da vertente.

Nesse contexto, um exemplo de ação proativa por parte de alguns produtores é a recuperação da área degradada representada na Figura 4, cuja evolução pode ser observada na Figura 5.

Figura 3. Exemplo de processo erosivo intensificado em final de vertente (Fonte: Eliana Dores)

Figura 4. Área de nascente degradada (Fonte: Eliana Dores)

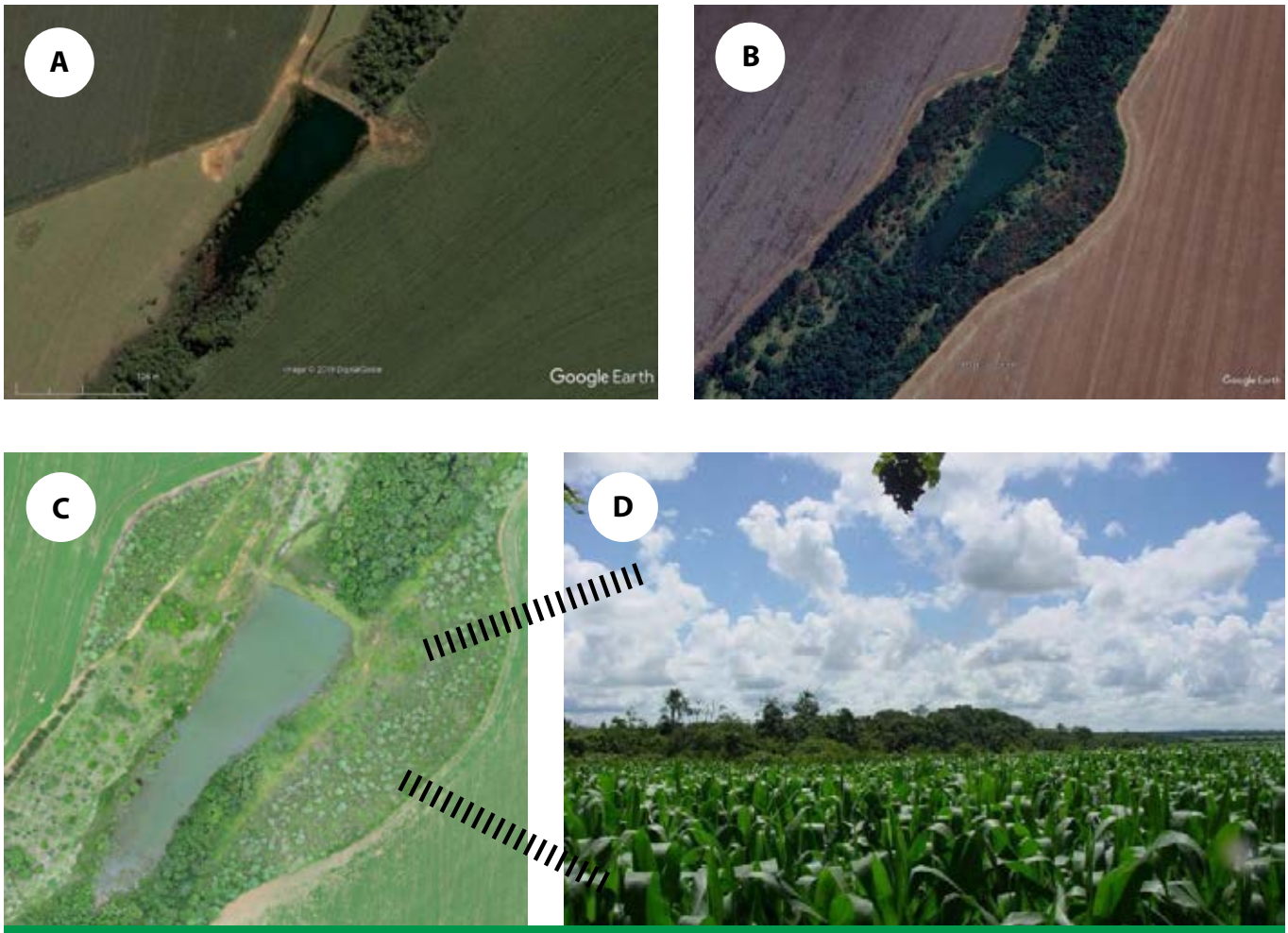


Figura 5. (A) Imagem de 2005 da área recuperada extraída do Google Earth; (B) imagem de 2024 da área recuperada extraída do Google Earth; (C) fotografia aérea da área de preservação permanente em recuperação tirada em 2018 (Fonte: Laboratório de Geoprocessamento - ICAT/CUR/UFMT, 2018); (D) fotografia da vegetação em processo de recuperação tirada em 2018 (linhas pontilhadas indicam posição da qual foi tirada a fotografia)

2. Redução da contaminação de águas subterrâneas

A principal via de contaminação de águas subterrâneas é a lixiviação, ou seja, a movimentação vertical dos pesticidas no perfil do solo com a água percolada. A Figura 6 ilustra os diversos caminhos que uma molécula percorre ao penetrar no solo.

Sendo assim, regiões de ocorrência de solos permeáveis e com baixa capacidade de retenção de água apresentam potencial elevado de contaminação de águas subterrâneas. Por outro lado, o horizonte superficial do solo, que apresenta maior teor de matéria orgânica, é responsável pela retenção das moléculas dos contaminantes, onde estas podem ser degradadas por processos químicos, fotoquímicos e biológicos. Quanto mais tempo essas moléculas permanecerem na camada superficial, maior a probabilidade de se degradarem. Nos horizontes mais profundos do solo, esses processos são menos intensos e a persistência dessas substâncias é mais elevada. Em vista disso, as seguintes recomendações podem reduzir o risco de contaminação de águas subterrâneas:

- Adotar sistemas de cultivo que aumentem o estoque de matéria orgânica no solo, como sistemas de rotação e sucessão de culturas que promovam esse acúmulo, plantio direto ou cultivo mínimo. A matéria orgânica é a principal fração do solo que contribui para a retenção das moléculas orgânicas, reduzindo o transporte para águas subterrâneas;
- Evitar cultivar em áreas de neossolo quartzarênico, que apresentam alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água e de adsorção, favorecendo a rápida lixiviação das substâncias aplicadas no solo e a contaminação das águas subterrâneas.

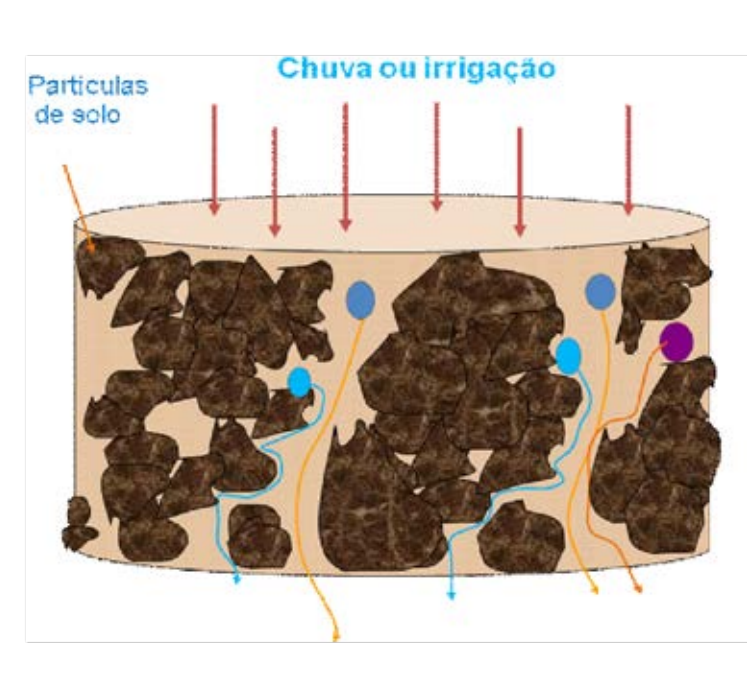


Figura 6. Esquema do processo de lixiviação: diferentes moléculas de pesticidas se movimentando pelos poros do solo pela ação da água

Figura 7. Pulverização de pesticidas em lavoura de algodão (Fonte: Pierre Silvie)

3. Contaminação atmosférica

A presença de resíduos de pesticidas na atmosfera deve-se principalmente a dois processos: (i) deriva do produto durante a aplicação, com sua deposição em locais além da área-alvo, e (ii) volatilização dos produtos a partir da camada superficial do solo ou da superfície das plantas, permitindo que estas substâncias sejam transportadas e precipitem juntamente com a água da chuva em locais distantes da aplicação.

A volatilização é um processo que se intensifica a temperaturas elevadas e com ausência de chuva, sendo seu controle difícil ou mesmo quase impossível. Produtos aplicados e incorporados ao

solo são menos suscetíveis à volatilização, enquanto aqueles aplicados por pulverização aérea ou por trator, principalmente na superfície da planta, têm maior potencial de serem volatilizados.

As tecnologias de aplicação de pesticidas têm evoluído rapidamente, tornando-as mais eficientes e seguras. Na cultura do algodão, são realizadas aplicações de pesticidas em diferentes estádios da planta. Os seguintes cuidados devem ser tomados durante a aplicação para reduzir a deriva:

- Observar a boa calibração dos equipamentos de pulverização, seguindo-se as especificações adequadas a cada ponta de pulverização utilizada durante o trabalho;
- Observar as condições climáticas no momento da aplicação, de modo que este não seja realizada a temperaturas acima de 30°C, umidade relativa abaixo de 55% e ventos acima de 10-15 km/h, condições estas que aumentam a possibilidade de deriva da calda aplicada, principalmente se esta for formada por gotas finas;
- Considerar, na escolha da ponta de pulverização, a necessidade de cobertura e penetração do produto na cultura, observando-se a ação do produto aplicado e o posicionamento do alvo. Uma vez que o produto que efetivamente controla a praga é aquele que atinge o alvo, quanto maior for a quantidade aplicada a chegar ao alvo, mais eficaz e econômico será o tratamento fitossanitário e também menor será o risco de impacto ambiental causado pela quantidade de produto que não atingiu seu objetivo;
- Considerar o uso de novas técnicas de aplicação, como a utilização de drones, associados ou não à agricultura de precisão, para otimizar o processo, reduzir a deriva e reduzir a quantidade de produto aplicado, aumentando a eficiência da operação (Santana Júnior *et al.*, 2025).

4. Escolha dos pesticidas visando a redução da contaminação ambiental

Obviamente, quanto mais frequentes e em maiores dosagens forem as aplicações dos pesticidas, maior será o risco de contaminação ambiental. Desse modo, visando a redução do risco, sugere-se:

- Adotar o manejo integrado de pragas e doenças de modo a minimizar a necessidade de aplicações de pesticidas;
- Plantar cultivares de algodão mais resistentes a pragas e, portanto, menos exigentes a pesticidas; nesse contexto, inserem-se, dentre outras, alternativas, as variedades transgênicas (Bt) resistentes a insetos. A substituição gradual de cultivares tradicionalmente usadas pelas mais novas, desde que mantidos os níveis de produtividade e de qualidade de fibra, deveria ser estimulada, no sentido de garantir a qualidade ambiental e a sustentabilidade das atividades agrícolas algodoeiras.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a relação de produtos comerciais e seus ingredientes ativos utilizados nas culturas do algodão, soja e milho [1] no Estado de Mato Grosso, com indicação do respectivo potencial de atingir águas superficiais e águas subterrâneas, além de sua classificação toxicológica e de periculosidade ambiental, segundo consta na bula dos produtos comerciais. O potencial de movimentação em direção a águas superficiais foi determinado considerando-se os critérios estabelecidos por Goss (1992), que levam em conta persistência (meia-vida no solo), adsorção às partículas do solo e solubilidade em água. O potencial de atingir águas subterrâneas foi avaliado utilizando-se o índice de GUS (Groundwater Ubiquity Score) (Gustafson, 1989).

Essa classificação desconsidera as características ambientais e do meio físico e refere-se somente ao potencial de transporte de cada molécula no ambiente determinado em função das propriedades das moléculas. Assim, essa informação deve ser utilizada apenas para auxiliar na escolha dos produtos que podem apresentar menor risco ao ambiente aquático. A consulta dessa classificação para auxiliar na escolha das moléculas associada às medidas anteriormente mencionadas reduz significativamente o potencial de contaminação.

[1] Produtos usados nas culturas de soja e milho foram incluídos devido ao fato de o cultivo dessas plantas ocorrer em plantio anterior nas mesmas áreas onde é cultivado o algodão.

Tabela 1. Ingredientes ativos presentes nos pesticidas comerciais utilizados nas culturas de algodão, soja e milho e seu potencial de transporte para águas superficiais e subterrâneas

Ingrediente ativo	Potencial de transporte no ambiente			Produtos comerciais
	Para água subterrânea	Para água superficial		
		Adsorvido às partículas do solo	Dissolvido em água	
2,4-D	Baixo	Baixo	Alto	2,4-D
Abamectina	Indefinido	Baixo	Baixo	Vertimec
Acefato	Baixo	Baixo	Médio	Orthene 750BR
Acetamiprido	Baixo	Baixo	Médio	Mospilan
Alfa-cipermetrina	Baixo	Médio	Baixo	Talstar 100 SC
Atrazina	Alto	Médio	Alto	Atranex
Azoxistrobina	Médio	Médio	Alto	Priori, Priori Top
Bifentrina	Baixo	Alto	Médio	Talisman, Galil SC
Buprofezina	Baixo	Médio	Médio	Applaud 250
Beta-ciflutrina	Baixo	Médio	Baixo	Connect
Carbendazim	Médio	Baixo	Médio	Derosal plus
Carbossulfano	Baixo	Médio	Baixo	Marshal 400, Marshal Star
Carboxina	Baixo	Baixo	Alto	Vitavax Thiram 250SC
Carfentrazona-etílica	Baixo	Baixo	Médio	Aurora 400 EC
Cialotrina gama	Baixo	Médio	Baixo	Nexide
Ciclanilida	Médio	Médio	Alto	Finish
Ciflutrina beta	Baixo	Médio	Baixo	Connect/Bulldock 125 sc
Cipermetrina	Baixo	Alto	Baixo	Imunit
Ciproconazol	Alto	Médio	Alto	Priori
Clomazona	Alto	Médio	Alto	Gamit Star
Clorantraniliprole	Alto	Médio	Médio	Premio
Cloreto de mepiquat	Baixo	Baixo	Médio	Pix HC
Clorimurom etílico	Alto	Baixo	Alto	Classic
Clorfenapir	Baixo	Baixo	Baixo	Pirate
Clormequat	Alto	Baixo	Médio	Tuval
Clorpirifós	Baixo	Médio	Alto	Pyrinex
Diafentiurom	Baixo	Baixo	Baixo	Polo 500 SC
Difenoconazol	Baixo	Alto	Alto	Score
Diurom	Médio	Médio	Alto	Gramocil, Diuron 500SC
Epoxiconaxol	Médio	Alto	Alto	Ativum, Opera
Enxofre	Baixo	Médio	Baixo	Kumulus
Esfenvalerato	Baixo	Alto	Baixo	Sumidan 25 EC
Espinosade	Baixo	Médio	Médio	Tracer
Etefom	Baixo	Médio	Médio	Finish
Fipronil	Médio	Médio	Médio	Regente 800WG
Flubendiamida	Alto	Alto	Médio	Belt

Continua →

Tabela 1. Continuação

Ingrediente ativo	Potencial de transporte no ambiente			Produtos comerciais
	Para água subterrânea	Para água superficial		
		Adsorvido às partículas do solo	Dissolvido em água	
Flumicloraque-pentílico	Médio	Baixo	Baixo	Radiant
Flumioxazina	Baixo	Baixo	Médio	Flumyzin 500
Fluxapiroxade	Médio	Médio	Alto	Ativum/Orkestra SC
Fomesafem	Alto	Médio	Alto	Flex
Glifosato	Baixo	Alto	Alto	Glifosato 720 WG
Haloxifope-p-metílico	Baixo	Baixo	Baixo	Verdict
Hidróxido de fentina	Baixo	Alto	Alto	Mertin 400
Imazetapir	Alto	Médio	Alto	Pivot
Imidacloprido	Alto	Médio	Alto	Cropstar, Connect
Indoxacarbe	Baixo	Médio	Baixo	Avatar
Lactofen	Baixo	Médio	Baixo	Cobra
Lambda-cialotrina	Baixo	Médio	Baixo	Karate Zeon 250SC
Malationa	Baixo	Baixo	Baixo	Malation 1000 EC
Metolacloro	Alto	Médio	Alto	Dual Gold
Metomil	Alto	Baixo	Médio	Lannate
Metoxifenozida	Alto	Médio	Alto	Inteprid 240 SC
MSMA	Indefinido	Indefinido	Indefinido	Volcane
Novalurom	Baixo	Alto	Médio	Rimon
Paraquat	Baixo	Alto	Alto	Gramocil
Picoxistrobina	Baixo	Baixo	Médio	Aproach Prima/Horos
Piraclostrobina	Baixo	Baixo	Médio	Ativum/Orkestra SC/ Opera
Piriproxifem	Baixo	Médio	Baixo	Tiger
Piritiobaque-sódico	Indefinido	Médio	Alto	Staple 280Sc
Procimidona	Alto	Médio	Alto	Sumilex
Protioconazol	Baixo	Baixo	Baixo	Fox
Sulfentrazona	Alto	Médio	Alto	Boral
Tebuconazol	Médio	Médio	Alto	Imunit/Nomolt 150
Teflubenzurom	Baixo	Médio	Baixo	Nomolt 150, Imunit
Tepraloxidim	Médio	Médio	Alto	Aramo
Tetraconazol	Médio	Alto	Alto	Emerald/Eminent
Tiametoxam	Alto	Baixo	Alto	Cruizer 350, Actara 250WG
Tidiazurom	Médio	Médio	Alto	Dropp Ultra
Tiodicarbe	Baixo	Baixo	Alto	Cropstar
Tiram	Baixo	Médio	Médio	Vitavax Thiram 250SC
Trifloxistrobina	Baixo	Médio	Baixo	Fox
Trifloxissulfurom-sódico	Alto	Médio	Alto	Envoke
Trifluralina	Baixo	Médio	Baixo	Trifluralina Nortox
Zeta-cipermetrina	Baixo	Médio	Baixo	Fury 400 EC

Tabela 2. Classe toxicológica e periculosidade ambiental dos produtos comerciais utilizados no controle fitossanitário das culturas de algodão, soja e milho

Nome comercial	Classe toxicológica	Periculosidade ambiental
Avatar	I (extremamente tóxico)	I (altamente perigoso)
Ativum	I	II (muito perigoso)
Cobra	I	II
Dual Gold	I	II
Finish	I	II
Flex	I	II
Fox	I	II
Horos	I	II
Lannate	I	II
Malation 1000 EC	I	II
Marshal Star	I	II
Mertin 400	I	II
Pyrinex	I	II
Radiant	I	II
Score	I	II
Sumidan 25EC	I	II
Tiger	I	II
Verdict	I	III
Vitavax Thiram 200 SC	I	II
2-4D	I	III (perigoso)
Aramo	I	III
Aurora 400 EC	II (muito tóxico)	II
Boral	II	II
Bulldock 125 sc	II	II
Connect	II	II
Cropstar	II	II
Fury 400 EC	II	II
Gramocil	II	II
Marshal 400	II	II
Opera	II	II
Regent 800 WG	II	II
Sumilex	II	II
trifluralina Nortox	II	II
Volcane	II	III
Derosal Plus	II	III
Eminent	II	III
Karate Zeon 250 CS	III (medianamente tóxico)	I
Approch Prima	III	II
Gamit Star	III	II
Imunit	III	II
Mospilan	III	II
Nexide	III	II
Orkestra SC	III	II

Continua →

Tabela 2. Continuação

Nome comercial	Classe toxicológica	Periculosidade ambiental
Pirate	III	II
Polo 500 SC	III	II
Premio	III	II
Priori top	III	II
Staple 280 SC	III	II
Talstar 100 SC	III	II
Vertimec	III	II
Actara 250 WG	III	III
Applaud 250	III	III
Atranex	III	III
Belt	III	III
Classic	III	III
Cruiser 350	III	III
Emerald	III	III
Envoke	III	III
Flumyzin 500	III	III
Glifosato	III	III
Glifosato 720 WG	III	III
Permit	III	III
Pix Hc	III	III
Priori	III	III
Diuron 500 sc	IV (pouco tóxico)	II
Dropp ultra	IV	II
Nomolt 150	IV	II
Rimon	IV	II
Iharol	IV	III
Intrepid 240 SC	IV	III
Nimbus	IV	III
Orthene 750 BR	IV	III
Pivot	IV	III
Tracer	IV	III
Tuval	IV	III
Iharaguen-S	IV	IV (pouco perigoso)
Kumulus	IV	IV

É importante considerar que mesmo os produtos classificados como pouco tóxicos ou pouco perigosos apresentam risco tanto à saúde humana como ao meio ambiente e devem ser tratados como substâncias tóxicas. De qualquer forma, é sempre preferível utilizar produtos que representem menos risco.

Outro aspecto a considerar é que o comportamento ambiental de cada molécula depende das características não somente da molécula, mas também do ambiente, do clima e da forma de aplicação. Assim, ambientes mais vulneráveis podem sofrer contaminação mesmo por moléculas menos móveis, enquanto o contrário também é verdadeiro. Desse modo, o produtor deve avaliar com cautela as classificações informadas levando em conta as características do meio físico no qual sua cultura se desenvolve.

As tabelas trazem, portanto, informações que podem ser utilizadas pelo produtor para orientar a escolha dos produtos comerciais que potencialmente causem menor impacto à saúde e ao ambiente.

Alguns pontos são enfatizados a seguir:

- Evitar o uso dos ingredientes ativos com maior potencial de contaminação de águas subterrâneas, principalmente em condições de solo e de manejo que sejam potencialmente mais vulneráveis à contaminação das águas;
- Moléculas que apresentam maior potencial de contaminação de águas subterrâneas devem ser usadas com cuidado, evitando a aplicação em regiões onde o aquífero freático seja mais raso e em locais de solos mais arenosos (Perez-Lucas *et al.*, 2019; Indoval & Romero, 2024)
- Piretroides adsorvem-se intensamente a particulados e têm sido detectados em sedimento de fundo de rio; portanto, o uso de medidas de contenção de erosão contribui para a redução da contaminação de águas superficiais (Lorenz *et al.*, 2025)
- A vegetação ciliar (áreas de APP localizadas no entorno de rios e córregos) é extremamente importante para minimizar o transporte superficial para os cursos d'água, reduzindo a poluição não pontual (ou poluição difusa) a partir de áreas agrícolas, com destaque para os pesticidas que têm elevado potencial de transporte associados ao particulado ou dissolvidos em água; assim, é importante não os utilizar em áreas onde a vegetação ciliar tenha sido removida ou não tenha a largura mínima exigida pela legislação (Harris & Forster, 2001; Wu *et al.*, 2023)
- A manutenção de áreas de APP próximas a açudes ou represas é particularmente importante, pois nesses ambientes a dinâmica da água é mais lenta, causando deposição de material particulado eventualmente contaminado no sedimento de fundo e uma menor dispersão dos pesticidas dissolvidos em água, podendo atingir concentrações que causem impactos para a biota aquática; em estudo realizado na Alemanha, Lorenz *et al.* (2025) verificaram que, em pequenos corpos d'água lênticos, as concentrações de pesticidas são mais elevadas do que aquelas detectadas em rios e córregos em média no país, o que demonstra importância de se proteger esses cursos d'água.

Com relação à volatilidade, os seguintes ingredientes ativos apresentam maior potencial de transporte por via atmosférica: etefom, flumioxazina, clomazona, trifluralina, metolacloro, tiram, tiodicarbe, clorpirifós, metomil e acefato. Por outro lado, são considerados não voláteis os pesticidas glifosato, 2,4-D, paraquat, tepraloxidim, carfentrazona-etílica, lactofen, carboxina, hidróxido de fentina, ciproconazol, flubendiamida, clorfenapir, metoxifenozida, indoxacarbe, novalurom, carbossulfano, diafentiurom, piriproxifem, fipronil, enxofre e flumicloraque-pentílico. Os demais são classificados como de volatilidade intermediária. Essa classificação considera a volatilização a partir da folha da planta; no solo, o comportamento pode ser diferente, uma vez que pesticidas que se ligam fortemente às partículas do solo tendem a volatilizar-se com mais dificuldade.

Moléculas mais voláteis podem ser transportadas pela ação do vento e

precipitar-se em áreas distantes do local de aplicação, causando prováveis efeitos indesejáveis em áreas vizinhas (Khoury *et al.* 2025; Zaller *et al.*, 2022).

Boonopara *et al.* (2023) sugerem que, para minimizar os riscos associados com volatilização e deriva, é importante o uso apropriado de técnicas de aplicação. A aplicação sob condições climáticas favoráveis, tais como baixa velocidade do vento e temperaturas moderadas, pode limitar a dispersão dos pesticidas. Além, disso, o uso de zonas tampão ao redor de áreas populadas também ajuda a reduzir a deriva de pesticidas, protegendo populações que moram próximos a áreas agrícolas.

Não menos importante é o programa de recolhimento de embalagens vazias para a redução da contaminação ambiental por pesticidas. Mato Grosso tem se destacado como um dos estados onde tem sido recolhida a maior porcentagem das embalagens usadas. A adesão ao programa é essencial para evitar acidentes e contaminação por vazamentos de restos, além de retirar da propriedade embalagens não degradáveis. Produtores de qualquer porte não devem reutilizar embalagens de pesticidas em outras atividades, devendo procurar locais que façam o recolhimento dos recipientes para o descarte seguro.

Com a implementação dessas recomendações o produtor de algodão do Estado de Mato Grosso poderá produzir uma fibra de algodão cada vez mais sustentável ambientalmente.

Referências Bibliográficas

BOONUPARA, T.; UDOMKUN, P.; KHAN, E.; KAJITVICHYANUKUL, P. Airborne Pesticides from Agricultural Practices: A Critical Review of Pathways, Influencing Factors, and Human Health Implications. **Toxics**, v. 13, n. 11(10), p. 858, 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Document on Risk Assessment**. Technical Guidance Document on Risk Assessment Part II. European Commission Joint Research Centre, European Union: EC, 2003.

GOSS, D.W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technology**, v. 6, n. 3, p.701-706, 1992.

GUSTAFSON, D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, p. 339-357, 1989.

HARRIS, G.L.; FORSTER, A. Pesticide contamination of surface waters – the potential role of buffer zones. In Haycolck, N.; Burt, T.; Goulding, K.; Pinay, G. **Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection**. Albans: Haycock Associated Limited, electronic version, 2001.

KHOURY, D.; CHIMJARN, S.; DELHOMME, O.; MILLET, M. Seasonal and spatial detection of pesticide residues in the ambient air of the Alsace region across different land use conditions. **Environment International**, v. 202, 109677, 2025.

LORENZ, S. TRAU, F.N.; RUF, L.C.; MEINIKMANN, K.; FISCH, K.; STÄHLER, M.; SCHENKE, D. BLEVINS, H.L.; HEINZ, M. Pesticide contamination of small standing water bodies in the agricultural landscape of northeast Germany. **Science of The Total Environment**, v. 975, 179250, 2025.

PÉREZ-INDOVAL, R.; ROMERO-LÓPEZ, R. Assessment of pesticide contamination in groundwater bodies in the Jucar River Basin (Spain) and its spatial distribution. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 25, 101118, 2024.

PÉREZ-LUCAS, G.; VELA, N.; EL AATIK, A.; NAVARRO, S. Environmental Risk of Groundwater Pollution by Pesticide Leaching through the Soil Profile. In: **Pesticides - Use and Misuse and Their Impact in the Environment**. IntechOpen. 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82418.

SANTANA JÚNIOR, J.P; OLIVEIRA, F.S.; ROSA, L.J.; FIGUEIREDO NETO, A.; OLVIERA, F. J.V. Tecnologia de drones na agricultura: um estudo sobre a pulverização e suas aplicações. **Scientific Electronic Archives**, v. 18, n. 1, p. 1-4, 2025.

WU, S.; BASHIR, M.A.; RAZA, Q.-U.-A.; REHIM, A., GENG, Y.; CAO, L. Application of riparian buffer zone in agricultural non-point source pollution control—A review. **Frontiers in Sustainable Food System**, v. 7, 985870, 2023.

ZALLER, J.G.; KRUSE-PLAß, M.; SCHLECHTRIEMEN, U.; GRUBER, E.; PEER, M.; NADEEM, I.; FORMAYER, H.; HUTTER, H-P.; LANDLER, L. Pesticides in ambient air, influenced by surrounding land use and weather, pose a potential threat to biodiversity and humans. **Science of the Total Environment**, v. 838, 156012, 2022.

Tamiris R. Rolim
IMAmt

Carmem A. Nascimento
IMAmt

Jéssica A. Oliveira
IMAmt

Mario Pozza Jr.
IMAmt

Renata F. Santos
Comdeagro

CAPÍTULO 7.4

Controle biológico baseado em microrganismos como ferramenta no manejo integrado de doenças e pragas do algodoeiro

Novo capítulo publicado na edição de 2025, em substituição parcial ao capítulo "Controle biológico como ferramenta do manejo integrado de doenças e pragas do algodoeiro", presente na edição de 2019/20.

O controle biológico tem se consolidado como uma das ferramentas mais importantes dentro do Manejo Integrado de Pragas e Doenças nas lavouras de algodão, promovendo uma agricultura mais sustentável, eficiente e menos dependente de defensivos químicos. Essa abordagem, que é baseada na utilização de organismos vivos como fungos, bactérias e vírus para suprimir populações de pragas e doenças, vem apresentando resultados técnicos expressivos, com viabilidade econômica e importantes ganhos ambientais.

No cultivo do algodoeiro, cultura que enfrenta sérios desafios fitossanitários, como a ramulária (*Ramulariopsis pseudoglycines*), mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), podridões radiculares (*Rhizoctonia solani*), murchas vasculares (*Fusarium* spp. e *Verticillium* spp.), além de pragas como o bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*), lagartas e ácaros, o controle biológico tem se destacado como ferramenta estratégica. Desde sua introdução nas plantações de algodão no Brasil, na década de 1990, seu uso vem crescendo de forma consistente, impulsionado pela crescente profissionalização do setor, pelo desenvolvimento de formulações cada vez mais eficientes e pelas tecnologias de aplicação mais precisas.

Os bioinsumos, que englobam produtos de controle biológico, bioestimulantes e inoculantes, representam uma categoria em franca expansão. Eles são formulados a partir de agentes microbiológicos (bactérias, fungos e vírus), macrobiológicos (ácaros, insetos e nematoides) ou substâncias naturais estruturalmente similares e funcionalmente idênticas às encontradas na natureza (Figura 1). Esses insumos

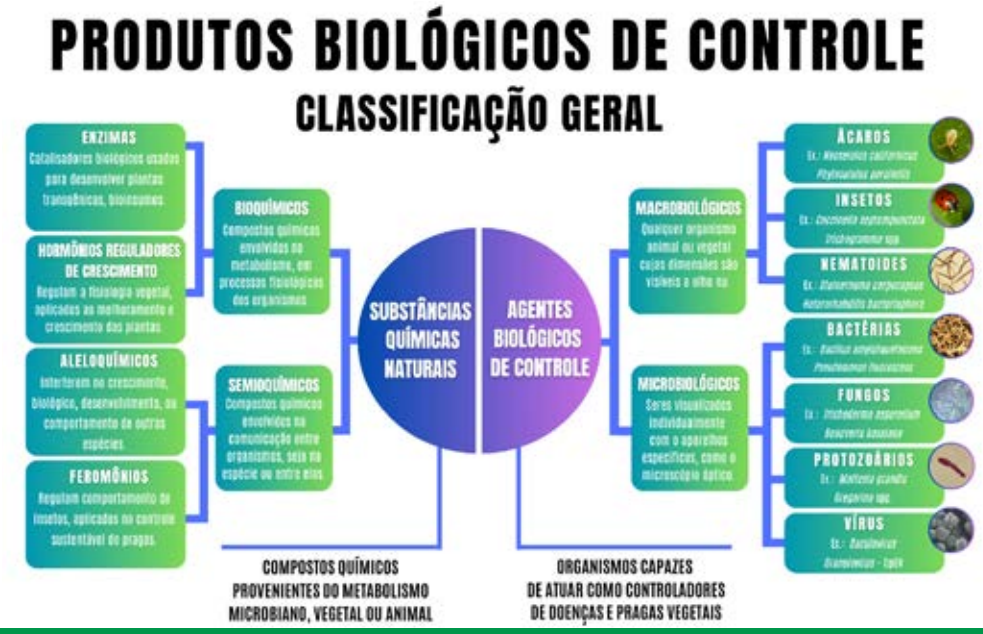


Figura 1. Classificação geral dos produtos biológicos de controle (Fonte: Adaptado de CropLife Brasil, 2025)

contribuem para o controle de pragas e doenças e também atuam na promoção do crescimento vegetal e na indução de resistência sistêmica, beneficiando o solo e o equilíbrio do sistema de cultivo.

No Brasil, o crescimento desse mercado tem sido notável. O país destaca-se como um dos líderes mundiais na adoção de bioinsumos, com um ritmo de crescimento médio anual quatro vezes superior ao da média global. A área tratada com esses produtos na safra 2024/2025 chegou a 156 milhões de hectares, com taxa média de adoção por área plantada passando de 23% para 26%.

Embora os cultivos de soja, milho e cana-de-açúcar concentrem, atualmente, a maior parte da demanda, o uso de bioinsumos no algodão vem crescendo significativamente, com destaque para bionematicidas e bioinseticidas. A região Centro-Oeste, especialmente o estado de Mato Grosso, lidera esse avanço, concentrando cerca de um terço do valor total do mercado nacional de produtos biológicos agrícolas.

Além dos benefícios agronômicos e ambientais, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa economicamente viável. Sua adoção pode contribuir para a redução do uso de defensivos químicos, favorecendo uma produção mais equilibrada e segura para agricultores, consumidores e o meio ambiente. Um levantamento realizado pela Kynetec™, empresa do segmento de informações estratégicas especializada no agronegócio, mostrou que no Brasil, o uso de bioinsumos nas principais culturas de Mato Grosso – algodão, milho e soja – distribui-se entre praticamente todos os desafios fitossanitários dessas cadeias produtivas, em especial no controle de nematoides, lagartas desfolhadoras e doenças fúngicas, como manchas e ferrugens (Figura 2).

Neste capítulo, trataremos dos bioinsumos voltados ao controle biológico de pragas e doenças, com foco nos produtos microbiológicos. Serão apresentados os principais agentes utilizados, seus mecanismos de ação e os avanços mais recentes relacionados ao seu uso em sistemas de produção agrícola.

1. Mecanismos de ação dos agentes de controle biológico

Os produtos biológicos são compostos por diferentes microrganismos, cada um apresentando características específicas que resultam em distintos modos de ação no ambiente agrícola (Tabela 1). Esses mecanismos podem ocorrer de forma isolada ou combinada, interferindo direta ou indiretamente na sobrevivência, infecção ou multiplicação de patógenos que afetam as plantas, sendo fundamentais para a promoção da saúde vegetal em sistemas de produção sustentáveis. A seleção de cepas com múltiplos modos de ação é uma das estratégias para o uso eficiente de bioinsumos agrícolas.

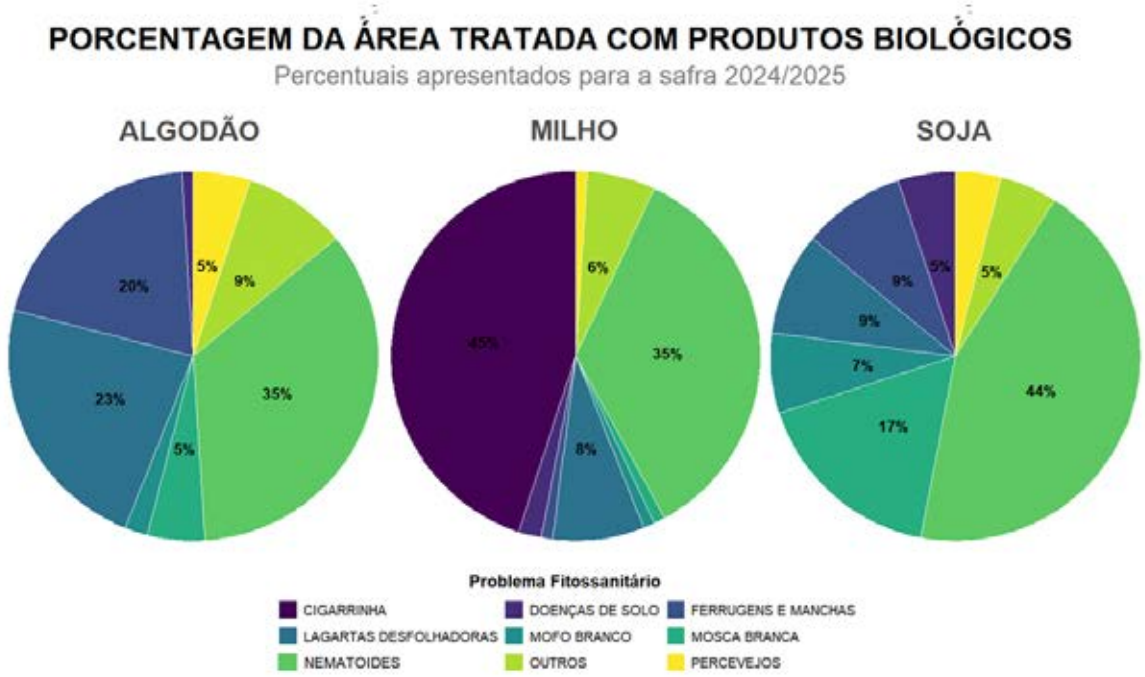


Figura 2. Área tratada com produtos biológicos no Brasil durante a safra 2024/2025 (Fonte: Adaptado de Kynetec™, 2025)

Tabela 1. Mecanismos de ação dos agentes de controle biológico e conceitos (Fonte: Medeiros *et al.*, 2018)

Mecanismo	Conceitos
Antibiose	Produção de substâncias antimicrobianas (antibióticos, toxinas, compostos voláteis) que inibem o crescimento ou matam o patógeno.
Competição	Microrganismos benéficos colonizam rapidamente a superfície da raiz, folhas ou outros tecidos, impedindo a instalação de patógenos.
Parasitismo	Ocorre quando um microrganismo parasita diretamente o patógeno, destruindo sua estrutura.
Indução de resistência	Alguns microrganismos ativam os mecanismos de defesa da própria planta, aumentando sua resistência a futuras infecções.
Promoção de crescimento	Atuam direta ou indiretamente, melhorando a absorção de nutrientes, regulando o crescimento ou protegendo a planta contra estresses bióticos e abióticos.

2. Produtos biológicos para controle de doenças e nematoides

2.1. Biofungicidas

Alternativa promissora e sustentável para o controle de doenças de plantas na agricultura brasileira, os biofungicidas oferecem benefícios como a redução de resíduos químicos, menor impacto ambiental e potencial para integração ao manejo integrado de doenças no campo. Atualmente, existem 148 produtos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que podem ser aplicados em qualquer cultura onde ocorra o alvo biológico. Esses produtos apresentam em suas formulações bactérias, fungos ou uma mistura de diferentes microrganismos. Os principais princípios ativos desses produtos são as bactérias *Bacillus subtilis*, *B. velezensis*, *B. amyloliquefaciens* e os fungos *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum* e *T. afroharzianum*. Para a prospecção e avaliação do potencial de controle dos fitopatógenos por microrganismos benéficos, são conduzidos ensaios em ambiente controlado (Figura 3) e em campo aberto, com o objetivo de gerar dados robustos e consistentes que comprovem a eficácia desses bioinsumos.

Figura 3. Teste de antagonismo *in vitro* pelo método de confronto direto ou cultivo pareado (Fonte: Autoria própria)

Os microrganismos empregados no controle biológico de doenças de plantas atuam por mecanismos diretos e indiretos. Entre os macanismos diretos, destacam-se a produção de metabólitos antimicrobianos (como lipopeptídeos e antibióticos), que desestabilizam membranas celulares, inibem a biossíntese da parede celular ou

induzem a morte celular em patógenos. A secreção de enzimas hidrolíticas (quitinases, glucanases e celulases) degrada componentes da parede celular de fungos, comprometendo sua integridade. Compostos orgânicos voláteis também atuam à distância, inibindo germinação de esporos, crescimento micelial e esporulação, além de induzirem mecanismos de defesa na planta hospedeira.

Nos mecanismos indiretos, destacam-se a indução de resistência sistêmica, em que microrganismos benéficos ativam as vias hormonais do ácido jasmônico e do etileno, promovendo a expressão de genes relacionados à defesa. Assim, as plantas passam a responder de forma mais rápida e eficiente a futuros ataques de patógenos, mesmo na ausência de infecção prévia.

Além disso, microrganismos benéficos modulam a microbiota do solo e da rizosfera, promovendo o estabelecimento de comunidades microbianas equilibradas e benéficas que suprimem os patógenos por competição, antagonismo ou exclusão. De forma geral, os mecanismos fúngicos e bacterianos responsáveis pelo controle de fitopatógenos atuam de forma integrada e sinérgica, proporcionando controle eficaz das doenças e contribuindo para o equilíbrio dos sistemas agrícolas.

A aplicação dos agentes de controle biológico deve ser realizada, preferencialmente, de forma preventiva, ou seja, antes do surgimento ou do avanço da doença na área cultivada. O momento e o método de aplicação variam conforme o tipo de patógeno a ser controlado. Para fitopatógenos de solo, como *Rhizoctonia solani* e *Fusarium spp*., recomenda-se o tratamento de sementes ou a aplicação no sulco de plantio durante a semeadura, o que favorece o estabelecimento precoce do microrganismo benéfico na rizosfera. No caso de *Sclerotinia sclerotiorum*, agente causal do mofo branco, devido à presença de escleródios (estruturas de resistência que permanecem no solo), o ideal é que a aplicação ocorra após a emergência das plantas e antes do fechamento das entrelinhas, quando há maior probabilidade de contato com os escleródios ainda expostos.

Além disso, a eficácia dos produtos biológicos está diretamente relacionada às condições ambientais no momento da aplicação. Para maximizar o desempenho dos microrganismos, recomenda-se realizar as aplicações em dias nublados, com alta umidade relativa do ar, preferencialmente no final da tarde, com o solo úmido ou em condições que favoreçam a permanência da umidade, como em dias com previsão de chuva leve. Essas condições favorecem a sobrevivência, a germinação e a colonização do agente biológico, otimizando sua ação no controle dos patógenos.

2.2. Bionematicidas

Os fitonematoides estão entre os principais fatores que impactam negativamente a cadeia produtiva do algodão. As perdas causadas por esses patógenos podem chegar a 40% da produção, devendo ultrapassar R$ 4,41 bilhões até 2031, totalizando mais de R$ 44,1 bilhões perdidos por ano. O manejo integrado de pragas tem se mostrado a estratégia mais eficaz no combate aos nematoides, sendo o controle biológico um dos pilares promissores dentro desse sistema.

Utilizados no controle biológico de nematoides, os bionematicidas são desenvolvidos a partir de microrganismos e podem ser aplicados de diferentes formas, como no tratamento de sementes, na aplicação no sulco de semeadura ou por pulverização no solo. A escolha do método de aplicação varia conforme o tipo de formulação, o estágio da cultura e as condições do solo.

Os fungos *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e espécies do gênero *Trichoderma* são amplamente utilizados na formulação dos bionematicidas, por apresentarem elevada afinidade por ovos de nematoides, além de serem capazes de infectar formas móveis ou sedentárias, como juvenis e fêmeas, dependendo da espécie. A Figura 4 mostra um exemplo da ação predatória de *Pochonia chlamydosporia* capturando os nematoides por meio do estrangulamento com suas hifas.

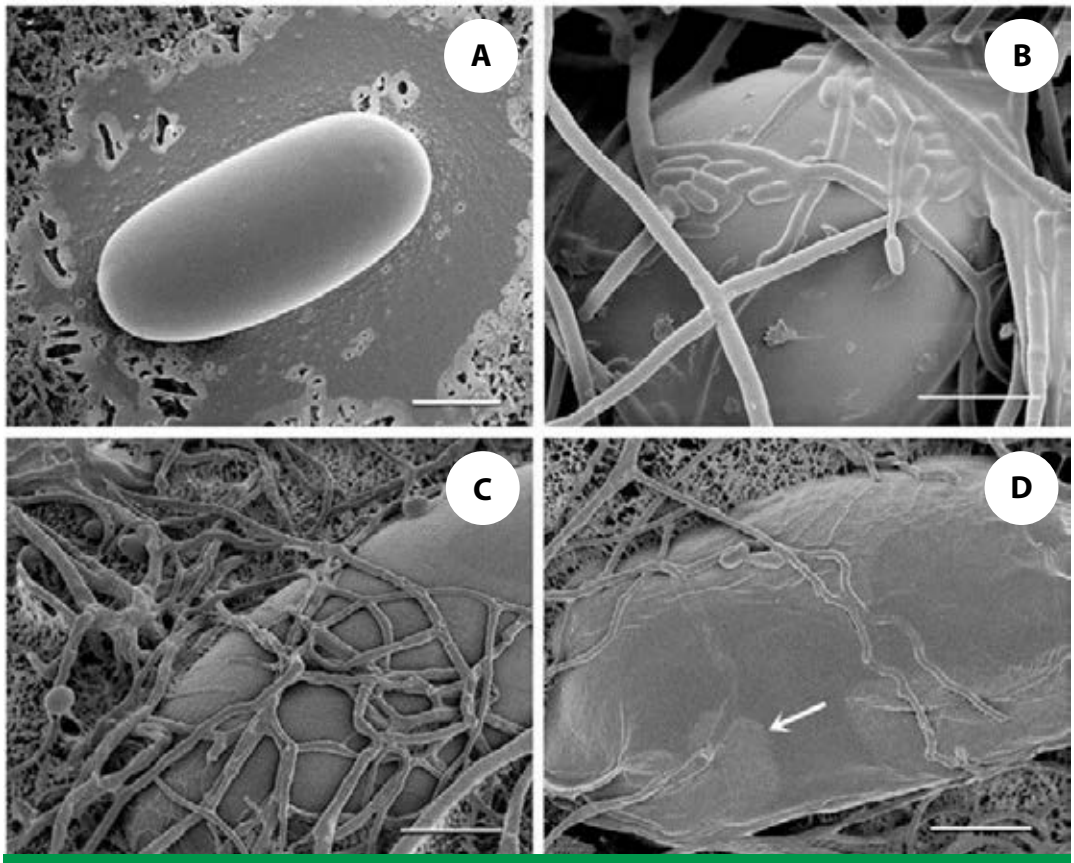


Figura 4. A: Ovo saudável de *Meloidogyne incognita* (nematóide-das-galhas) antes da infecção pelo fungo nematicida *Pochonia chlamydosporia*. B: Formação de hifas fúngicas sobre a cutícula do ovo de *M. incognita* após a infecção por *P. chlamydosporia*. C: Rede de hifas de *P. chlamydosporia* envolvendo o ovo de *M. incognita*. D: Presença de zonas de deformação na cutícula do ovo (indicado pela seta), provocadas pelo contato com as hifas de *P. chlamydosporia*, culminando na morte do ovo
(Fonte: Manzanilla-López *et al*., 2017)

Diversas espécies bacterianas têm se destacado como agentes eficazes no controle biológico de nematoides fitoparasitas como *Bacillus amyloliquefaciens, B. velezensis, B. licheniformis, B. pumilus, B. subtilis, B. thuringiensis, B. firmus, Pasteuria nishizawae e Pseudomonas* spp. (destaque para *P. fluorescens*). O sucesso das bactérias no controle de nematoides está diretamente relacionado à sua versatilidade metabólica e à diversidade de mecanismos de ação que elas apresentam, incluindo a produção de enzimas hidrolíticas, lipopeptídeos, proteínas, sideróforos e compostos orgânicos voláteis. Além disso, muitas espécies são capazes de induzir resistência sistêmica em plantas por meio da ativação de vias hormonais, como a do ácido jasmônico e do etileno.

Essa complexidade de ação tem favorecido o desenvolvimento de formulações comerciais, que combinam múltiplas cepas bacterianas. Em muitos desses produtos, cada cepa contribui com um mecanismo específico de controle, como a degradação da cutícula dos nematoides, inibição da eclosão de ovos, ruptura de membranas celulares, ou interferência em vias metabólicas essenciais. O efeito combinado dessas cepas resulta em uma ação sinérgica, mais efetiva e prolongada no controle dos nematoides, além de promover maior estabilidade no ambiente rizosférico e menor risco de resistência por parte dos patógenos.

Atualmente, mais de 100 bionematicidas estão registrados no MAPA, podendo ser aplicados em qualquer cultura agrícola onde haja ocorrência do

alvo biológico correspondente, como *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis*, e *Pratylenchus brachyurus*. O uso desses produtos integra estratégias sustentáveis de manejo, contribuindo para a sanidade do solo e o equilíbrio do agroecossistema.

Pesquisas realizadas pela empresa Agronema™ ao longo de quase uma década, em condições controladas de casa de vegetação no estado do Paraná demonstraram a eficácia de diversos nematicidas biológicos na cultura do algodão. Os resultados destacam, especialmente, o desempenho de bactérias do gênero *Bacillus*, que reduziram significativamente a penetração de nematoides nos tecidos radiculares das plantas tratadas. As reduções observadas variaram de 50 a 80% no número de juvenis infectivos de *Meloidogyne incognita* e de fêmeas imaturas de *Rotylenchulus reniformis*, em comparação às plantas não tratadas. Além disso, esses agentes biológicos também se mostraram eficazes na redução do fator de reprodução dos nematoides, com índices de controle entre 60 a 90%, dependendo do produto utilizado e do momento da avaliação. Mesmo em cultivares resistentes, o uso de nematicidas biológicos contribuiu para um controle adicional das populações de nematoides, promovendo ainda benefícios no desenvolvimento das plantas e no aumento da produtividade da cultura.

3. Produtos biológicos para controle de pragas

3.1. Bioinseticidas bacterianos

O primeiro nome que nos vem à mente quando pensamos no controle biológico de insetos é o da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt). É uma espécie bacteriana já bem reconhecida pelo seu potencial inseticida e também por ser utilizada como fonte de genes de resistência para a transformação genética de plantas, tornando-as resistentes ao ataque de determinados insetos (plantas com tecnologia Bt). *Bacillus thuringiensis* é conhecida pela produção de diferentes proteínas com toxicidade para diferentes ordens de inseto como Lepidoptera, Coleoptera e Diptera. O grupo de proteínas mais conhecido é o Cry, responsável pela formação de inclusões cristalinas proteicas na célula bacteriana durante a esporulação. Outros grupos de proteínas entomotóxicas de Bt são Cyt e Vip, produzidas durante a fase vegetativa das células em crescimento.

O modo de ação dessas toxinas começa quando os insetos-alvo ingerem os cristais presentes nas formulações à base de Bt ou expressos por plantas com tecnologia Bt. No intestino dos insetos, que possui pH alcalino nos instares iniciais, os cristais são solubilizados, liberando toxinas que são ativadas por enzimas digestivas e se ligam a receptores específicos localizados na membrana das células do epitélio intestinal. Essa ligação leva à formação de poros na membrana celular, provocando a desorganização do epitélio intestinal, perda de integridade celular e desequilíbrio osmótico. Como consequência, o intestino do inseto se rompe, permitindo que as bactérias intestinais se espalhem por todo o organismo, causando infecção generalizada. O inseto, então, sofre paralisia do sistema digestivo e morte em poucos dias. Esse processo é altamente específico e torna o Bt uma ferramenta eficaz e segura para o manejo integrado de pragas, uma vez que afeta apenas insetos que possuem os receptores-alvo, não prejudicando organismos não alvo, como inimigos naturais, polinizadores e seres humanos (Figuras 5 e 6).

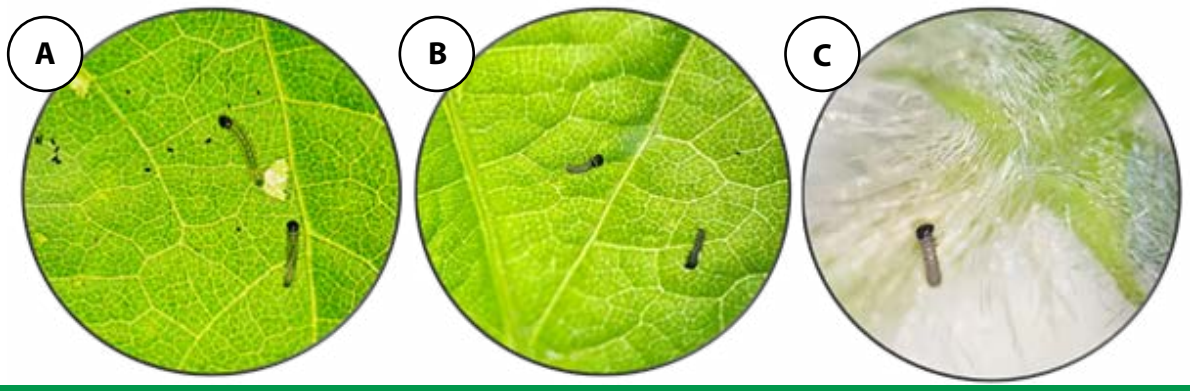


Figura 5. Infecção de *Spodoptera frugiperda* com *Bacillus thuringiensis* (Bt) em condições de laboratório. (A) Lagartas antes da infecção por Bt. (B) Lagartas 24h após a infecção por Bt. (C) Lagarta morta por Bt (Fonte: Autoria própria)

Figura 6. Infecção de Spodoptera com *Bacillus thuringiensis* (Bt) em condições de campo (Fonte: Fernando Juchem)

Nos últimos anos, outras espécies bacterianas tiveram seu estudo aprofundado e surgiram como alternativas promissoras para o controle biológico de insetos. O *Brevibacillus laterosporus* é uma espécie conhecida pelo potencial como agente de biocontrole contra pragas da agricultura, sobretudo Lepidópteros e Dípteros. Seu mecanismo de ação é semelhante ao do Bt e envolve a produção de proteínas que rompem as membranas do aparelho digestivo dos insetos, sendo eficaz principalmente por ingestão. Além disso, diferentes cepas dessa bactéria apresentam atividade antimicrobiana de amplo espectro, tornando-as capazes de combater bactérias e fungos fitopatogênicos. A aplicação combinada de *B. laterosporus* e Bt já é utilizada e visa ampliar o espectro de ação bioinseticida contra os insetos, sobretudo de lagartas como *Spodoptera frugiperda, Chrysodeixis includens* e *Helicoverpa armigera.*

Embora ainda não exista produto registrado pelo MAPA para *Chromobacterium subtsugae*, a espécie tem ganhado atenção nos últimos anos com diversos estudos experimentais. Seu modo de ação se baseia em múltiplos mecanismos, destacando-se a produção de proteínas e outros compostos bioativos que afetam o comportamento alimentar, a fisiologia digestiva e a reprodução dos insetos. A ação da bactéria se dá principalmente por ingestão, resultando em inibição da alimentação, intoxicação do sistema digestivo e, consequentemente, morte do inseto. Diversos estudos já comprovaram a eficácia de *C. subtsugae* no controle de pragas de importância econômica. Dentre os alvos mais estudados estão o percevejo-marrom (*Euschistus heros*) e o percevejo-verde (*Nezara viridula*), além de pulgões e ácaros. No contexto do algodão, resultados experimentais têm apontado para o seu uso potencial no manejo de percevejos que apresentam resistência a inseticidas químicos, além de seu uso complementar com outros bioinsumos.

Outras espécies bacterianas têm sido estudadas e se destacado nas etapas de pesquisa *in vitro*, mas ainda não existem produtos registrados no MAPA à disposição dos produtores. Os resultados em laboratório nem sempre se refletem na realidade do campo, onde as interações do inseto com a planta, o ambiente e os microrganismos nativos são complexas.

Figura 7. Crescimento de fungo na superfície da lagarta em campo (Fonte: Fernando Juchem)

3.2. Bioinseticidas fúngicos

Os bioinseticidas fúngicos são produtos biológicos à base de fungos entomopatogênicos, ou seja, fungos que têm a capacidade natural de infectar, parasitar e matar insetos-praga (Figura 7). Esses microrganismos são usados no controle biológico como uma alternativa ecológica aos inseticidas químicos, sendo especialmente úteis em programas de manejo integrado de pragas (MIP).

Diferentemente dos inseticidas biológicos à base de bactérias, os inseticidas formulados com fungos entomopatogênicos atuam predominantemente por contato direto. Os conídios (esporos) aderem à cutícula do inseto e, sob condições favoráveis de umidade e temperatura, germinam e penetram no corpo do hospedeiro, produzindo enzimas (como proteases, quitinases e lipases), que degradam a cutícula. O fungo coloniza internamente o inseto, causando sua morte por esgotamento de nutrientes ou infecção generalizada. Após a morte, o fungo pode esporular na superfície do cadáver, liberando novos conídios no ambiente (Figura 8).

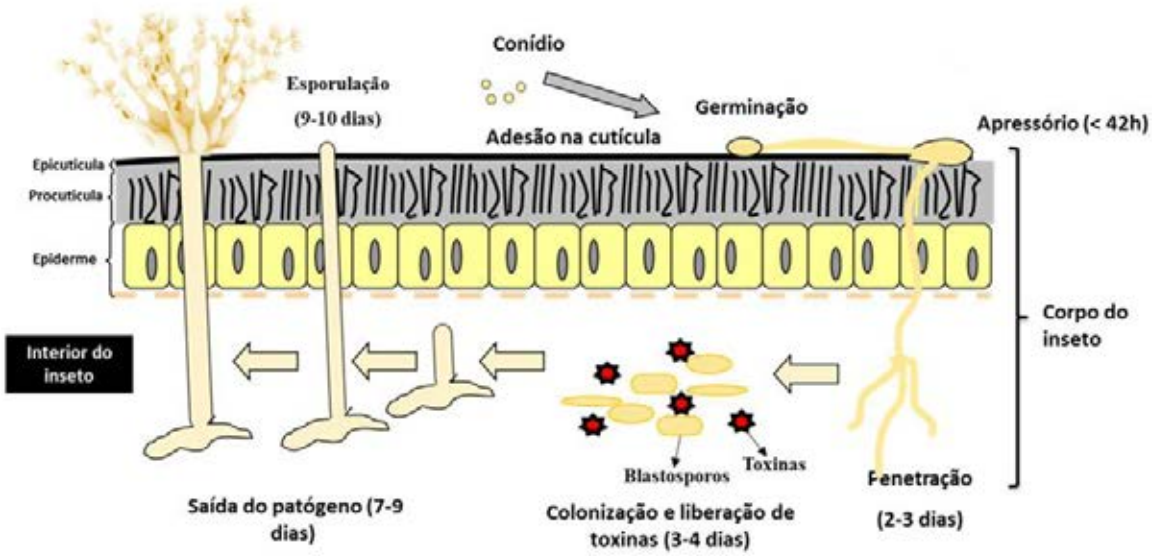


Figura 8. Mecanismo de ação de *Beauveria bassiana* para controle de mosca-branca (*Bemisia tabaci*) (Fonte: Revista Cultivar, adaptado de Mascarin & Jaronski, 2016)

Os principais fungos utilizados no controle biológico de pragas agrícolas são *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea*, *Cordyceps javanica*, *Metarhizium anisopliae, Metarhizium rileyi* e *Hirsutella thompsonii*. Dentre estes, *B. bassiana* ocupa lugar de destaque por sua versatilidade e capacidade de infectar diferentes pragas. Estudos conduzidos pelo IMAmt, em condições de campo, têm reafirmado a eficiência de *B. bassiana* no controle da mosca-branca (Figura 9) e do ácaro-rajado na cultura do algodoeiro. Para a mosca-branca, foram obtidos índices de controle de 91,92% sobre ninfas e de 94,84% sobre adultos. No caso do ácaro-rajado, observou-se controle de 68% com a aplicação de *B. bassiana* (100 g/ha).

Figura 9. Mosca-branca fundada em algodoeiro (Fonte: Autoria própria)

Figura 10. Visualização de corpos de oclusão (OBs) de baculovírus SfMNPV em microscopia óptica (Fonte: Autoria própria)

Atualmente existem 177 produtos à base de fungos entomopatogênicos registrados no MAPA para o controle de insetos-praga, e podem ser utilizados na cultura do algodão, pois estão registrados para qualquer cultura onde ocorra o alvo biológico.

3.3. Bioinseticidas virais

Os baculovírus se destacam entre os bioinseticidas por sua alta seletividade, ocorrência natural e baixo, ou até nenhum impacto sobre insetos benéficos e vertebrados, tornando-os ideais para programas de MIP. O principal grupo de baculovírus utilizado no controle de pragas agrícolas são os nucleopoliedrovírus (NPV), que se caracterizam pela formação de corpos de oclusão (poliedros, formados pela proteína poliedrina) no interior das células dos insetos infectados. Esses poliedros são visíveis ao microscópio (Figura 10), o que os torna úteis no monitoramento da qualidade durante a produção do bioinseticida. Além disso, sua estrutura contribui para a facilidade de formulação e armazenamento do produto, tornando-o mais estável e economicamente viável para uso agrícola.

Os NPV são comuns na classe Insecta e infectam uma ampla gama de hospedeiros em todo o mundo, sendo considerados um método de controle seguro. Na tabela abaixo, estão listados alguns vírus e seus hospedeiros obrigatórios (Tabela 2).

A aplicação de produtos à base de baculovírus é feita por pulverização na parte aérea das plantas. As lagartas ingerem o produto enquanto se alimentam das folhas tratadas. Quando isso acontece, os poliedros (corpos de oclusão) presentes no bioinseticida são dissolvidos no intestino da lagarta, liberando os vírus ativos (Figura 11).

Tabela 2. Viroses de insetos causados por baculovírus do gênero nucleopoliedrovírus (NPV), de ocorrência natural, associadas com pragas na América do Sul (Fonte: Oliveira *et al.*, 2006)

Espécie hospedeira	Vírus	Referência
Anticarsia gemmatalis	AgMNPV[1]	Oliveira *et al.*, 2006
Chrysodeixis includens	ChinNPV[1]	Craveiro *et al.*, 2015
Spodoptera eridania	SperNPV[1]	Rodrigues *et al.*, 2020
Spodoptera cosmioides	SpcoNPV[1]	Oliveira *et al.*, 2017
Spodoptera frugiperda	SfMNPV[1]	Wolff *et al.*, 2008 ; Cuartas *et al.*, 2015
Rachiplusia nu	RanuN PV	Rodríguez *et al.*, 2012; Trentin *et al.*, 2019
Helicoverpa armigera	HearNPV	Chen *et al.*, 2002
Helicoverpa zea	HzSNPV[2]	Ardisson-Araujo *et al.*, 2015
Chloridea virescens	HzSNPV/HearSNPV	Rowley *et al.*, 2011
Urbanus proteus	UrprNPV	Santos *et al.*, 2018
Mythimna sequax	MyseNPV	Peterson *et al.*, 2017

[1] Espécies de vírus que alcançaram a fase comercial. [2] Infectando *H. armigera*.

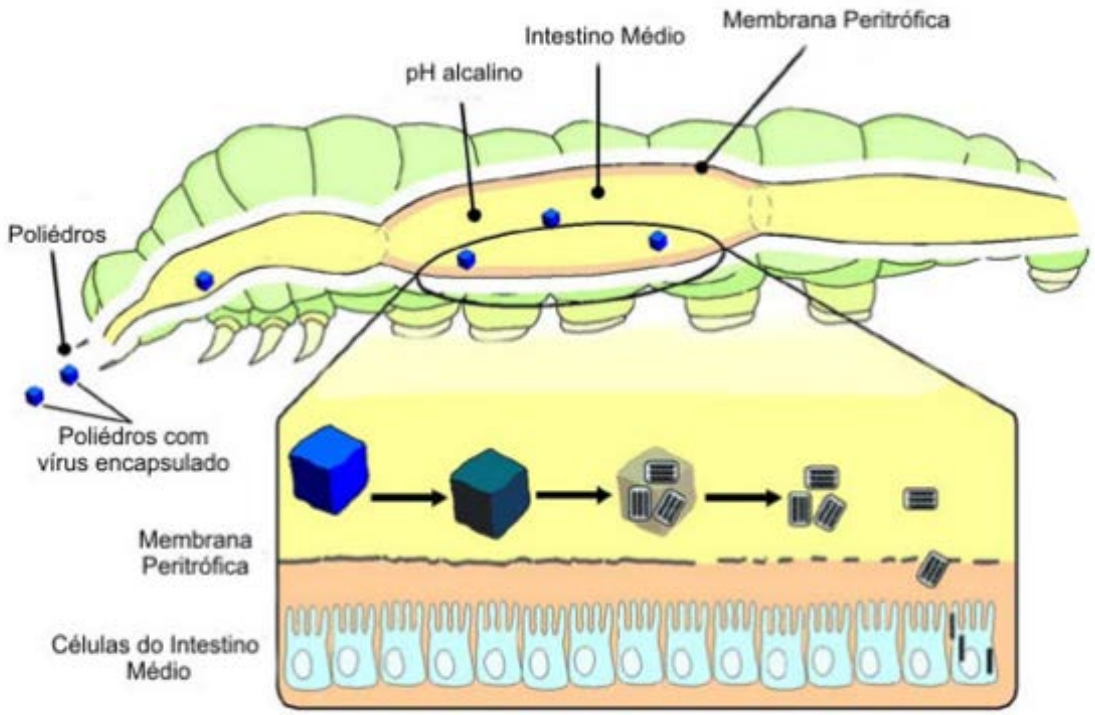


Figura 11. Esquema da infecção por baculovírus via oral (Fonte: Adaptado de Kalmakoff & Ward, 2003)

Devido ao pH alcalino do intestino (entre 8 e 11), a camada protetora do vírus se desfaz, permitindo que os vírus entre em contato com as células intestinais do inseto. A partir disso, os vírus se multiplicam dentro do corpo da praga, causando infecção e, em pouco tempo, levando o inseto à morte (Figuras 12 e 13).

Figura 12. Lagarta *Spodoptera frugiperda* com sintomas característicos causados pela infecção viral via baculovírus SfMNPV em dieta artificial (Fonte: Autoria própria)

Figura 13. Lagarta *Chrysodeixis includens* com sintomas característicos causados pela infecção viral via baculovírus ChinNPV em campo (Fonte: Fernando Juchem)

De modo geral, assim como outros microrganismos, os baculovírus possuem algumas características de limitação, como a exposição a pH alcalino, luz ultravioleta e altas temperaturas. São recomendadas as aplicações ao amanhecer ou no final do dia, quando as temperaturas estão mais amenas e a luminosidade é baixa.

Atualmente, existem registrados no MAPA, 44 produtos à base de baculovírus destinados ao controle biológico de pragas agrícolas. Um exemplo amplamente utilizado é o *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV), empregado no controle da lagarta-do-cartucho (ou lagarta-militar) na cultura do algodão. O SfMNPV representa, hoje, a principal espécie de baculovírus aplicada em campo pelos produtores, devido à sua alta eficácia e segurança no manejo integrado de pragas.

METABÓLITOS MICROBIANOS

Metabólitos microbianos são compostos químicos produzidos por microrganismos e estão envolvidos no ciclo vital, estrutura e funções celulares (metabólitos primários), e na comunicação entre células e indivíduos, obtenção de alimento, além de ataque ou defesa contra presas e predadores.

A capacidade de microrganismos produzirem metabólitos bioativos é conhecida há cerca de um século, destacando-se a descoberta da penicilina a partir do fungo *Penicillium*, que inibia o crescimento da bactéria *Staphylococcus aureus*. Esse marco inaugurou a busca por metabólitos com atividade antimicrobiana, tanto para medicina quanto para agricultura.

Atualmente, milhares de metabólitos já foram identificados, e muitos são sintetizados em laboratório. No entanto, alguns permanecem inacessíveis à síntese química devido à sua complexidade estrutural, exigindo produção via fermentação microbiana.

Na agricultura, bactérias (como *Bacillus* spp.) e fungos (como *Trichoderma* spp.) são reconhecidos por sua vasta produção de metabólitos bioativos. O gênero *Bacillus*, por exemplo, tem mais de 20.000 metabólitos catalogados em bancos de dados científicos. Já os fungos do gênero *Trichoderma* produzem compostos versáteis, como a harzianopiridona, que exibe atividade contra bactérias gram-positivas, fungos fitopatogênicos, larvas de insetos-praga, além de promover o crescimento vegetal, mostrando que os metabólitos também podem ser versáteis e promover diversos benefícios como insumos agrícolas.

4. Controle de qualidade de produtos biológicos

O controle de qualidade de produtos biológicos é essencial para garantir que o insumo aplicado no campo esteja livre de contaminantes e contenha a concentração adequada de células viáveis ou esporos, conforme estabelecido no registro do produto. Esse controle assegura a eficácia agronômica do bioinsumo, assim como a segurança para o agricultor e o meio ambiente. Quando bem conduzido, o controle de qualidade permite que o produtor receba um produto confiável, com desempenho previsível e compatível com as recomendações técnicas de uso.

As análises mais básicas para fungos (Figura 14) e bactérias (Figura 15) envolvem a quantificação microbiológica, com a contagem de unidades formadoras de colônia (UFC), e a avaliação da pureza, isto é, a verificação da ausência de contaminantes indesejados no produto final. Hoje essas análises são realizadas principalmente por meio de técnicas de microbiologia básica, como diluições seriadas, plaqueamento em meio de cultura e observação microscópica.

Para vírus, especificamente o grupo dos baculovírus a quantificação é feita por meio de microscopia comum para a visualização dos corpos de oclusão (OBs) (Figura 16).

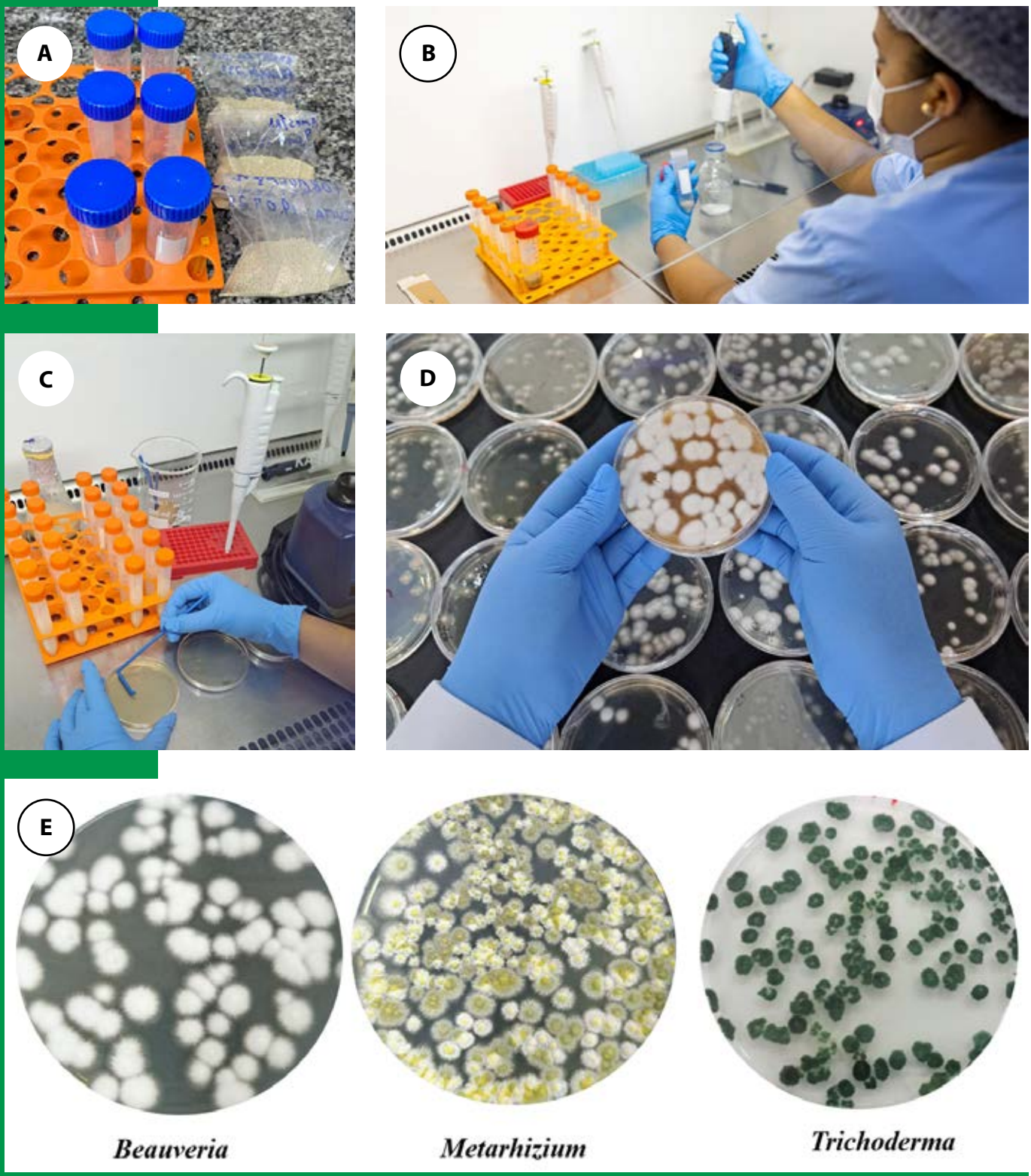


Figura 14. Controle de qualidade de bioinsumo a base de fungos. (A) pesagem das amostras; (B) diluições seriadas; (C) plaqueamento; (D) unidades formadoras de colônias de *Beauveria*; (E) Placas contendo crescimento de *Beauveria*; (F) *Metarhizium* e, (G) *Trichoderma* (Fonte: Autoria própria)

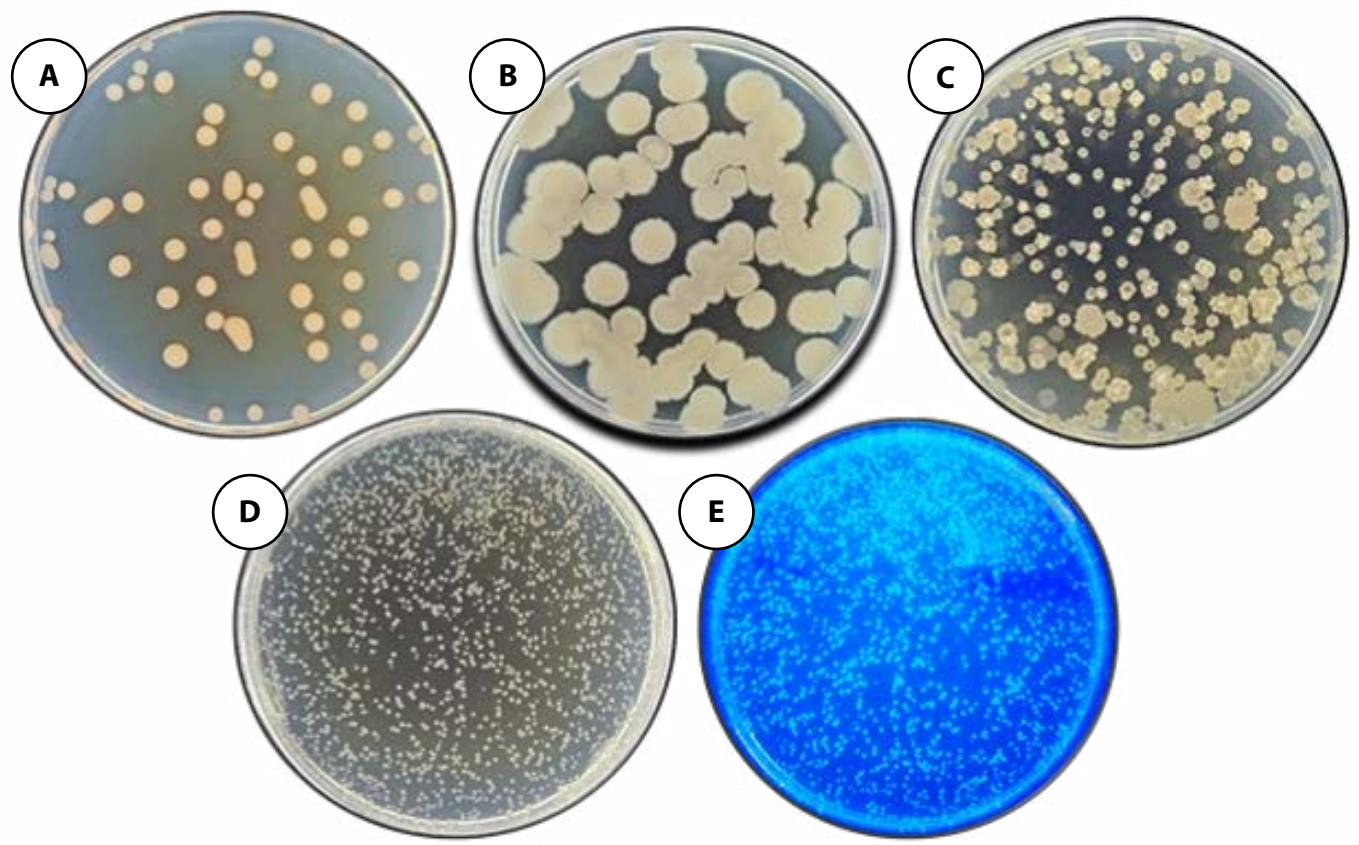


Figura 15. Plaqueamento de cepas bacterianas em meio de cultura NA. (A) *Azospirillum brasilense*; (B) *Bacillus thuringiensis*; (C) *Bacillus velezensis*; (D) *Pseudomonas fluorescens*; (E) *Pseudomonas fluorescens* sob luz UV 365 nm (Fonte: Autoria própria)

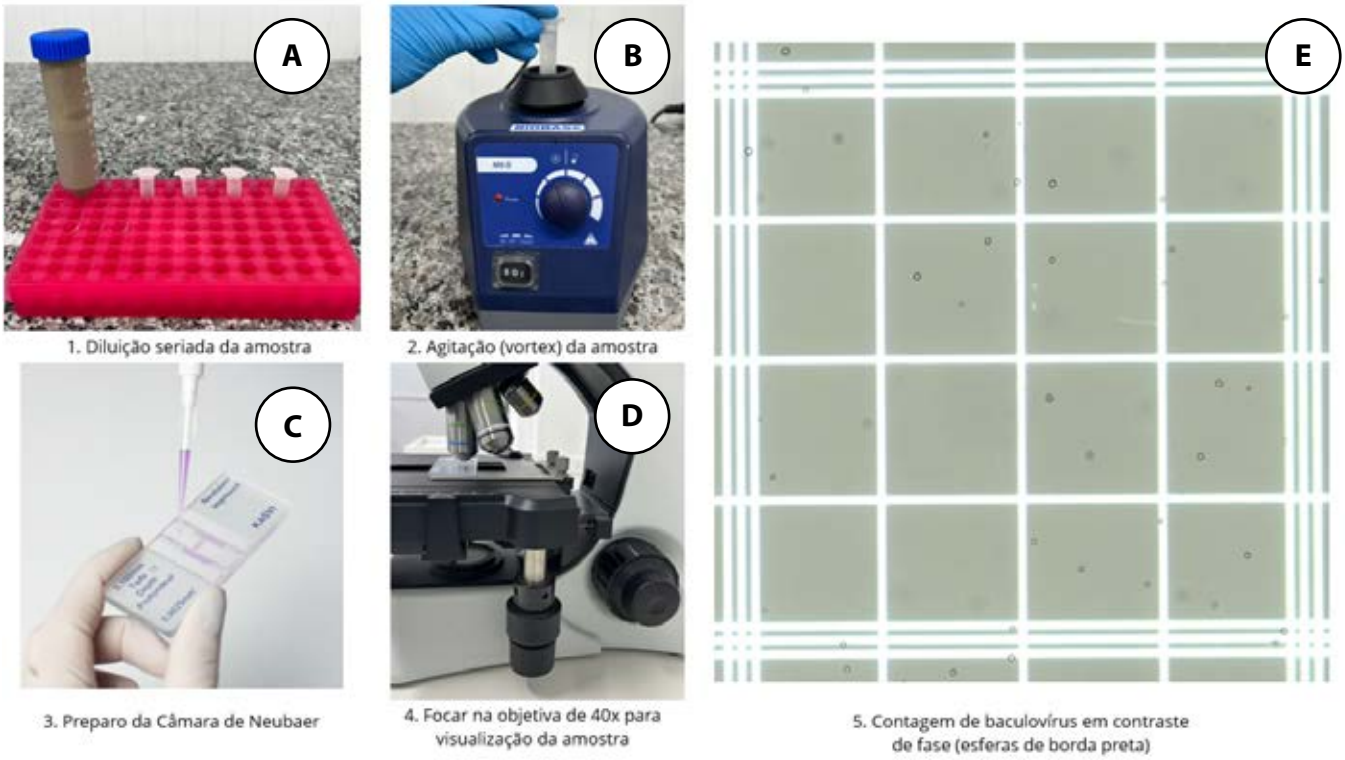


Figura 16. Controle de qualidade de bioinsumo a base de baculovírus. (A) diluição seriada; (B) agitação da amostra; (C) preparo da câmara de Neubauer; (D) posicionamento da câmara em microscópio óptico; (E) visualização da amostra para contagem do baculovírus (Fonte: Autoria própria)

Com o crescimento acelerado do setor de bioinsumos e a publicação de normas, instruções normativas e resoluções específicas pelo MAPA, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), técnicas analíticas mais avançadas têm sido incorporadas aos protocolos de controle de qualidade. Entre elas, destacam-se as análises moleculares de DNA, como o sequenciamento do gene 16S rRNA para bactérias e da região ITS para fungos, que permitem a identificação rápida, precisa e sensível das espécies presentes no produto, tanto desejáveis quanto contaminantes.

Esse avanço tem impulsionado a especialização dos laboratórios de microbiologia agrícola e fomentado o desenvolvimento de soluções analíticas mais rápidas, robustas e padronizadas. O uso de qPCR, PCR multiplex e metagenômica vem permitindo diagnósticos mais precisos, além de contribuir para o monitoramento da estabilidade e performance dos microrganismos durante o armazenamento, transporte e aplicação.

Dessa forma, o controle de qualidade dos produtos biológicos está se tornando cada vez mais sofisticado, acompanhando a profissionalização da cadeia produtiva de bioinsumos no Brasil. Esse movimento assegura a eficácia dos agentes biológicos no campo, fortalece a confiança do produtor, melhora o desempenho dos programas de manejo integrado e contribui significativamente para a segurança ambiental e para a sustentabilidade da agricultura.

5. Programa de Prospecção Biológica do IMAmt

O Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt) conduz um Programa de Bioprospecção de Microrganismos voltado ao desenvolvimento de bioinsumos agrícolas. Situado em uma região de alta diversidade biológica, abrangendo os biomas Cerrado, Pantanal e Amazônia, o programa realiza a coleta e o isolamento de microrganismos a partir de solo, água, plantas e insetos, armazenando mais de 15 mil acessos microbianos em sua coleção (Figura 17).

Figura 17. Bioprospecção de microrganismos benéficos (Fonte: Autoria própria)

As pesquisas concentram-se na seleção de cepas com potencial para o controle biológico de pragas e doenças do algodoeiro, como o bicudo, lagartas e fungos fitopatogênicos, além de microrganismos com ação promotora de crescimento vegetal. As cepas mais promissoras são avaliadas em laboratórios de escalonamento e formulação, com posterior produção em biofábricas parceiras, como a COMDEAGRO.

O programa também investe na prospecção de genes microbianos para resistência ao bicudo-do-algodoeiro, visando seu uso em melhoramento genético e engenharia de plantas. Dessa forma, o Programa de Bioprospecção de Microrganismos do IMAmt representa um dos pilares estratégicos para o fortalecimento de uma agricultura mais sustentável, competitiva e adaptada às condições e desafios do estado de Mato Grosso e do cenário agrícola nacional.

6. Biofábricas da COMDEAGRO e portfólio comercial

Biofábrica de bactérias (Primavera do Leste - MT)

A biofábrica de bactérias (Figura 18) tem como principal objetivo a produção de bioinseticidas e inoculantes à base de microrganismos benéficos, como *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus thuringiensis, Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense*. Atualmente, suas atividades estão voltadas à fabricação dos produtos Amylotrop, Nemazak, Amitrix e Radilix, que atuam no controle biológico de pragas e doenças e na promoção do crescimento vegetal em diversas culturas. Localizada no município de Primavera do Leste, na região Centro-Leste do estado de Mato Grosso, a biofábrica desempenha um papel estratégico no avanço da agricultura sustentável por meio da oferta de tecnologias de baixo impacto ambiental, alinhadas ao manejo integrado de doenças e pragas (MIDP).

Biofábrica de fungos (Campo Verde - MT)

A biofábrica de fungos (Figura 19) tem como principal objetivo a produção de biofungicidas e bioinseticidas à base de microrganismos benéficos, incluindo os gêneros *Trichoderma*, *Beauveria, Cordyceps* e *Metarhizium*. Atualmente, suas atividades estão concentradas na fabricação dos produtos Bemitrix, Aspemax e Metamix, voltados ao controle biológico de pragas e doenças em diversas culturas agrícolas. Localizada no município de Campo Verde, na região Centro do estado de Mato Grosso, a biofábrica contribui diretamente para o fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis, promovendo o uso de tecnologias de baixo impacto ambiental e auxiliando no manejo integrado de doenças e pragas.

Figura 18. Biofábrica de bactérias (Primavera do Leste - MT) (Fonte: Autoria própria)

Biofábrica de vírus (Sorriso - MT)

A biofábrica de vírus (Figura 20) tem como principal objetivo a produção de bioinseticidas à base de baculovírus. Atualmente, seu foco está na produção do Virumix, um produto biológico utilizado no controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). A biofábrica está situada no município de Sorriso, na região Norte do estado de Mato Grosso, uma das áreas de maior produção agrícola do país. A atuação da biofábrica contribui para o manejo sustentável das lavouras, reduzindo a dependência de inseticidas químicos e promovendo práticas agrícolas mais equilibradas e ambientalmente responsáveis.

Figura 19. Biofábrica de fungos da COMDEAGRO (Campo Verde - MT) (Fonte: Autoria própria)

Figura 20. Biofábrica de vírus da COMDEAGRO (Sorriso - MT) (Fonte: Autoria própria)

PORTFÓLIO COMDEAGRO	
Aspemax RAÍZES PROTEGIDAS, LAVOURAS FORTALECIDAS	**ASPEMAX** (*Bacillus amyloiquefaciens* IMA 412 + *Trichoderma asperellum* URM 8117) é um fungicida microbiológico, recomendado para o controle da Podridão Radicular (*Rhizoctonia solani*) em qualquer cultura de ocorrência desse alvo biológico.
AMITRIX SC	**AMITRIX** (*Bacillus amyloliquefaciens* CBMAI 1301) é um fungicida microbiológico de contato eficaz no controle de *Colletotrichum lindemuthianum* e *Colletotrichum gloeosporioides*.
AMYLOTROP Nematicida Microbiológico	**AMYLOTROP** (*Bacillus amyloliquefaciens* IMA 411) é um nematicida microbiológico, recomendado para o controle de *Pratylenchus brachyurus* (nematoide das lesões radiculares) e *Meloidogyne incognita* (nematoide-das-galhas) em qualquer cultura com ocorrência desses alvos biológicos.
NemaZak	**NEMAZAK** (*Bacillus amyloliquefaciens*, isolado SVG 00027-B + *B. amyloliquefaciens* SVG 00028-B + *Bacillus thuringiensis*, isolado SVG 00029-B + *Bacillus subtilis*, isolado SVG 00030-B) é um nematicida microbiológico indicado no tratamento de semente e aplicação via sulco de plantio para o controle de *Meloidogyne incognita* (nematoide-das-galhas).
Bemitrix WG	**Bemitrix WG** (*Beauveria bassiana*, isolado IBCB 66) é um inseticida e acaricida microbiológico de contato que atua sobre os diferentes estágios de desenvolvimento dos hospedeiros (larvas, pupas e adultos. Eficiência agronômica comprovada contra as pragas *Bemisia tabaci* raça B (mosca-branca), *Cosmopolites sordidus* (moleque da bananeira), *Tetranychus urticae* (ácaro rajado), *Dalbulus maidis* (cigarrinha do milho), *Sphenophorus levis* (gorgulho da-cana) e *Hypothenemus hampei* (broca-do-café), podendo ser aplicado em qualquer cultura com ocorrência do alvo biológico.
Metamix WG	**Metamix WG** (*Metarhizium anisopliae*, isolado IBCB 425) é um inseticida microbiológico de contato que atua em todos os estágios de desenvolvimento do inseto. Eficiência agronômica comprovada contra as pragas *Mahanarva fimbriolata* (cigarrinha-da raiz), *Zulia entreriana* (cigarrinha-das-pastagens) e *Deois flavopicta* (cigarrinha-dos capinzais), podendo ser aplicado em qualquer cultura com ocorrência do alvo biológico.
VIRUMIX	**VIRUMIX** é um inseticida microbiológico à base de Baculovírus (SfMNPV) que atua no controle da Lagarta-do-cartucho-do-milho (*Spodoptera frugiperda*), sendo indicado para qualquer cultura na qual ocorra o alvo biológico.
Radilix sc (Bacillus subtilis)	**Radilix sc** (*Bacillus subtilis*, isolado IMA Bs/170005) é um inoculante que promove o crescimento vegetal, principalmente por meio da produção de fito-hormônios.

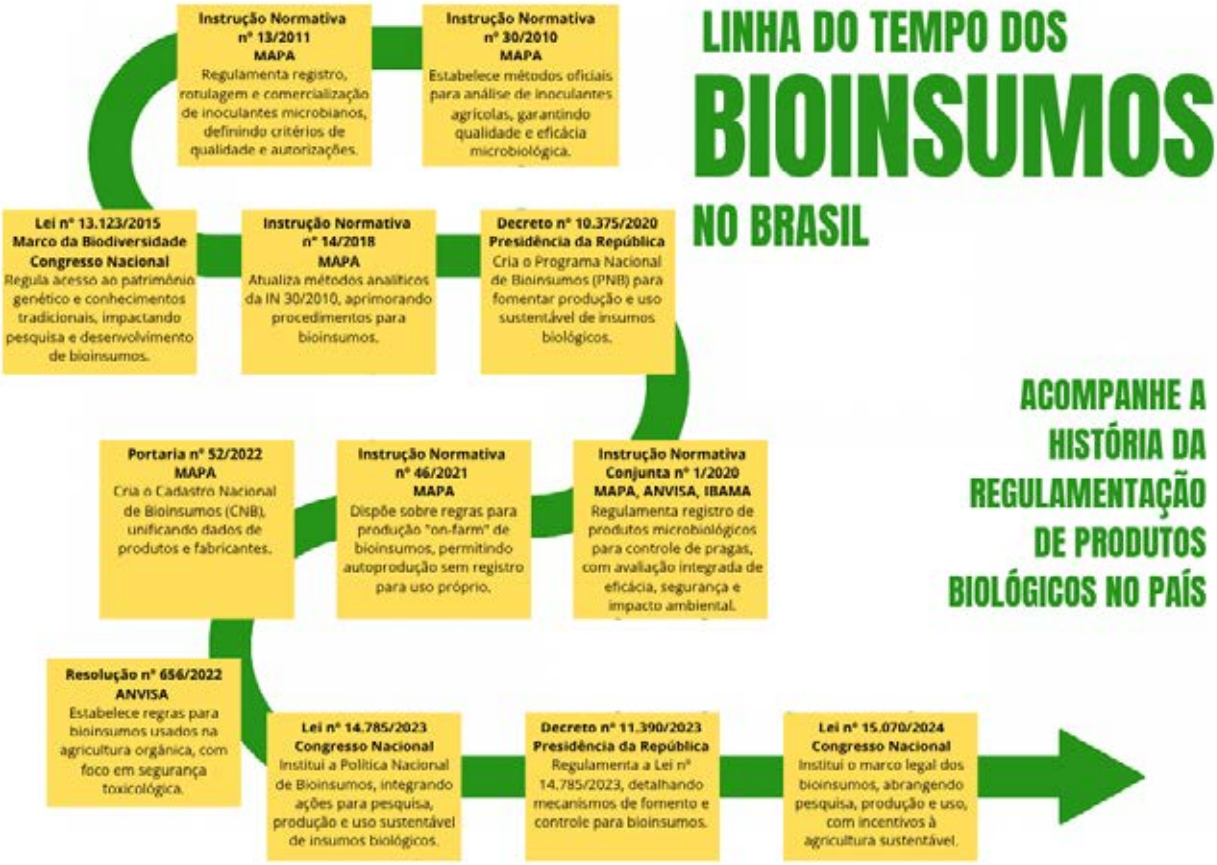
Fala do Produtor

"No início dessa onda de biológicos eu estava meio desconfiado com os resultados. Agora, com todos os resultados que já tivemos e testamos, acho que este é um caminho sem volta. Os resultados são muito bons e fizemos os testes com algumas marcas e aderimos aos do IMAmt, até por conta de seus pesquisadores estarem mais próximos ao local de consumo e adaptado ao clima regional, além da confiança que temos na empresa Comdeagro".

Jader Bergamasco, Fazenda São João Batista, Campo Verde - MT

A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE BIOINSUMOS

No Brasil, os bioinsumos são regulamentados pela Lei nº 15.070/2024, que estabelece as diretrizes para o registro, fiscalização, pesquisa e incentivos à produção dos insumos biológicos, promovendo o uso sustentável e tecnológico na agropecuária. Além disso, ela altera legislações anteriores para adequar as normas vigentes a essa nova regulamentação. Essa nova legislação define conceitos, regras de produção, comercialização e uso dos bioinsumos, promovendo maior segurança jurídica para o setor. Pontos chaves da Lei n° 15.070/2024: criação de um marco regulatório para os bioinsumos; dispensa de registro para a produção para uso próprio; incentivos econômicos e tributário; registro simplificado de produtos; inclusão dos bioinsumos no Sistema de Defesa Agropecuária; alterações em leis anteriores e nova taxa de registro (TREPDA).



7. Desafios e perspectivas futuras

O controle biológico com o uso de produtos à base de microrganismos tem ganhado destaque como alternativa sustentável no manejo integrado de pragas e doenças do algodoeiro, embora ainda enfrente desafios na agricultura atual. Um dos principais obstáculos é a sensibilidade desses microrganismos a condições ambientais adversas, como altas temperaturas, radiação solar e baixa umidade, que comprometem sua eficácia no campo. No entanto, esse desafio vem sendo superado com o avanço de formulações tecnológicas mais robustas, como o microencapsulamento, que protege os microrganismos e melhora sua estabilidade.

Outro ponto crítico é o tempo de ação geralmente mais lento em comparação aos pesticidas químicos, o que pode limitar seu uso em situações de alta infestação. Esse entrave, contudo, tem sido contornado por meio de um planejamento cuidadoso do manejo integrado, utilizando as tecnologias disponíveis de forma estratégica e eficiente. É fundamental compreender que os produtos biológicos não devem ser encarados como uma solução única ou emergencial, mas sim como uma ferramenta valiosa dentro de um conjunto de práticas que compõem os pilares do manejo integrado.

O registro de produtos microbiológicos no Brasil muitas vezes representa um desafio, no entanto, tem se tornado cada vez mais alinhado com as necessidades do mercado e com o ritmo da inovação. Embora ainda existam pontos de melhoria, o cenário regulatório evoluiu de maneira expressiva, especialmente após a promulgação da Lei dos Bioinsumos, em 2024, que estabeleceu diretrizes mais consistentes para o setor.

Apesar dos desafios, os bioinsumos despontam como uma das maiores apostas da agricultura moderna e estão em franca expansão no país. Na safra 2024/2025, o setor cresceu 13%, com crescimento médio anual nos últimos três anos de 22%, taxa quatro vezes superior à média global. Esse progresso é reflexo da crescente relevância e da força do setor de bioinsumos no Brasil, que hoje é referência mundial em pesquisa, produção e uso na agricultura.

Muitos produtores têm demonstrado alto grau de profissionalismo ao adaptar suas rotinas para garantir a eficácia dos biológicos, embasados por resultados práticos e observando fatores de manejo, condições ambientais para aplicação, compatibilidade com moléculas químicas, respeito ao horário de uso, e à forma de armazenamento. Esse amadurecimento técnico tem sido determinante para o crescimento do setor, o aumento da eficiência e do sucesso do controle biológico no campo.

Referências Bibliográficas

CONCESCHI, M.R.; BORGES, A.V.; SILVA, I.H.S. Potencial dos fungos entomopatogênicos contra a mosca-branca. **Revista Cultivar**, 2021. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/potencial-dos-fungos-entomopatogenicos-contra-a-mosca-branca>. Acesso em 05/05/2025.

CROPLIFE BRASIL. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/bioinsumos/>. Acesso em 05/05/2025.

CROPLIFE BRASIL. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/adocao-de-bioinsumos-cresceu-13-na-safra -2024-2025/> Acesso em Acesso em 09/06/2025.

DIAS-ARIEIRA, C.R.; MEDEIROS, F.H.V.; SILVA, M.T.R.; MIAMOTO, A. Manejo biológico de nematoides. *In*: DIAS-ARIEIRA, C. ARAÚJO, F.G. MACHADO, A.C.Z. (Ed). **Manejo de nematoides em grandes culturas**. Piracicaba, SP: NPCT, 2023, pg. 139-186.

DIMKIĆ, I.; JANAKIEV, T.; PETROVIĆ, M.; DEGRASSI, G.; FIRA, D. Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms – a review. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, [S.l.], v. 117, p. 101754, 2022.

FERREIRA, A.; MELO, I.S. de; COELHO, M.R.R. Mecanismos de ação de microrganismos no controle biológico e promoção do crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 2, p. 151–160, 2010.

GALBIERI, R.; INOMOTO, M.M.; SILVA, R.A.; ASMUS, G.L. Manejo de nematoides na cultura do algodão em Mato Grosso. *In*: BÉLOT, J.L.; VILELA, P.M.C.A. (Ed). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá: IMAmt: AMPA, 2020, 4 ed, pg-292-311.

KALMAKOFF, J.; WARD, V. K. **Baculoviruses**. Dunedin: University of Otavo, 2003. Disponível em: <http://www-micro.msb.le.ac.uk/3035/kalmakoff/baculo/baculo.html>.

KYNETEC. **Painel: Os números do mercado de bioinsumos no Brasil e no mundo. Quanto vale a transição para uma agricultura mais sustentável?**. *In*: BIO SUMMIT Brasil, Campinas, São Paulo. 2025.

MAIS AGRO. **Inimigo Oculto: nematoides e doenças na cultura do algodão**. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/dia-a-dia-do-campo/inimigo-oculto-nematoides-e-doencas-na-cultura-do-algodao/>. Acesso em: 24/04/25.

MANZANILLA-LÓPEZ, R.H.; ESTEVES, I.; DEVONSHIRE, J. Biology and management of *Pochonia chlamydosporia* and plant-parasitic nematodes. *In*: MANZANILLA-LÓPEZ, R.; LOPEZ-LLORCA, L. (Ed.). **Perspectives in sustainable nematode management through *Pochonia chlamydosporia* applications for root and rhizosphere health**. Cham: Springer, 2017. (Sustainability in Plant and Crop Protection). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-59224-4_3. Acesso em: 09 abr. 2025.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 03/04/2025

MASCARIN, G.M.; JARONSKI, S.T. The production and uses of Beauveria bassiana as a microbial insecticide. **World J. Microbiol. Biotechnol**., 32(11):177, 2016.

MEDEIROS, F.H.V.; SILVA, J.C.P.; PASCHOLATI, S.F. Controle biológico de doenças de plantas. In: AMORIN, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO. (Eds.). **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018. v. 2, p. 261-274.

PEREIRA, A.E.; HUYNH, M.P.; PADDOCK, K.J.; RAMIREZ, J.L.; CARAGATA, E.P.; DIMOPOULOS, G.; KRISHNAN, H.B.; SCHNEIDER, S.K.; SHELBY, K.S.; HIBBARD, B.E. *Chromobacterium* Csp_P biopesticide is toxic to larvae of three Diabrotica species including strains resistant to *Bacillus thuringiensis*. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2022.

SANTIN, R.C.M. PÂMELLA CHAVES ORTIZ, P.C.; PEREIRA, W.V.; GUTERRES, C.W. Importância do controle de qualidade de produtos biológicos. **Revista Plantio Direto** Digital, 2022.

Lício Augusto Pena de Sairre
Amipa

Daniel Bruxel
Amipa

Carlos Alberto Domingues da Silva
Embrapa Algodão

Raul Porfírio de Almeida
Embrapa Algodão

José Geraldo Di Stefano
Embrapa Algodão

Fauze Elias Pena de Sairre
Amipa

José Lusimar Eugênio
Amipa

Lindomar Gonçalves dos Reis
Amipa

Alerrander Victor Alves Santos
Amipa

Thalita Horrane da Silva Suura
Amipa

Flavio Lemes Fernandes
UFV

CAPÍTULO 7.5

Controle Biológico com Macrorganismos

Capítulo publicado na edição 2025.

Introdução

O controle biológico é definido como a ação de parasitóides, predadores e/ou patógenos que afetam a densidade populacional de outros organismos, cuja ação seria menos efetiva em relação à que ocorreria na sua ausência (DeBach, 1964). Este fenômeno natural, além de regular a população de outros organismos, pode, às vezes, erradicá-los de um determinado ecossistema, aproveitando as interações ecológicas naturais em seu benefício. O controle biológico é considerado uma das táticas do Manejo Integrado de Pragas (MIP) mais importantes, que têm por objetivo suprimir a população de artrópodes-praga, ervas daninhas e doenças, bem como os danos causados por eles sem o uso de agroquímicos, na proteção das culturas agrícolas e florestais (Berti Filho & Macedo, 2010; Stenberg, 2017; Jeffers & Chong, 2021).

A demanda por soluções de biocontrole cresceu rapidamente nos últimos anos, principalmente devido à pressão associada às mudanças climáticas e aos impactos ambientais que pesam sobre a agricultura moderna, tornando-se o futuro paradigma para a proteção dos cultivos agrícolas (Baratange *et al.*, 2023). Além disso, sua consolidação tem se afirmado como tecnologia viável, com a utilização de drones (veículos aéreos não tripulados – VANT), que possibilita a liberação dos agentes de controle biológico em áreas extensas de produção, refroçando sua verdadeira importância no MIP (Almeida *et al.*, 2021).

Entre os diferentes bioinsumos com novas classificações, terminologias e mecanismos de ação distintos, destacamos, neste capítulo, a utilização de inimigos naturais como estratégia para o controle de insetos-praga. A Amipa – Associação Mineira dos Produtores de Algodão, por meio de sua filial tecnológica, Biofábrica Amipa, apresenta os trabalhos desenvolvidos nas últimas 12 safras com a produção massal de macrorganismos parasitóides e predadores, bem como a liberação em larga escala nas lavouras de algodão, café, soja, milho, tomate industrial, entre outras.

1. Principais macrorganismos utilizados no Brasil

No Brasil, os principais macrorganismos utilizados como agentes de controle biológico de pragas agrícolas e florestais são as vespas parasitoides, *Cotesia flavipes* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae) (Figura 1A), *Jaliscoa grandis* Burks, 1954 (Hymenoptera: Pteromalidae) (Figura 1B), *Palmistichus elaeisis* Delvare e LaSalle, 1993 (Figura 1C), *Trichospilus diatraeae* (Cherian & Margabandhu, 1942) (Figura 1D), *Tetrastichus howardi* (Olliff, 1893) (Hymenoptera: Eulophidae) (Figura 1E), *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 e *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Figura 1F), *Trissolcus basalis* Wollaston, 1858 (Hymenoptera: Platygastridae) (Figura 1G), *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Scelionidae); os percevejos predadores, *Orius insidiosus* (Say, 1832) (Heteroptera, Anthocoridae) (Figura 1H) e *Podisus nigrispinus* Dallas, 1851 (Heteroptera: Pentatomidae) (Figura 1I); o crisopídeo *Chrysoperla externa* Hagen, 1861 (Neuroptera: Chrysopidae) (Figura 1J); as joaninhas, *Cryptolaemus*

montrouzieri Mulsant, 1850 e Olla v-nigrum Mulsant, 1866 (Coleoptera: Coccinellidae); os ácaros predadores, *Amblyseius tamatavensis Blommers*, 1974, *Neoseiulus californicus* McGregor, 1954 (Figura 1K), *Phytoseiulus macropilis* Banks, 1905 (Acari: Phytoseiidae) e *Stratiolaelaps scimitus* Womersley, 1956 (Acari: Laelapidae) e; os nematoides *Deladenus siricidicula* Bedding, 1968 (Nematoda: Tylenchida), *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1975 (Nematoda: Heterorhabditidae) e *Sterneinema puertoricense* Román e Figueroa, 1994 (Nematoda: Steinernematidae) (Figura 1L).

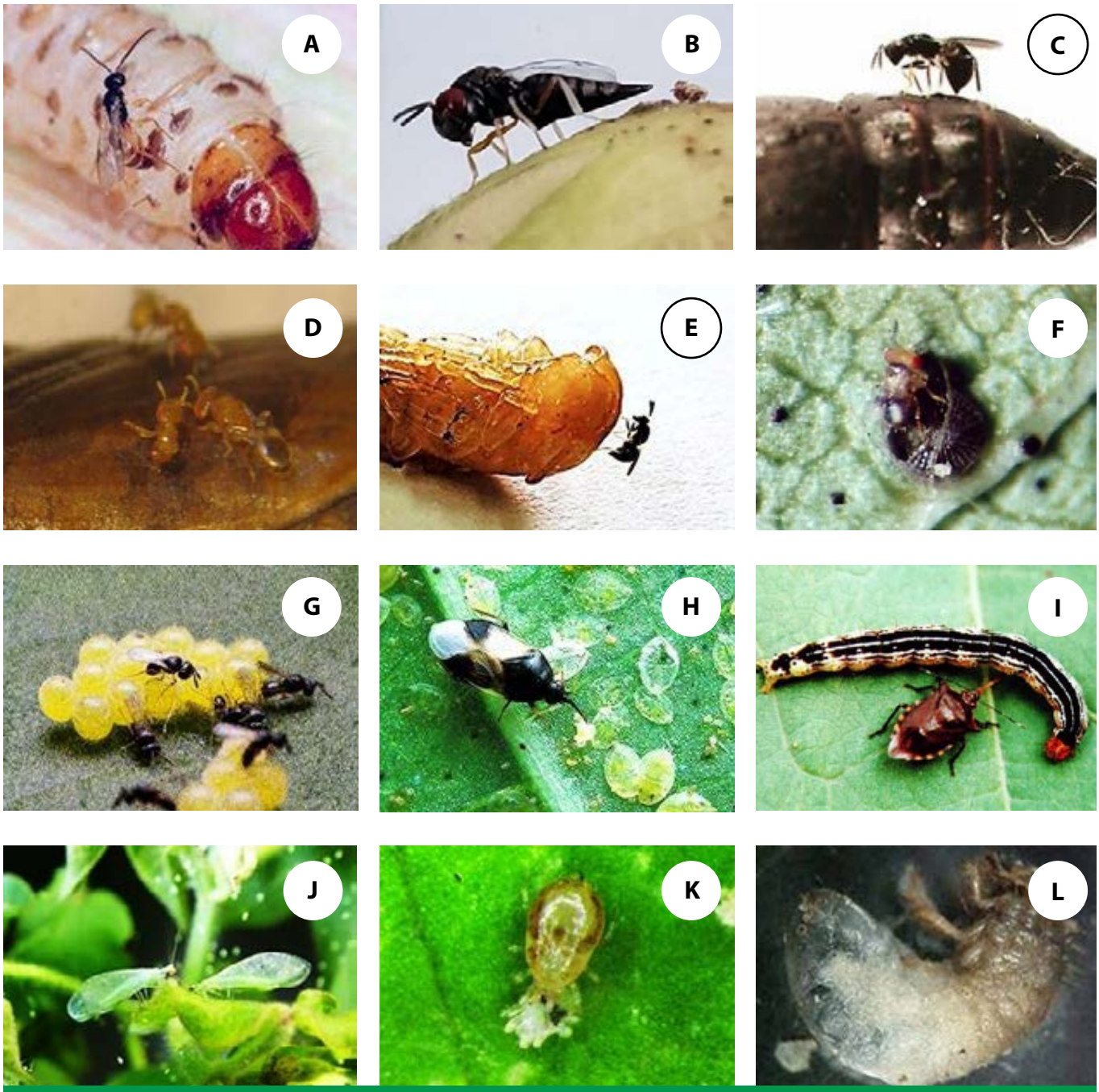


Figura 1. Vespas parasitoides: *Cotesia flavipes* parasitando larva de *Diatrae saccharalis* (A), *Jaliscoa grandis* sobre botão floral de algodão (B), *Palmistichus elaeisis* parasitando pupa de *Alabama argillacea* (C), *Trichospilus diatraeae* emergindo de pupa de *D. saccharalis* (D), *Tetrastichus howardi* parasitando pupa de *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1785) (Coleoptera: Tenebrionidae) (E), *Trichogramma pretiosum* parasitando ovos de *A. argillacea* (F), *Trissolcus basalis* parasitando ovos de *Nezara viridula* (G); predadores: *Orius insidiosus* predando ninfa de *Bemisia tabaci* (H), *Podisus nigrispinus* predando larva de *A. argillacea* (I), *Chrysoperla externa* sobre broto de algodão (J), *Neoseiulus californicus* predando *Tetranychus urticae* (K) e parasita: *Steinernema puertoricense* parasitando larva de Scarabaeidae (L)

2. Macrorganismos produzidos pela Biofabrica Amipa

A maioria dos macrorganismos usados como agentes de controle biológico são principalmente invertebrados, especificamente ácaros e insetos, referidos como parasitoides e predadores. No entanto, existem também macrorganismos como os nematoides entomopatogênicos (parasitas), de elevada relevância. A Biofábrica Amipa, por sua vez, produz de forma massal macrorganismos hospedeiros e inimigos naturais parasitoides e predadores (Figura 2)..

Os parasitoides são insetos que se desenvolvem sobre ou dentro de seu hospedeiro, sendo ectoparasitoides e endoparasitoides, respectivamente. Precisam somente de um hospedeiro para completar seu ciclo biológico, ou seja, da fase embrionária à emergência em adulto. Os parasitoides são diferentes de parasitas. O sufixo "oide" vem do grego e significa "que imita", ou seja, os parasitoides "imitam" alguns comportamentos de parasitas. A diferença entre eles é que os parasitoides sempre matam seus hospedeiros.

Os predadores são organismos insetívoros que consomem suas presas, sem utilizá-las como hospedeiro para seu desenvolvimento. Após o ataque, a presa pode ser consumida imediatamente por predadores mastigadores ou ingerida tão logo ocorra a liquefação de seus tecidos, como no caso dos predadores sugadores. Alguns predadores alimentam-se de presas em determinadas fases do ciclo biológico, como os pertencentes ao gênero *Chrysoperla*, que predam suas presas durante a fase imatura (larval).

A Associação Mineira dos Produtores de Algodão, por meio de sua filial tecnológica denominada Biofábrica Amipa, produz, em larga escala, os agentes biológicos parasitoides Trichogramma pretiosum Amipa® e Catolaccus Amipa®, além do agente biológico predador Crisopídeo Amipa®.

Figura 2. *Trichogramma pretiosum*; Crisopideo Amipa® e Catolaccus Amipa® agentes biológicos de pragas do algodoeiro (Fonte: Biofabrica Amipa)

Trichogramma pretiosum Amipa® (registro MAPA nº 40.517) é uma microvespa parasitoide, ordem Hymenoptera, altamente eficiente no controle de ovos de mariposas, sendo usada no controle das populações de pragas de *Spodoptera frugiperda, Spodoptera cosmioides, Spodoptera eridania, Chrysodeixis includens, Helicoverpa armigera, Anticarsia gemmatalis, Tuta absoluta*, entre outras lagartas da ordem Lepidoptera.

Crisopídeo Amipa® (registro MAPA nº 31.321) é um predador generalista e voraz, inseto da ordem Neuroptera, que controla com eficiência populações de pragas como pulgões, bicho-mineiro, lagartas de primeiro Ínstar, ácaros, cochonilhas, psilídeos e ninfas de mosca-branca.

Catolaccus Amipa® (registro MAPA nº 15.822) é uma vespa ectoparasitoide, ordem Hymenoptera, especialista no controle da larva do bicudo-do-algodoeiro, agindo dentro do botão floral de forma letal, matando e parasitando a praga.

3. Pesquisa e desenvolvimento de macrorganismos na Biofábrica Amipa em Uberlândia-MG

A mudança de paradigmas no controle de pragas com macrorganismos foi conquistada pela Amipa ao longo dos anos de aplicação da tecnologia a campo. Os treinamentos e capacitações constantes fazem parte da rotina de trabalho dos profissionais da Biofábrica Amipa visando à conscientização dos produtores, técnicos, agrônomos e consultores sobre a importância do uso dessa ferramenta no manejo integrado de pragas.

A sede da Biofábrica Amipa em Uberlândia, abriga uma unidade da Embrapa, através do contrato de cooperação técnica 10200.19/0024-6, e ainda mantém um profissional atuando na área de pesquisa e desenvolvimento de agentes biológicos (Figura 3), em sintonia com o laboratório de entomologia da Embrapa Algodão, em Campina Grande-PB, conforme a segunda cooperação técnica mantida entre ambas as instituições.

O investimento constante em inovação e automação trouxe à Biofábrica Amipa a plasticidade na produção em larga escala de inimigos naturais, permitindo atender qualquer demanda do mercado por agentes biológicos macrorganismos. O desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação, com drones adaptados a mecanismos dispensadores de ovos de insetos trouxe à Biofábrica Amipa o ganho de escala nas liberações a campo, atingindo a marca de 450 hectares por drone/dia de trabalho.

Em parceria técnica com a Universidade Federal de Viçosa, campus Rio Paranaíba-MG, é realizado e constantemente atualizado o estudo de seletividade de defensivos químicos aos diferentes estágios do ciclo de vida dos inimigos naturais. A tabela de seletividade lançada pela UFV e Amipa visa compatibilizar o uso conjunto de tecnologias de controle químico e biológico no manejo de pragas. Após oito anos de pesquisa, com validação em mais de 20 áreas produtivas, a tabela de seletividade permite conciliar o uso de mais de 60 produtos comerciais com inimigos naturais produzidos pela Biofábrica Amipa como o predador Crisopídeo Amipa®. A tabela contempla diversos produtos químicos, como inseticidas, fungicidas, adubos foliares e microrganismos entomopatogênicos, permitindo identificar as moléculas comerciais que prejudicam e as que não são nocivas ao inimigo natural, uma excelente ferramenta agronômica para a tomada de decisão de uso de produtos químicos, mantendo a eficiência dos inimigos naturais.

Figura 3. Treinamento de produtores de algodão em controle biológico com macrorganismos; prédio sede da Biofabrica Amipa em Uberlândia-MG e pesquisador da Embrapa algodão no laboratório da Biofábrica Amipa (Fonte: Biofabrica Amipa)

Experimentações agrícolas realizadas pelos agrônomos da Associação na Fazenda Experimental Amipa, em Patos de Minas-MG, nas propriedades dos produtores associados, e trabalhos de pesquisa publicados em periódicos e revistas científicas validam o uso das tecnologias biológicas produzidas pela Biofábrica, determinando as dosagens e a periodicidade de liberações de inimigos naturais conforme a praga a ser controlada (Figura 4 e 5).

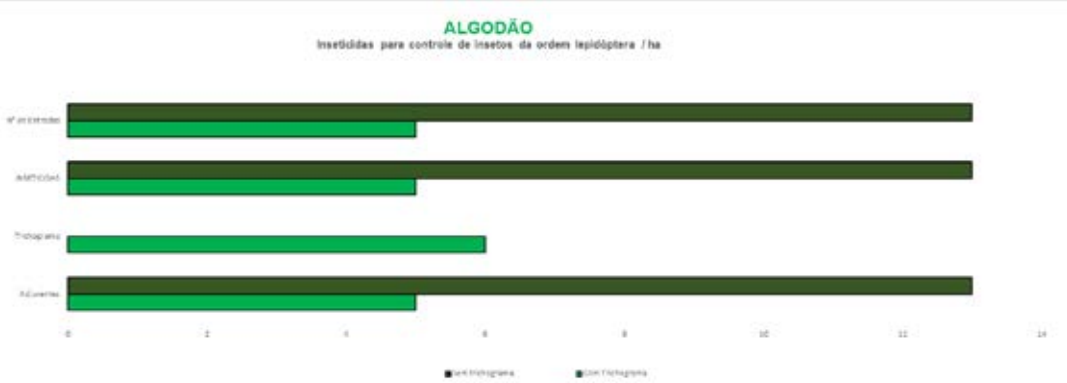


Figura 4. Gráfico comparativo de manejo de lepidópteros no algodoeiro com Trichogramma pretiosum Amipa® e manejo padrão com defensivos químicos (Fonte: Biofábrica Amipa)

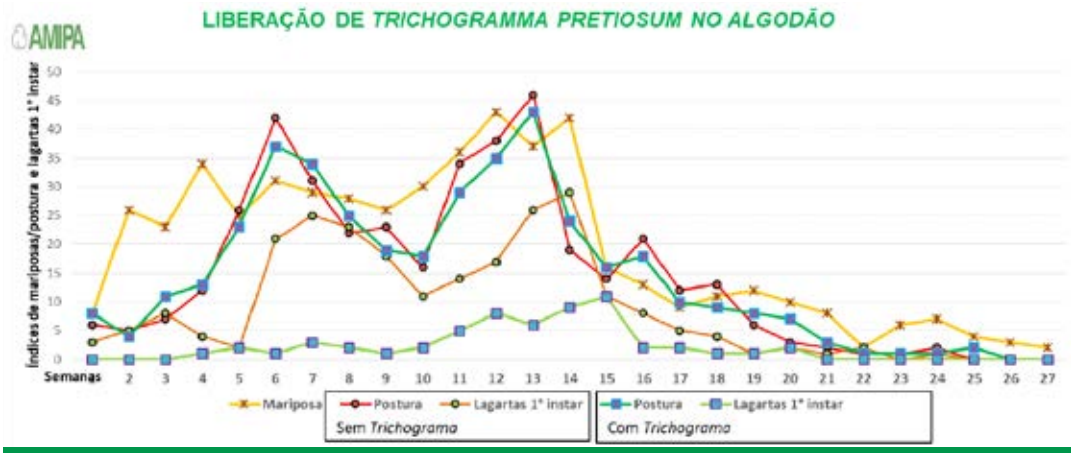


Figura 5. Gráfico comparativo de manejo de lepidópteros no algodoeiro com Trichogramma pretiosum Amipa® e manejo padrão com defensivos químicos (Fonte: Biofábrica Amipa)

3.1. Controle biológico de artrópodes-praga com parasitoides

O uso comercial de inimigos naturais em larga escala para o controle biológico aumentativo teve início na década de 1960, embora o primeiro registro de comercialização de parasitoides date de 1902, com a introdução de *Metaphycus lounsburyi* (Howard, 1898) (Hymenoptera: Encyrtidae) em Israel, para o controle de cochonilhas (Lenteren, 2012).

O mercado mundial de inimigos naturais, em 2016, foi estimado em pouco mais de US$ 2,5 bilhões, equivalente a 4% do mercado de agroquímicos. Das mais de 230 espécies de inimigos naturais comercializadas no mundo, 52% dos parasitoides (Hymenoptera) são utilizados em programas de controle biológico aumentativo (Lenteren, 2012; Laumann & Sampaio, 2020).

No Brasil, um dos principais casos de sucesso de controle biológico aumentativo é atribuído ao braconídeo *Cotesia flavipes* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae), para o controle da principal praga da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* Fabricius, 1794 (Lepidoptera: Crambidae). Este parasitoide, de origem asiática, foi introduzido no Brasil em 1974, oriundo de Trinidad e Tobago. Esta vespa tem o hábito de colocar seus ovos no interior das lagartas de *D. saccharalis* e, após a eclosão, suas larvas alimentam-se e matam o hospedeiro. Atualmente, *C. flavipes* é criado comercialmente em biofábricas, sendo liberado anualmente de maneira inundativa em uma área de, aproximadamente, 3,3 milhões de hectares de cana-de-açúcar (Rôdas *et al.*, 2019).

O parasitoide, *Jaliscoa grandis* Burks, 1954 (=*Catolaccus grandis*) (Hymenoptera: Pteromalidae), espécie exótica, tem sido avaliado no manejo do bicudo-do-algodoeiro *Anthonomus grandis* (Boheman) (Coleoptera: Curculionidae), desde a década de 90 no Brasil. O potencial reprodutivo e o comportamento de busca de fêmeas desse parasitoide são altos, de forma que ele localiza e parasita as larvas do bicudo dentro de botões florais caídos no solo, mesmo em baixas densidades do hospedeiro (Ramalho & Malaquias, 2015). Esse comportamento demonstra a importância de sua produção e o incremento das liberações como agente biocontrolador do bicudo nos agroecossistemas algodoeiros em todo o país. Esse parasitoide está sendo criado no laboratório de Entomologia da Embrapa Algodão e na Biofábrica da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (AMIPA), desde meados de março de 2021 até os dias atuais, por meio da execução de projetos de parceria envolvendo essas duas instituições (Figura 6). Essa parceria tem sido de fundamental importância não apenas para aprimorar a tecnologia de produção em massa de *J. grandis* na Biofábrica da AMIPA, mas também para validar a eficiência desse parasitoide no campo, razão pela qual esse insumo biológico foi registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como *Catolaccus* Amipa®. Atualmente, esse parasitoide está sendo liberado em pequenas áreas e propriedades rurais cultivadas com algodão nos estados de Minas Gerais e Paraíba.

Figura 6. Criação de *Jaliscoa grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae) no laboratório de Entomologia da Embrapa Algodão e na Amipa. Encapsulação de larvas do bicudo em parafilme (A); parafilme com larvas do bicudo parasitadas (B); sistema Felps Amipa de produção massal de ovos (C); criação de bicudo na Biofabrica Amipa (D); fêmea de *J. grandis* (E)

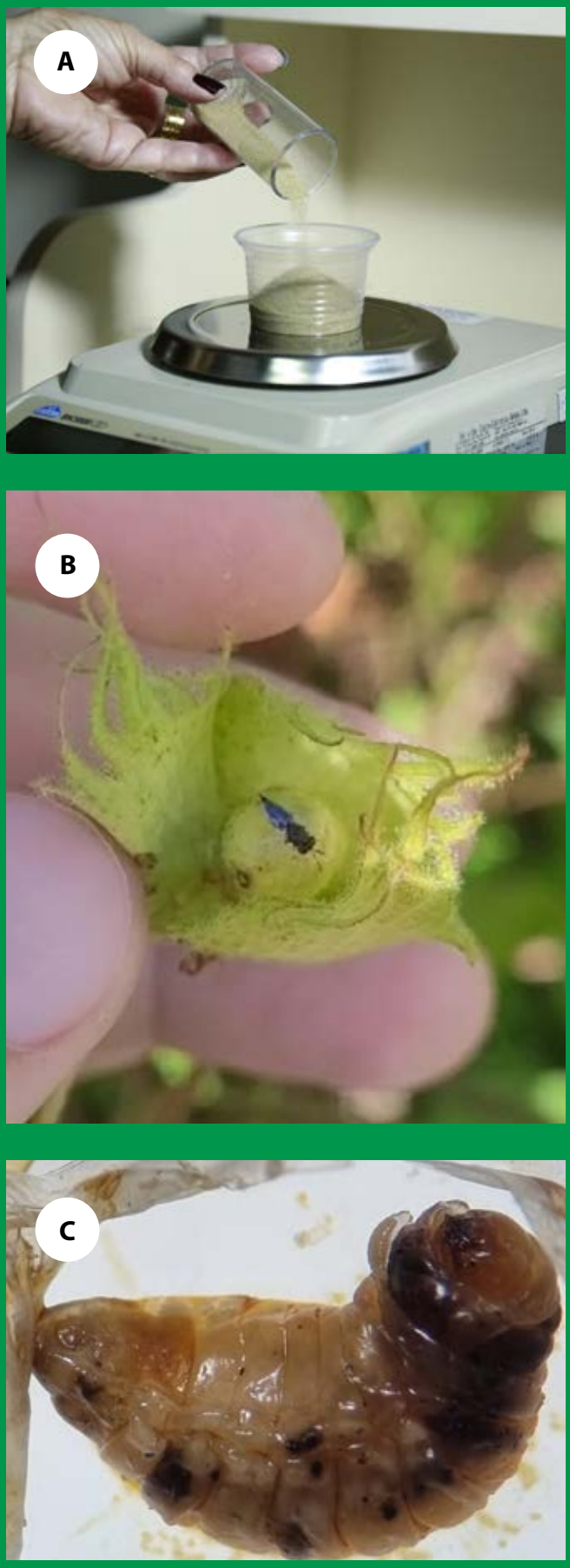


Figura 7. Ovos de *Ephestia kuehniella* prontos para o parasitismo do *Trichogramma pretiosum* (A); fêmea de Catolaccus Amipa® em botão floral do algodoeiro (B); larva de bicudo-do- algodoeiro parasitada por larva de Catolaccus Amipa® (C). (Fonte: Biofábrica Amipa)

A utilização de parasitoides do gênero *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para o controle de lepidópteros-praga agrícolas e florestais no Brasil também é um exemplo de sucesso, sendo um dos inimigos naturais mais utilizados em todo o mundo, ocorrendo em todas as regiões zoogeográficas, com cerca de 235 espécies (Pinto, 1999, 2006). Insetos do gênero *Trichogramma* são parasitoides exclusivos de ovos, principalmente da família Lepidoptera. Na safra 2013/2014, estima-se que foram liberadas espécies de *Trichogramma* em aproximadamente 750 mil hectares, demonstrando a importância desse micro-himenóptero para o controle de pragas agrícolas como parte dos programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) desenvolvidos no país (Parra *et al.*, 2015). As espécies *T. pretiosum, T. atopovirilia* e *T. galloi* apresentam, de modo geral, maior potencial de uso no Brasil. *Trichogramma pretiosum* tem sido utilizado principalmente para o controle de *Alabama argillacea* Hübner, 1818 e, *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae); *Ecdytolopha aurantiana* Lima, 1927 (Lepidoptera, Tortricidae); *Plutella xylostella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Plutellidae); *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith, 1797; e *Tuta absoluta* Meyrick, 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae), em lavouras de algodão, soja, citros, repolho, milho e tomate, respectivamente. Em 2010, *T. galloi* foi usado em 500 mil hectares de cana-de-açúcar para controlar a broca da cana-de-açúcar (Parra, 2014).

A Biofábrica Amipa produz em larga escala, desde a safra 2013/2014 até os dias atuais, o agente biológico registrado no MAPA como *Trichogramma pretiosum Amipa®*. Por meio de liberações de ovos do hospedeiro *Ephestia kuehniella* (Figura 7) parasitados com Trichogramma Amipa®, aplicados a campo via drones, já foram manejados, nas últimas 11 safras, mais

de 350.000 hectares de lavouras de algodão, soja, milho, ervilha, tomate, entre outras; controlando ovos de mariposas da ordem Lepidoptera.

3.2. Controle biológico de artrópodes-praga com predadores

O primeiro caso de sucesso de um predador como agente de controle biológico ocorreu em 1888, com a introdução da *Rodolia cardinalis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), proveniente da Austrália para os Estados Unidos, visando o controle da cochonilha *Icerya purchasi* Maskell (Hemiptera: Monophlebidae).

O predador *Orius insidiosus* Say, 1832 (Heteroptera, Anthocoridae) vem sendo utilizado com sucesso no controle de tripes e ácaros em plantios comerciais de flores e hortaliças em cultivos protegidos no Brasil e em programas de MIP, especialmente no Canadá, EUA e Europa. *Orius insidiosus* é capaz de suprimir populações de tripes em cultivos comerciais de crisântemo e gérbera. Nesta espécie vegetal, as ninfas do predador são encontradas duas semanas após sua liberação, sendo este capaz de reduzir em até 80% a população da praga (Parra & Coelho Junior, 2019).

O sucesso do percevejo predador *Podisus nigrispinus* Dallas, 1851 (Heteroptera: Pentatomidae) no controle biológico de lagartas desfolhadoras que atacam culturas como algodão, eucalipto, milho, soja, tomate e outras tem sido reconhecido no Brasil (Figura 8). *Podisus nigrispinus* tem ampla distribuição na região Neotropical, apresenta hábito de predação generalista e ataca principalmente larvas de insetos das ordens Lepidoptera e Coleoptera.

A espécie *C. montrouzieri* foi introduzida no Brasil em 1998 para o controle da cochonilha *Maconellicoccus hirsutus* Green, 1908 (Hemiptera: Pseudococcidae). Diversas empresas viabilizam a produção e comercialização dessa joaninha no país para o controle de cochonilhas farinhentas. Informações sobre a área liberada com este inimigo natural no Brasil não estão disponíveis, pois não há pesquisa ou dados oficiais. A utilização dessa espécie de joaninha

Figura 8. Criação de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) no laboratório de Entomologia da Embrapa Algodão: Larvas (A) e adultos (B) de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) utilizadas como presas alternativas para *P. nigrispinus*; recipientes plásticos com ninfas e adultos de *P. nigrispinus* (C); criação da presa alternativa mosca doméstica (D) e adultos de *P. nigrispinus* se alimentando de pupa de *T. molitor* (E)

é fundamental em pomares citrícolas do Estado de São Paulo e nos cultivos de videira de diversas vinícolas da região do Vale do São Francisco para o controle biológico de cochonilhas farinhentas (Gravena, 2003).

Ácaros predadores da família Phytoseiidae têm sido utilizados em diversas culturas para o controle do ácaro-rajado e outras espécies fitófagas. Os principais fitoseídeos produzidos de forma massal e comercializados no mundo são: *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, 1957, *Phytoseiulus macropilis* Banks, 1904, *Neoseiulus californicus* McGregor, 1954 e *Neoseiulus longispinosus* Evans, 1952 (Acari: Phytoseiidae). No Brasil, *N. californicus* e *P. macropilis* são as únicas espécies da família Phytoseiidae comercializadas e utilizadas por produtores de citros, morango, maçã, nectarina, pêssego e plantas ornamentais nos estados de Espírito Santo, Minas Gerais, Santa Catarina e São Paulo, para o controle de ácaros fitófagos (Fadini *et al.*, 2009).

A liberação de crisopídeos em plantações de algodão e cafeeiro é um exemplo recente do uso eficiente de predadores para o controle biológico do bicho-mineiro, pulgões, moscas-branca, ácaros, cochonilhas e lagartas de primeiro instar de lepidópteros-praga (Figura 9). A Biofábrica da AMIPA foi pioneira na produção massal e liberação no campo desse predador, primeiro produto no Brasil registrado na Anvisa, Ibama e MAPA como Crisopídeo Amipa®. Estima-se que foram liberados por drone, nos últimos três anos (2022 a 2024), uma média anual de 30 milhões de ovos de *Chrysoperla externa* Hagen, 1861 (Neuroptera: Chrysopidae) em lavouras orgânicas e convencionais de café e algodão no Estado de Minas Gerais. Nessa região, as lavouras de café infestadas pelo bicho-mineiro e tratadas com *C. externa* obtiveram alta eficiência de controle, com reduções expressivas na população dessa praga. O sucesso no uso de crisopídeos foi fundamentado em estudos de taxonomia, biologia e ecologia do predador e do inseto-praga, assim como em pesquisas sobre seletividade de agroquímicos e manipulação ambiental, via parceria da AMIPA com a Embrapa e a Universidade Federal de Viçosa, possibilitando a conservação desse inimigo natural em campo.

3.3. O trabalho da Biofábrica Amipa na produção e liberação massal de inimigos naturais na agricultura

A Biofábrica Amipa foi criada para produzir ferramentas de manejo biológico através da pesquisa, desenvolvimento e produção de macrorganismos para o controle de pragas. Nascida em 2013 na cidade de Uberlândia-MG, essa filial tecnológica da Associação Mineira dos Produtores de Algodão tirou dos artigos científicos para o cenário agrícola a possibilidade de usar inimigos naturais para o controle de pragas. A inovação do uso de

Figura 9. Crisopídeo Amipa® nas fases adulta (A), larval (B) e ovo (C). (Fonte: Biofabrica Amipa)

drones com dispensadores de ovos desenvolvidos pela própria Amipa (Figura 10) revolucionou a tecnologia de liberação a campo de ovos de parasitóides e predadores no Brasil e em outros países, ganhando escala e cobrindo grandes áreas de cultivo. O pioneirismo no desenvolvimento do drone e dispenser de ovos, em parceria com a empresa Xfly de Bauru-SP, rendeu à Amipa em 2017 o prêmio "Inovação na Agricultura" no Congresso Drone Show realizado em São Paulo-SP. Em outro momento, o evento "Pontes para Inovação" realizado pela Embrapa em 2020, no Agtech Garage em Piracicaba-SP, trouxe reconhecimento nacional para a Biofabrica Amipa, sendo eleita como uma das startups mais inovadoras do país. Todo esse reconhecimento da comunidade científica foi fruto de muito trabalho, pesquisas e inovações a campo, com a coragem de encarar o desafio de produzir em larga escala, a nível industrial, insetos benéficos que até então só eram possíveis em nível de laboratório ou através de pequenas biofábricas com produção artesanal. Com a experiência adquirida ao longo dos anos, a Biofábrica Amipa ditou ao mercado as dosagens utilizadas em campo e os manejos em equilíbrio com químicos seletivos, desenvolvendo metodologia própria assertiva e de alta eficácia no controle de pragas. A Biofábrica Amipa foi a primeira empresa a registrar o predador Crisopídeo como agente biológico comercial e utilizado atualmente para o controle de ácaro, pulgão, ninfas de mosca branca, lagartas de primeiro instar, psilídeos e bicho mineiro. O propósito da Biofabrica Amipa em continuar na busca de soluções vindas da natureza para o controle de populações de pragas continuou firme e surpreendeu o mercado ao registrar em 2022, na ANVISA, IBAMA e MAPA o primeiro agente biológico exclusivo para o controle do bicudo do algodoeiro, o Catolaccus Amipa®.

Com agrônomos treinados em monitoramento de pragas e pilotos de drones credenciados pela ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil, o trabalho da Biofábrica Amipa consiste em introduzir os inimigos naturais nos manejos de controle de pragas em diferentes culturas do sistema produtivo, onde está introduzido o algodão, migrando produtos químicos de choque e maior impacto ambiental por produtos seletivos, buscando ao longo do tempo o equilíbrio da entomofauna no ambiente das lavouras e reduzindo a migração de pragas de outras culturas para o algodão. De olho na proteção de moléculas químicas de interesse do setor produtivo e também nos OGMs, o uso de macrorganismos tem trazido ao sistema o benefício do controle das populações de pragas eventualmente resistentes às moléculas químicas e proteínas transgênicas, trazendo maior resiliência ao sistema e aumento da sobrevida das tecnologias.

Na safra 2024/2025, em Minas Gerais, há a expectativa de liberação massal de macrorganismos em 80.000 hectares de lavouras entre algodão, soja, milho, feijão, ervilha, tomate industrial, eucalipto e café.

Figura 10. Drone da Amipa liberando ovos de macrorganismos em lavouras de algodão (Fonte: Biofábrica Amipa)

4. Desafios e perspectivas

Nas décadas de 1980 e 1990, a introdução e utilização dos macrorganismos promoveu um grande impacto na agricultura, provavelmente devido a muitos fatores, dentre os quais a sua novidade, o interesse crescente no biocontrole como um componente do Manejo Integrado de Pragas, e alguns exemplos de sucesso obtidos nas décadas anteriores. O controle biológico com macrorganismos representa, atualmente, cerca de 20% do mercado de insumos biológicos utilizados para o controle de artrópodes-praga associados às principais espécies vegetais cultivadas no Brasil.

Apesar disso, a utilização de biocontroladores requer técnicas e conhecimento especializado, sem o qual levará a tentativas amadoras de sua utilização. Produtos biológicos baseados em micro- ou macrorganismos e direcionados ao controle de pragas devem ser de boa qualidade, independentemente do tamanho e tipo de instalação que os produz. Profissionais habilitados são essenciais para o correto uso dos macrorganismos, de modo a evitar uma visão distorcida que prejudique a imagem do controle biológico, mesmo com o aumento de sua utilização (Parra, 2023).

As técnicas de produção em massa necessárias para criar milhões de insetos e ácaros começaram a ser automatizadas há poucos anos, uma vez que 70-80% do custo de produção é alocado para a força de trabalho, o que requer investimentos do setor público e privado para acelerar o processo de automação das biofábricas. Um fator favorável na produção desses agentes de biocontrole foi o aumento do número de profissionais com expertise em controle biológico, especialmente nos últimos 60 anos de programas de pós-graduação no Brasil, ao mesmo tempo em que houve crescimento no investimento de instituições ou centros relacionados ao controle biológico, incluindo Embrapii (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial), INCT (Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia), Bioinsumos na Embrapa, SPARCBio (Centro de Pesquisa Avançada em Controle Biológico de São Paulo) e patrocinado pela FAPESP, KOPPERT e USP (Parra, 2023) e a Biofábrica Amipa com recursos do IBA – Instituto Brasileiro do Algodão, Proalminas – Programa Mineiro de Incentivo à Cultura do Algodão, Fundo Algominas e principalmente recursos aportados pelos próprios produtores de algodão do Estado de Minas Gerais.

O avanço do controle biológico de artrópodes-praga com macrorganismos no Brasil dependerá, portanto, do compartilhamento de conhecimentos sobre soluções de biocontrole e da conscientização dos produtores sobre a importância deste tipo de proteção às culturas agrícolas, sendo esta tática de grande importância para o equilíbrio dos agroecossistemas, estando alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS). Nesse sentido, a implementação de políticas públicas e o envolvimento do setor privado como cofinanciadores das instituições de pesquisa e inovação do país é fundamental para a aceleração do processo de automação da produção de macrorganismos no Brasil.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, R.P. de; SAIRRE, F.E.P. de; STEFANO, J.G. DI. Controle qualitativo. **Revista Cultivar – Grandes Culturas**, n. 267, p. 38-40, 2021.

ARRIGONI, E.B.; DINARDO, L.L.; CONDE, A.J.; TERÁN, F.O. Aplicação de *Neoplectana carpocapsae* Weiser, 1955 em condições de campo para o controle de *Migdolus* spp. (Coleoptera: Cerambycidae). **Nematologia Brasileira**, v. 8, p. 181-189, 1986.

BARATANGE, M.; CARDOSO, J.; ROBINAND, D.C.; MARCHAND, P.A. Implementation of biocontrol macro-organisms in France. **Ecologies**, v. 4, pp. 478-498, 2023. https://doi.org/10.3390/ ecologies4030031

BERTI FILHO, E.; MACEDO, L.P.M. **Fundamentos de controle biológico de insetos-praga**. Natal: Instituto Federal Rio Grande do Norte Editora, 2010. 108p.

DEBACH, P. **Biological control of insect pests and weeds**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1964. 844 p.

DOLINSKI, C. DE M. Controle de artrópodes-praga com nematoides entomopatogênicos, p. 275-288. In: Fontes, E.M.G.; Valadares-Inglis, M.C. (eds). **Controle biológico de pragas na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 510p.

FADINI, M.A.M.; PALLINI, A.; VENZON, M.; OLIVEIRA, C.M. Uso de ácaros predadores para o controle biológico de ácaros-praga. **Informe Agropecuário**, v.30, n.251, p.34-40, 2009.

GRAVENA, S. Manejo ecológico da cochonilha branca, com ênfase no controle biológico pela joaninha *Cryptolaemus montrouzieri*. **Laranja**, v. 24, n. 1, p. 71-82, 2003.

IEDE, E.T.; PENTEADO, S.R.C.; REIS FILHO, W. Uso do entomopatógeno, *Deladenus siricidicola*, em Pinus. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, 24, 2003, Petrolina. **Anais**...Petrolina: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2003. p. 47-49.

JEFFERS, D.H.; CHONG J. **Biological control strategies in integrated pest management (IPM) Programs**. Clemson (SC): Clemson Cooperative Extension, Land-Grant Press by Clemson Extension, 2021. https://lgpress.clemson.edu/publication/biological-control-strategies-in-integrated-pest-management-ipm-programs/

LAUMANN, R.A.; SAMPAIO, M.V. Controle de artrópodes-praga com parasitoides, p. 65-112. In: Fontes, E.M.G.; Valadares-Inglis, M.C. (eds). **Controle biológico de pragas na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 510p.

LENTEREN, J.C. VAN.; BOLCKMANS, K.; KÖHL, J.; RAVENSBERG, W.J.; URBANEJA, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **Biocontrol**, v. 63, p. 39-59, 2018. https://doi/10.1007/s10526-017-9801-4

LENTEREN, J.C. VAN The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. **Biocontrol**, v. 57, n. 1, p. 1-20, 2012. https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1

MENDES, S.M.; BUENO, V.H.P.; CARVALHO, L.M.; REIS, R.P. Custo da produção de *Orius insidiosus* como agente de controle biológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. .40, n.5, p.441-446, 2005. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000500050003

MONTEIRO, L.B.; DOLL, A.; BOEING, L.F. Densidade de *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) (Acari: Phytoseiidae) no controle do ácaro-vermellho da macieira, Fraiburgo-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.4, p. 902-906, 2008. https://doi.org/10.1590/s0100-29452008000400011

NAVIA, D.; CASTILHO, R.C.; MORAES, G.J. Controle de artrópodes-praga com ácaros predadores, p. 141-166. In: Fontes, E.M.G.; Valadares-Inglis, M.C. (eds). **Controle biológico de pragas na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 510p.

PARRA, J.R.P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 420–429, 2014. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0167

PARRA, J.R.P. Biological control in Brazil: state of art and perspectives. **Scientia Agricola**, v.80, e20230080, 2023. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2023-0080

PARRA, J.R.P.; COELHO JUNIOR, A. Applied Biological Control in Brazil: From Laboratory Assays to Field Application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 1-6, 2019. https://doi.org/10.1093/ %20jisesa/iey112

PARRA, J.R.P.; PINTO, A. DE S.; NAVA, D.E.; OLIVEIRA, R.C. DE; DINIZ, A.J.F. **Controle Biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira**. 1° Edição. Piracicaba. FEALQ, 2021. 592 p.

PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; COELHO JR., A.; GEREMIAS, L.D.; CONSOLI, F.L. *Trichogramma* as a tool for IPM in Brazil. p. 472-496. In: Vinson, S.B.; Greenberg, S.M.; Liu, T.; Rao, A.; Volosciuk, L.F. (eds). **Augmentative biological control using *Trichogramma* spp.: current status and perspectives**. Yangling: Nothwest A & F University Press, 2015.

PINTO, J.D. A review of the New World genera of Trichogrammatidae (Hymenoptera). **Journal of Hymenoptera Research**, v. 15, p. 38-163, 2006.

PINTO, J.D. The systematics of the North American species of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Memoirs of the Entomological Society of Washington**, v. 22, p. 1-287, 1999.

RAMALHO, F.S.; MALAQUIAS, J.B. Controle biológico do bicudo-do-algodoeiro. p. 155-181. In: Belot, J.L. (Ed.) **O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boh., 1843) nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. IMAmt; Cuiabá, 2015. 254p.

RÔDAS, P.L.; OLIVEIRA, H.N. DE; GLAESER, D.F. Liberação do parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) em *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) na cana-de-açúcar. **Interciencia**, v. 44, n. 5, p. 287–290, 2019.

SÁ, L.A.N.; WILCKEN, C.F. **Nova Praga Exótica no Ecossistema Florestal**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 3 p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 18).

STENBERG, J.A. A conceptual framework for integrated pest management. **Trends in Plant Science**, v. 22, p. 759–769, 2017. https://doi.org/10.1016/j.plants.2017.06.010

SUGUIYAMA, A.M.; MOREIRA, G.C. Mensuração dos custos de laboratório para produção da vespa *Cotesia flavipes* – inimigo natural da broca da cana-de-açúcar na Usina Naviraí SA: uma análise comparativa. **Revista IPecege**, v. 1, n. 2, p. 79-97, 2015. https://doi.org/10.22167/ r.ipecege.%202015.2.79

SUSANO. Relatório de sustentabilidade, p. 14. In: **Resumo estratégico**. 2024. relatoriosuzano@su zano.com.br

TORRES, J.B.; ZANUNCIO, J.C.; MOURA, M.A. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: biology, ecology and augmentative releases for lepidopteran larval control in Eucalyptus forests in Brazil. **CABReviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v.15, p. 1-18, 2006. https://doi.org/10.1079/PAVSNNR200611015

Evaldo Kazushi Takizawa
Consultor

CAPÍTULO 7.6

Sistemas agroecológicos de manejo e indicadores de sustentabilidade no cultivo do algodão no Cerrado brasileiro

Capítulo publicado na edição 2025.

O conceito central deste capítulo consiste em adotar a abordagem de fazer o certo, pelas razões adequadas e no momento oportuno. A intenção não é julgar o sistema de produção agrícola do algodão no Cerrado Brasileiro, mas sim evidenciar a necessidade de ajustes em um cenário onde o sistema atual mostra sinais de exaustão, refletidos na alta dependência de insumos e no crescimento exponencial dos problemas fitossanitários e ambientais.

A escolha do problema desejado para o futuro será um dos orientadores, uma vez que qualquer atividade humana traz uma mudança no ecossistema natural e, diante desta premissa, com o conhecimento científico agronômico será possível avaliar o contexto único de cada agricultor, sua propriedade e o ambiente de produção agrícola do algodão.

A consideração da assimetria entre ganhos imediatos e perdas futuras será o valor para modular os sistemas agroecológicos de manejo e o indicador de sustentabilidade no cultivo do algodão no Cerrado Brasileiro, deixando claro a opção do saldo positivo sustentável a longo prazo como a escolha das práticas de manejo das lavouras.

A criação de um sistema de produção agrícola do algodoeiro no Cerrado pode se fortalecer com as intempéries ambientais, tornando-se mais resiliente com a capacidade de se beneficiar de eventos climáticos extremos, resgatando as características originais do algodoeiro de locais áridos e com diversas relações ecológicas de cooperação com fungos micorrízicos, bactérias, polinizadores e outros organismos vivos benéficos.

O algodão, ao ser considerado como solução para desafios ambientais, destaca-se por sua abordagem inovadora e criativa. Para o agricultor, representa a oportunidade de estabelecer um diálogo construtivo com defensores do meio ambiente. Além disso, como subproduto agrícola ainda pouco explorado, oferece espaço para o desenvolvimento tecnológico adaptado a regiões tropicais, com elevado potencial de disseminação. Esse avanço pode contribuir significativamente para a segurança climática global, promovendo práticas sustentáveis e agregando valor à produção agrícola.

1. Introdução

O algodão tem sido historicamente associado a desafios ambientais, mas, quando cultivado dentro de um sistema agroecológico bem planejado, ele pode se tornar parte da solução para a regeneração do solo, conservação da biodiversidade e mitigação dos impactos climáticos. No Cerrado, um dos biomas mais pressionados pela expansão agrícola, o cultivo do algodão sustentável pode desempenhar um papel essencial na construção de agroecossistemas resilientes, promovendo uma relação equilibrada entre produção e conservação ambiental.

1.1. O algodão no Cerrado: importância econômica e desafios ambientais

A expansão do cultivo do algodoeiro no Cerrado Brasileiro trouxe prosperida-

de econômica e social para essas regiões, fato que pode ser facilmente comprovado quando se conhece tais locais. Porém, muitos efeitos adversos acompanham esse desenvolvimento, principalmente na área ambiental, com destaque para os danos causados pelas ações hidrológicas, como a erosão pluvial que escava córregos, forma ravinas e voçorocas e acelera a transitoriedade do ciclo hidrológico.

Figura 1. Vegetação de Cerrado típico pouco perturbado (Fonte: E.K. Takizawa)

1.2. A transição do manejo convencional para sistemas agroecológicos

O sistema de produção do algodão convencional não pode ser condenado. Esse sistema teve sua importância no processo de implantação do algodão nas regiões pioneiras e, ainda hoje, é recomendável nos locais onde a correção dos atributos de fertilidade do solo distrófico do Cerrado precisa ser realizada.

A principal falha do sistema convencional reside na desconsideração dos critérios agronômicos específicos para esse tipo de cultivo, em que as medidas de conservação são indispensáveis e obrigatórias para todos, inclusive nas áreas planas com baixo risco de erosão.

O uso de cobertura vegetal anterior ao cultivo do algodão ou de outra cultura antecessora para formação da proteção do solo é outra medida fundamental após a movimentação do solo, com objetivo de reduzir a evaporação e a perda de água do solo.

A implementação de sistemas agroecológicos representa um desafio complexo, que exige a conscientização dos agricultores e esbarra na falta de dados específicos, pois não há um método único que consiga abranger, de maneira segura, a diversidade dos locais de cultivo do algodão.

Atualmente, o paradigma de sistema agroecológico de manejo do algodão representa a meta a ser alcançada, evidenciando um amplo potencial para o avanço de pesquisas e a implementação efetiva desse conceito.

1.3. O princípio do fazer certo pela razão certa no momento certo aplicado à cotonicultura

A palavra "princípio" remonta à ideia de um núcleo indivisível e inegociável. São como leis universais regidas pela natureza. Fazer certo su-

Figura 2. Presença de sapos em lavouras de algodão (Fonte: E.K. Takizawa)

gere obedecer ao ritmo natural e aos ciclos da natureza. A razão certa é ser membro da natureza nas relações ecológicas harmônicas. Como a dimensão do tempo na natureza é intrínseco a todos os eventos abióticos e bióticos, executar as práticas de manejo das lavouras em tempo certo é fundamental para promover o ciclo virtuoso da conversão da energia solar em produção de fibras e sementes.

1.4. Analisando a escolha do problema: qual algodão queremos para o futuro?

Os efeitos colaterais são inerentes a toda atividade agrícola humana, inclusive o cultivo do algodoeiro. Como esse reflexo é natural, cabe ao produtor entender quais são os impactos negativos e os riscos que serão assumidos, em vez de se deixar seduzir pelas vantagens do sistema de cultivo do algodão com retorno imediato.

Neste tópico, o elemento tempo tem papel relevante. Quando se trata de escolher o método de cultivo, é preciso definir o tempo de permanência ao qual estamos intencionados, ou seja: pretende-se ser sustentável por quantos anos ou safras?

1.5. Criando um sistema produtivo que se fortaleça com as intempéries ambientais

A expectativa do clima cada vez mais extremo é mundialmente tratada em fóruns sobre mudanças climáticas. Com essas predições, é possível criar sistemas produtivos resilientes que se beneficiem de períodos de estiagem e chuvas intensas, desde que haja a capacidade de retenção dessa água e armazenamento no solo, além de buscar conforto térmico para a planta.

1.6. O algodão como solução ambiental: da degradação à regeneração do Cerrado

A implementação do sistema agroecológico de manejo, conforme os tópicos anteriores, pode ser sumarizada como a solução ambiental. A jornada da degradação à regeneração será longa, com direção ao futuro do Cerrado Brasileiro e tendo o algodoeiro como protagonista principal.

2. O contexto do Cerrado brasileiro para o cultivo do algodão

2.1. Clima, solo e desafios do bioma Cerrado

O Cerrado brasileiro tem peculiaridades a serem consideradas. O clima

Figura 3. Coruja presente numa lavoura de algodão (Fonte: E.K. Takizawa)

sazonal, seus solos e os desafios do bioma impõem ao algodoeiro cultivado, sendo ela uma planta exótica, dificuldades adaptativas com muitas limitações, das quais várias dependem da contribuição de defensivos agrícolas, corretivos e fertilizantes. Assim, o extremismo, como se houvesse uma linha divisória entre o certo e o errado, deve ser ponderado.

No sistema agroecológico de manejo, implementar todas as técnicas ecologicamente aceitas será uma medida gradativa de adoção, com ações customizadas na era da personalização que o futuro nos reserva.

2.2. Impactos do manejo convencional: erosão, compactação e dependência de insumos externos

Os indicadores-chave de performance no manejo convencional podem ser mensurados pela erosão, compactação e dependência de insumos externos, e os impactos provocam a redução da produção agrícola, estagnada ou em declínio.

2.3. O potencial do Cerrado para sistemas agroecológicos bem planejados

A incidência de radiação solar no Cerrado Brasileiro é a fonte de energia para o potencial de produtividade do algodão. Essa luz, combinada à generosa oferta de água das chuvas ou dos corpos hídricos, e quando o cultivo é planejado no tempo certo e com as práticas culturais agroecológicas adequadas, reflete-se em altos níveis de produtividade de pluma e sementes de alta qualidade.

2.4. Assimetria entre ganhos imediatos e perdas futuras

O ganho imediato é tentador do ponto de vista econômico, mas, frequentemente, as perdas futuras são maiores e irreversíveis quando ocorrem. Essa assimetria, como balizador para as ações da agroecologia, pode ser um degrau importante a ser considerado no processo de implementação de um sistema agroecológico de manejo das lavouras de algodão.

O impacto da busca por alta produtividade sem planejamento sustentável, a exaustão do solo e o aumento da vulnerabilidade econômica indicam como a decisão presente define os desafios da próxima safra.

2.5. Transformando desafios ambientais em vantagens produtivas

O sistema agrícola pode se fortalecer com períodos de seca e chuvas intensas. Estes dois elementos do clima são essenciais para a fotossíntese e o potencial de produtividade do algodão, desde que os impactos negativos sejam amortecidos e transformados em ganhos.

A característica original do algodoeiro é suportar longos períodos de seca, e isso é possível graças ao profundo sistema radicular pivotante e à sua adaptação a locais áridos com temperaturas elevadas. As chuvas volumosas e de alta

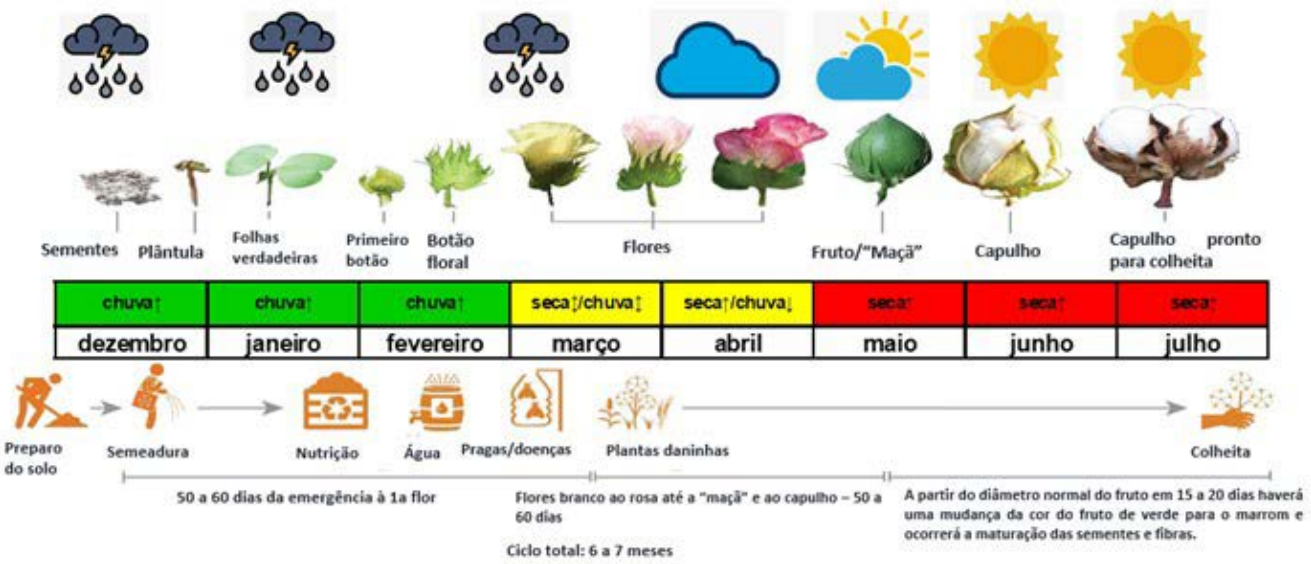


Figura 4. Ciclo típico e tratos culturais do algodoeiro no Cerrado Brasileiro (Fonte: E.K. Takizawa)

intensidade podem contribuir para reposição da água no solo quando ele possui alta capacidade de percolação e drenagem, além de proteções contra a perda de água por evaporação.

Quando a planta é capaz de explorar um grande volume de solo, também fica disponível maior volume de água e nutrientes e, com associações simbióticas da planta com diversos tipos de organismos, o algodoeiro torna-se apto a obter todos os elementos essenciais para sua proteção, conforto, sanidade e produtividade.

O uso de eventos climáticos extremos como ferramenta de adaptação e seleção natural de cultivares mais resilientes é uma abordagem nova a ser desenvolvida com o melhoramento genético e técnicas de cultivo, além do sistema agroecológico de manejo, estes em maior sintonia nesta direção.

2.6. O algodão como ferramenta para regeneração ambiental

A capacidade de ciclagem de nutrientes e enriquecimento do solo através do sistema agroecológico de manejo, quando associada à rotação de culturas, cria um ciclo de carbono e nutrientes virtuoso, desde que seja feita corretamente e haja relações ecológicas harmônicas entre o cultivo do algodão e seus antecessores e sucessores. Nesse contexto, a presença de animais no sistema de produção agropecuário passa a fazer parte do vocabulário rotineiro do sistema de produção agroecológico.

A redução do impacto de plantas invasoras e pragas em sistemas consorciados com animais, e a implementação de espécies florestais em locais sem aptidão agrícola, em corredores ecológicos, em canais vegetados dissipadores do excesso de água na lavoura de algodão e faixas de quebra-vento ou barreiras contra deriva de pesticidas, podem ser ótimos locais para a aplicação do conceito de refúgios para agentes benéficos e locais para introdução do controle biológico natural -aumentativo, conservativo ou o clássico, bem como para a contenção da dispersão de sementes de plantas daninhas e esporos de doenças.

O potencial do algodão para atuar como cultura estruturadora no manejo sustentável do Cerrado pode ser aproveitado, pois a condução do algodão normalmente está associada à presença de profissionais com o mais

Figura 5. Chuva no Cerrado numa lavoura de algodão (Fonte: E.K. Takizawa)

avançado conhecimento técnico e com facilidade de adoção de técnicas inovadoras.

3. Princípios agroecológicos aplicados à cotonicultura

O fazer certo implica aplicar boas práticas agrícolas fundamentadas em ciência e experiência e customizadas para cada agricultor e cada propriedade. A razão certa trata-se de construir na forma de um sistema produtivo resiliente, com menor dependência externa, buscando na natureza a solução – eis o conceito da biomimética ou biomimetismo, ainda pouco conhecido no sistema de produção agrícola no Cerrado Brasileiro.

O momento certo apresenta a dimensão do tempo, posicionando estratégias conforme os ciclos biológicos da lavoura e o ambiente. No sistema agroecológico, as estações climáticas têm especial relevância em cada ação dos tratos culturais e fitossanitários.

A escolha do problema antecipa desafios para evitar soluções reativas de alto custo. Surge, então, o princípio de solução de problemas ainda na fase inicial ou quando podemos considerá-los crônicos, e não problemas agudos com grande impacto no rendimento da lavoura.

A assimetria entre ganhos e perdas avalia o impacto de cada decisão a longo prazo, e o resultado imediato deixa de ser o norteador das práticas culturais, passando a sê-lo a sustentabilidade do algodão e dos recursos naturais.

O fortalecimento contra eventos naturais extremos e intempéries ambientais requer adaptar-se às variações climáticas e utilizá-las como vantagem produtiva. Assim, o algodão torna-se solução ambiental e transforma a lavoura em um instrumento de recuperação ecológica.

3.1. Diversificação de cultivos e integração de sistemas

A rotação de culturas para evitar esgotamento do solo é uma recomendação bíblica e, até o momento, não há outro procedimento capaz de solucionar problemas agudos como os altos níveis de severidade e incidência de nematóides fitófagos.

3.2. Uso de plantas de cobertura e adubação verde

As funções das plantas de cobertura podem assumir múltiplos objetivos, e a definição clara das necessidades da lavoura de algodão orienta a escolha das espécies, uma vez que cada escolha implica efeitos benéficos e efeitos colaterais. Lidar com medidas de contingência dos reflexos indesejados talvez seja a melhor habilidade que se espera no sistema agroecológico de manejo.

A seleção criteriosa de espécies com potencial para proteger e regenerar nutricionalmente o solo pode, contudo, acarretar riscos, como a proliferação de plantas daninhas, doenças e pragas. Assim, é imprescindível avaliar cuidadosamente o equilíbrio entre os benefícios e os aspectos adversos, considerando as complexidades inerentes ao sistema agroecológico de manejo e a necessidade de uma adoção consciente baseada em múltiplas análises.

O efeito sinérgico entre plantas de cobertura e a nutrição da lavoura de algodão é um dos resultados esperados. No entanto, em um momento em que a nutrição é segmentada por fases fenológicas do ciclo de vida do algodoeiro, as plantas de cobertura podem ser caracterizadas pela espécie e pelo sistema de cultivo, pois os efeitos são diretamente ligados à capacidade de ciclagem da planta de cobertura.

3.3. Manejo do solo: conservação e regeneração da fertilidade

O revolvimento excessivo do solo deve ser evitado para preservar sua integridade estrutural e a microbiota; entretanto, empregar o termo "regenerar o solo" em um contexto químico para o Cerrado não constitui uma abordagem segura para solos distróficos. A regeneração da fertilidade, alcançada através da restauração da capacidade de drenagem, do aumento da retenção hídrica, da mitigação das perdas por evaporação e da estabilização térmica do solo, impacta diretamente a eficiência na absorção de nutrientes e a refrigeração do algodoeiro, resultando em maior fotossíntese líquida e elevado potencial de rendimento da cultura.

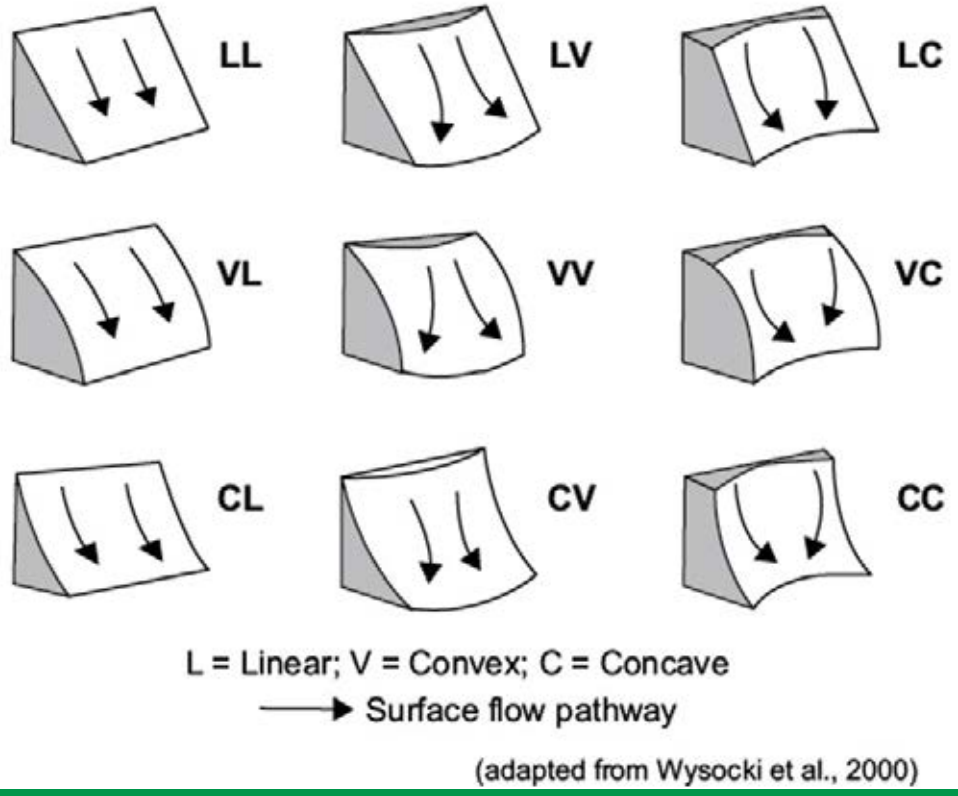


Figura 6. Tipos de curvaturas simples do solo e sua influência na dinâmica da água (Fonte: Maune, 2018)

Os princípios do manejo ecológico do solo, enfatizado por Primavesi (2017) abordam de forma abrangente a importância da compreensão dos processos naturais e da fisiologia das plantas em solos tropicais. A interação entre solo, planta e ambiente fornece diretrizes valiosas para práticas agrícolas sustentáveis, especialmente relevantes para o cultivo do algodão no bioma Cerrado. A aplicação desses conceitos pode auxiliar na implementação de sistemas de manejo que promovam a saúde do solo, a biodiversidade e a resiliência dos agroecossistemas, contribuindo para a sustentabilidade da produção algodoeira.

No sistema agroecológico de manejo, o ciclo do carbono, por meio do aporte de matéria orgânica, deve ser segmentado em diferentes categorias, considerando a atividade biológica dessa matéria. A dinâmica da correção da acidez do solo, tradicionalmente realizada com calcário, pode ser influenciada por esses processos, sendo que estudos preliminares indicam que a compreensão das interações na rizosfera e na filosfera será fundamental para avaliar os efeitos benéficos empiricamente observados no algodoeiro. Esses ambientes abrigam uma diversidade microbiológica complexa, composta por bactérias, fungos, vírus e arqueias, cujas interações ecológicas harmoniosas podem desempenhar um papel essencial na melhoria do desenvolvimento e da sanidade da cultura.

Ingham (1999) apresenta os fundamentos da biologia do solo, elucidando as funções de bactérias, fungos, protozoários e nematoides na manutenção da fertilidade e estrutura do solo, e oferece uma compreensão abrangente da biologia do solo, detalhando as funções de diversos microrganismos e sua importância para a saúde e a produtividade dos ecossistemas agrícolas. Compreender essas interações é essencial para desenvolver sistemas agroecológicos sustentáveis no cultivo do algodão.

A complexa rede de interações entre organismos do solo e plantas é conhecida como teia alimentar do solo.

Ingham (2004) destaca como o manejo adequado dessa teia pode levar a ecossistemas agrícolas mais resilientes e produtivos, aspectos cruciais para a sustentabilidade no cultivo do algodão no Cerrado.

3.4. Ciclo da energia: estratégias de transformação energética

Na perspectiva agronômica, a deusa Deméter (mitologia grega) ou Ceres (mitologia romana) simboliza os fundamentos da produtividade agrícola, da fertilidade do solo e do ciclo das estações ou ciclos da energia. Os conhecimentos atribuídos a essa figura mitológica milenar enfatizavam a necessidade de sincronizar as operações agronômicas, como a semeadura, as práticas culturais e a colheita, com os ritmos naturais e as transições sazonais, baseando-se na análise de parâmetros climáticos e ambientais. Para os agricultores antigos, o sucesso das práticas no campo dependia não somente do manejo e da intervenção humana, mas também da harmonização com os ciclos naturais, cuja observação meticulosa e interpretação dos sinais ambientais eram essenciais para a definição dos períodos ideais de ação.

O ciclo da energia no sistema agroecológico de manejo do algodoeiro representa a dinâmica da conversão e do fluxo energético no agroecossistema, englobando a captação, o armazenamento e a transferência de energia por meio dos processos biológicos e ecológicos da lavoura. A eficiência desse ciclo é fundamental para a sustentabilidade do sistema produtivo, no qual a energia solar é assimilada e convertida em biomassa, impactando diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a resiliência da cultura do algodão frente às condições ambientais e ao manejo adotado.

3.5. Ciclo da água: estratégias para retenção hídrica e manejo eficiente

Figura 7. Dossel do algodoeiro e índice de área foliar responsável pela interceptação da luz e solo protegido contra evaporação da água (Fonte: E.K. Takizawa)

Figura 8. Radiação solar convertido em biomassa (Fonte: E.K. Takizawa)

No cultivo do algodoeiro, a dinâmica da água no solo é um fator determinante para a produtividade e sustentabilidade do sistema. Dentro do ciclo hidrológico, dois processos fundamentais para a manutenção da umidade do solo e o suprimento hídrico da cultura são a infiltração e a percolação da água. O adequado manejo desses processos em um sistema agroecológico pode maximizar a eficiência hídrica, reduzir perdas por lixiviação de nutrientes e favorecer a resiliência da lavoura a estresses hídricos.

Figura 9. Chuvas torrenciais frequentes no Cerrado (Fonte: E.K. Takizawa)

A infiltração representa a entrada da água da chuva ou da irrigação na superfície do solo, sendo influenciada por fatores como textura e estrutura do solo, compactação, teor de matéria orgânica e cobertura vegetal. No manejo agroecológico, algumas estratégias podem otimizar a infiltração, garantindo maior retenção de água no solo e evitando o escoamento superficial e a erosão. Entre essas práticas, destacam-se o uso de culturas de cobertura e rotação de culturas, que promovem maior agregação do solo e aumento da capacidade de infiltração; a adição de matéria orgânica, que melhora a estrutura do solo e sua capacidade de retenção hídrica; o sistema de plantio direto, que preserva a palhada na superfície, reduz a compactação e aumenta a infiltração da água; e a descompactação biológica, por meio de plantas com sistema radicular profundo, como braquiária, que promove a formação de bioporos e melhora a porosidade do solo.

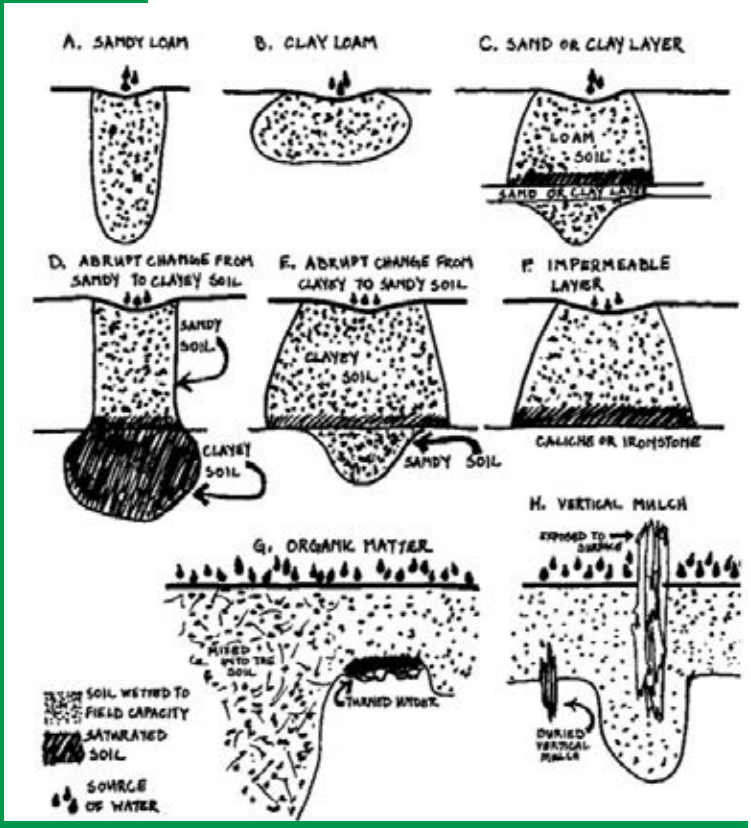


Figura 10. Tipos de movimentos da água no solo. (After Doneen and Wescot 1984:22-27; and Gardener 1979) (Fonte da imagem: http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0fnl2.2--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-------0-1l--11-en-50---20-help---00-0-1-00---4----0-0-11-1-0utfZz-8-00&cl=CL3.6&d=HASH0150ba4e9f73176fac50b5ae.7.8.4.3&gt=1)

Após a infiltração, a percolação ocorre quando a água se move verticalmente no perfil do solo, atingindo camadas mais profundas e, em alguns casos, o lençol freático. Esse processo é essencial para a recarga de aquíferos, mas pode gerar impactos negativos caso ocorra em excesso, como a lixiviação de nutrientes essenciais para o algodoeiro, principalmente nitrogênio (N) e potássio (K). Para um manejo eficiente da percolação no sistema agroecológico, algumas práticas são recomendadas, tais como o uso de bioinsumos e fertilizantes orgânicos de liberação gradual, que reduzem perdas por lixiviação e garantem uma nutrição equilibrada para a planta; o manejo adequado da irrigação, evitando excessos que possam acelerar a percolação e lixiviação de nutrientes; os sistemas agroflorestais e diversificação de espécies, que criam um ambiente com diferentes profundidades radiculares, auxiliando na retenção da umidade e na absorção eficiente da água; e a adoção de consórcios com leguminosas, que melhoram a estrutura do solo e reduzem a lixiviação de nutrientes, promovendo maior eficiência no ciclo da água.

O entendimento dos processos de infiltração e percolação da água no solo é essencial para o manejo agroecológico do algodoeiro. A adoção de estratégias como cobertura vegetal, adição de matéria orgânica, uso racional da irrigação e práticas conservacionistas permite otimizar a retenção de água, reduzir impactos ambientais e garantir um sistema produtivo mais sustentável e resiliente.

A variabilidade climática representa um dos maiores desafios para a produção agrícola, exigindo estratégias de manejo que assegurem a sustentabilidade e a estabilidade do sistema

produtivo. Projetar um sistema de plantio capaz de maximizar a absorção de água em anos chuvosos e minimizar as perdas em períodos secos é essencial para garantir a resiliência da lavoura diante das intempéries climáticas.

Projetar um sistema de plantio resiliente às intempéries climáticas requer uma abordagem integrada, que combine técnicas de conservação do solo e da água, manejo adequado da matéria orgânica e escolha estratégica das culturas. Dessa forma, é possível criar um sistema agrícola sustentável, maximizando a absorção de água em anos chuvosos e reduzindo os impactos da seca, garantindo estabilidade produtiva e preservação ambiental.

3.6. Controle biológico e manejo integrado de pragas e doenças

O controle biológico natural, sem a introdução de agentes exóticos, deve ser a primeira estratégia de manejo em um sistema agroecológico, exigindo um conhecimento aprofundado das relações ecológicas para potencializar os mecanismos de regulação natural. Caso essa abordagem não seja suficiente para mitigar os danos ao algodoeiro, recomenda-se a adoção do controle biológico aumentativo e conservativo, que visa favorecer e incrementar populações de inimigos naturais já presentes no agroecossistema. Como último recurso, deve-se recorrer ao controle biológico clássico, por meio da introdução de agentes de controle específicos e do uso de bioinsumos, assegurando uma proteção eficiente e sustentável para a lavoura.

O monitoramento do algodoeiro em um sistema agroecológico difere da abordagem convencional ao priorizar uma tomada de decisão proativa, contrastando com as ações reativas típicas do uso de pesticidas sintéticos. Esse processo exige a implementação de estratégias de monitoramento baseadas nas fases iniciais do ciclo de vida das pragas, antes que atinjam estágios críticos de danos à cultura. Além disso, a tecnologia de aplicação dos produtos biológicos deve atender a exigências ambientais rigorosas, garantindo a sustentabilidade do manejo e a manutenção do equilíbrio ecológico no agroecossistema.

Os eventos climáticos extremos exercem uma influência significativa sobre as populações de pragas no agroecossistema, alterando suas dinâmicas populacionais, taxas de reprodução, dispersão e interações ecológicas. A compreensão desses impactos permite ajustar estratégias de manejo agroecológico, promovendo a resiliência da lavoura e reduzindo perdas econômicas.

Durante períodos de seca prolongada, a redução da umidade do solo e do microclima desfavorece pragas dependentes de alta umidade, como ácaros predadores, ao mesmo tempo em que pode beneficiar tripes e pulgões, que se adaptam a condições secas. O estresse hídrico das plantas reduz a síntese de metabólitos secundários de defesa, tornando-as mais suscetíveis ao ataque de insetos sugadores.

Figura 11. Fêmea de nematoide de galha atacando a raiz do algodoeiro (Fonte: E.K. Takizawa)

Figura 12. Aumento explosivo de tripes como indicador de desequilíbrio ecológico (Fonte: E.K. Takizawa)

As chuvas intensas e alagamentos, por sua vez, provocam a lavagem mecânica de ovos e larvas, reduzindo a população de pragas como lagartas e percevejos, e criam um ambiente propício para a disseminação de fungos entomopatogênicos, que auxiliam no controle natural das infestações. Em contrapartida, a alta umidade favorece pragas como lesmas e caracóis, que podem proliferar rapidamente.

As ondas de calor intensificam o ciclo de vida de algumas pragas, como mosca-branca e ácaros, favorecendo sua multiplicação e dispersão acelerada. A baixa umidade reduz a eficácia de fungos entomopatogênicos, comprometendo sua capacidade de regulação populacional de insetos-praga.

No manejo agroecológico, a adoção de estratégias que consideram a previsibilidade climática é essencial para o controle efetivo das pragas. O monitoramento climático integrado, com o uso de dados meteorológicos e armadilhas, permite prever surtos populacionais e ajustar intervenções de controle biológico de maneira antecipada.

A umidade elevada pode ser aproveitada para a aplicação de fungos entomopatogênicos antes de períodos chuvosos, potencializando sua ação sobre as pragas.

Em condições de seca, a preservação da umidade do solo, por meio de cobertura morta e plantio direto, contribui para reduzir o estresse hídrico das plantas e sua vulnerabilidade a ataques de insetos sugadores.

O manejo da irrigação deve ser eficiente, evitando excessos que possam favorecer a lixiviação de nutrientes ou criar condições favoráveis para determinadas pragas.

A seleção de cultivares adaptadas a estresses climáticos também é uma estratégia viável, garantindo maior resistência natural ao ataque de pragas.

O entendimento da interação entre eventos climáticos extremos e pragas é essencial para a tomada de decisão no manejo agroecológico, permitindo ajustes estratégicos na proteção da lavoura, redução da dependência de insumos sintéticos e promoção da sustentabilidade agrícola.

4. Indicadores de sustentabilidade na cotonicultura do Cerrado Brasileiro

A cotonicultura no Cerrado Brasileiro representa um pilar estratégico para a agricultura moderna, contribuindo significativamente para a economia e a geração de empregos em vastas áreas deste bioma. Entretanto, o crescimento e a intensificação dessa atividade têm suscitado debates acerca da sustentabilidade do sistema, ressaltando a importância de avaliar seus impactos ambientais, sociais e econômicos. Nesse cenário, o desenvolvimento e a aplicação de métricas de sustentabilidade emergem como ferramentas essenciais para o monitoramento e a melhoria contínua da produção de algodão.

O uso de métricas de sustentabilidade engloba um conjunto de indicadores que permitem mensurar, de forma objetiva, o desempenho ambiental, social e econômico de um sistema produtivo. No contexto da cotonicultura, esses indicadores podem abranger aspectos como a eficiência no uso dos recursos hídricos, a gestão adequada dos solos e dos nutrientes, a redução e o manejo responsável dos combustíveis e insumos químicos, além da promoção da biodiversidade e do bem-estar das comunidades envolvidas.

A mensuração precisa desses parâmetros fornece subsídios para a identificação de práticas de manejo que minimizem os impactos ambientais e potencializem a produtividade sustentável, considerando a singularidade de cada agricultor e sua propriedade.

Figura 13. Biodiversidade de microrganismo na lavoura como indicador de equilíbrio (Fonte: E.K. Takizawa)

O caráter peculiar do Cerrado, com sua biodiversidade única e características edafoclimáticas específicas, impõe desafios adicionais para a implementação de práticas sustentáveis na produção de algodão. A adaptação de métricas desenvolvidas para outros biomas pode não refletir as condições locais, demandando estudos voltados à validação e calibração de indicadores que considerem a dinâmica hídrica, a resposta das culturas às variações climáticas e as interações entre os componentes do ecossistema.

A integração de dados provenientes de monitoramento ambiental e observações de campo possibilita a criação de modelos preditivos, que orientam a tomada de decisão e promovem a adoção de manejos adaptativos e resilientes.

Como a implementação de métricas de sustentabilidade tem um papel estratégico no acesso a mercados que valorizam a produção responsável, as certificações e selos de sustentabilidade têm se consolidado como diferenciais competitivos, incentivando a melhoria contínua dos processos produtivos e fortalecendo a transparência na relação entre produtores e consumidores.

Dessa forma, a consolidação de um conjunto robusto de indicadores não só aprimora a eficiência agronômica, mas também potencializa o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras, fomentando a integração entre inovação tecnológica e conservação ambiental.

Figura 14. Presença de predadores e ação do controle natural como indicador ecológico (Fonte: E.K. Takizawa)

Em síntese, faltam métricas de sustentabilidade na cotonicultura do Cerrado Brasileiro; assim, a criação regulamentada dos indicadores representa uma oportunidade singular para o desenvolvimento de estudos que contribuam para a consolidação de práticas agronômicas inovadoras e ambientalmente responsáveis.

O aprofundamento no entendimento desses indicadores e a implementação de metodologias de monitoramento adaptadas às especificidades do Cerrado são passos fundamentais para garantir a continuidade e a viabilidade do cultivo de algodão, promovendo um equilíbrio entre produtividade e preservação dos recursos naturais.

4.1. Indicadores ambientais

No manejo agroecológico do algodoeiro, a qualidade do solo deve ser avaliada de forma integrada, considerando seus atributos químicos, físicos e biológicos, além da biodiversidade microbiana. Indicadores ecológicos, como a presença de aves e outras faunas, que asseguram a conservação da biodiversidade, minimizam os impactos sobre a fauna e promovem a manutenção de áreas preservadas interligadas por corredores ecológicos, devem ser incorporados como critérios fundamentais para a sustentabilidade do sistema de produção do algodoeiro.

A eficiência no uso da água e a conservação dos recursos hídricos ainda carecem de clareza no contexto do sistema produtivo do algodoeiro. Dessa forma, há grande potencial para o desenvolvimento de indicadores-chave de desempenho (KPIs) específicos para esse aspecto. A análise hidrológica no sistema agroecológico poderá servir como base para a definição de métricas que validem a sustentabilidade hídrica e a viabilidade de um sistema verdadeiramente agroecológico.

A adoção de indicadores hidrológicos no monitoramento de sistemas agroecológicos permite uma gestão eficiente dos recursos hídricos, favorecendo a sustentabilidade da produção agrícola. As contribuições de Lal (2008) reforçam a necessidade de práticas de manejo que garantam a infiltração, a retenção e a qualidade da água no solo, promovendo um equilíbrio entre produtividade e conservação ambiental. Isso enfatiza que sistemas agrícolas resilientes ao clima otimizam a eficiência do uso da água, evitando desperdícios e promovendo produtividade sustentável. O entendimento do ciclo hidrológico nos agroecossistemas é essencial para o desenvolvimento de uma agricultura resiliente e sustentável, alinhada aos desafios climáticos do século XXI.

Com as práticas agroecológicas que promovem a matéria orgânica do solo e reduzem o uso de insumos químicos, preserva-se a qualidade da água nos ecossistemas agrícolas (Lal, 2022). As contribuições de Lal (2018, 2021) fornecem uma base científica sólida para a implementação de práticas agroecológicas que visam minimizar a pegada de carbono, promovendo uma agricultura mais sustentável e resiliente às mudanças climáticas. São exploradas técnicas de sequestro de carbono no solo, destacando-se que práticas agroecológicas podem reduzir a pegada de carbono da agricultura e auxiliar na adaptação às mudanças climáticas.

Figura 15. Qualidade da água e preservação dos cursos hídricos como indicador de sustentabilidade (Fonte: E.K. Takizawa)

A importância de práticas é enfatizada por Brown (2018), como a diversificação de culturas, o uso de cobertura vegetal permanente e a integração de animais no manejo da terra. Essas abordagens não apenas melhoram a saúde do solo, mas também aumentam a capacidade do sistema agrícola de se regenerar após eventos adversos, promovendo uma agricultura mais sustentável e resiliente.

4.2. Indicadores produtivos

A definição dos indicadores produtivos, na comparação entre sistemas agroecológicos e convencionais, deve considerar a produtividade e a qualidade das sementes e fibras do algodoeiro por unidade de área, a eficiência na conversão da radiação solar em biomassa, a relação entre o volume de água disponível e a eficiência de absorção pelos tecidos vegetais, bem como a dinâmica dos nutrientes provenientes da adubação e da reserva mineral do solo. Além disso, a avaliação deve contemplar a sustentabilidade do sistema, incluindo a manutenção e a regeneração dos recursos ambientais.

4.3. Indicadores sociais e econômicos

Os sistemas agroecológicos aplicados à cotonicultura no Cerrado constituem uma abordagem sustentável e tecnicamente viável para a produção agrícola, possibilitando a redução da dependência de insumos externos, assegurando a viabilidade econômica da atividade e aprimorando as condições de trabalho e a qualidade de vida dos produtores rurais.

A transição para um modelo de produção fundamentado na eficiência do uso dos recursos naturais viabiliza a redução dos custos operacionais, minimizando a necessidade de fertilizantes químicos e defensivos sintéticos, o que, por sua vez, contribui para o aumento da resiliência financeira dos produtores. Paralelamente, a valorização da agricultura de baixo carbono abre novas oportunidades comerciais, proporcionando o acesso a mercados diferenciados, certificações sustentáveis e incentivos financeiros voltados à adoção de práticas regenerativas.

O impacto social da adoção dessas estratégias é igualmente relevante, pois a redução da exposição á agroquímicos melhora a saúde ocupacional dos trabalhadores rurais, enquanto a diversificação de cultivos fortalece a economia local, conferindo maior estabilidade à cadeia produtiva. Dessa forma, os indicadores econômicos e sociais evidenciam que os sistemas agroecológicos não apenas preservam os recursos ambientais, mas também incrementam a competitividade e a sustentabilidade do setor a longo prazo.

A implementação de um sistema produtivo agroecológico, pautado na autonomia dos produtores, na regeneração do solo e na resiliência climática, fortalece a capacidade produtiva da cotonicultura no Cerrado, consolidando o Brasil como referência global na produção de algodão sustentável e promovendo um modelo agrícola mais eficiente, equilibrado e ambientalmente responsável.

Figura 16. Dano provocado pelo bicudo-do-algodoeiro (Fonte: E.K. Takizawa)

Figura 17. Propriedade rural com adoção de coleta seletiva (Fonte: E.K. Takizawa)

5. Considerações Finais

O cultivo do algodão no Cerrado pode deixar de ser visto como uma ameaça ao bioma e se transformar em um agente de regeneração ambiental, quando manejado de forma agroecológica. A resiliência da cultura, sua capacidade de adaptação e seu papel na ciclagem de nutrientes podem transformar lavouras degradadas em sistemas produtivos sustentáveis e lucrativos.

A adoção de sistemas agroecológicos no cultivo do algodão no Cerrado deve considerar não apenas os princípios técnicos do manejo sustentável, mas também o contexto ecológico, social, econômico e cultural que influencia as decisões agrícolas, como abordado por Archueta (2025). A compreensão dessas variáveis é essencial para garantir a resiliência da produção diante de desafios ambientais e a sustentabilidade a longo prazo.

Os indicadores de sustentabilidade no cultivo do algodão devem incluir a eficiência no uso da água, a conservação da biodiversidade, a fertilidade do solo e a viabilidade econômica das práticas agroecológicas. No Cerrado, onde a sazonalidade das chuvas e a variabilidade climática impactam a produção, práticas como a cobertura do solo, a diversificação de culturas e a integração de animais são fundamentais para aumentar a resiliência do sistema.

Além disso, a dimensão comunitária e cultural deve ser considerada. A mentalidade tradicional de maximização da produtividade precisa ser substituída por uma abordagem de otimização sustentável, alinhada à capacidade regenerativa do ecossistema. Para isso, a conscientização sobre a importância da saúde do solo e da biodiversidade deve ser incentivada por meio da educação e do compartilhamento de conhecimento entre agricultores e pesquisadores.

Figura 18. Mata ciliar próxima a lavoura de produção agrícola (Fonte: E.K. Takizawa)

Por fim, a integração do princípio do contexto ao planejamento agrícola permite um manejo agroecológico mais eficiente e resiliente, conectando todos os fatores que influenciam a produção e promovendo uma agricultura que respeita e fortalece o meio ambiente.

O cultivo do algodão no Cerrado Brasileiro se insere em um contexto em que a relação entre o homem e a terra transcende a mera exploração produtiva, adquirindo um caráter cíclico e integrado à natureza. Essa perspectiva dialoga com a visão apresentada por Eliade (2018), ao tratar da distinção entre os tempos e espaços sagrados nas sociedades religiosas. No âmbito da agroecologia, a estruturação de sistemas de manejo sustentável remete a essa percepção cíclica do tempo agrícola, em oposição à linearidade da produção industrial moderna.

A agroecologia propõe um retorno à harmonia com os ciclos naturais, reconhecendo que a lavoura não é apenas um espaço de produção, mas também um ecossistema vivo, em constante renovação e transformação. Assim, o manejo do algodão no Cerrado requer a adoção de práticas sustentáveis que respeitem essa dinâmica, equilibrando produtividade e regeneração ambiental. A adoção de técnicas como o cultivo mínimo, a diversificação de culturas e o manejo biológico de pragas reforça a concepção de um tempo cíclico, no qual cada fase — preparo do solo, semeadura, desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e colheita — deve estar em sintonia com os ritmos naturais e climáticos.

Para avaliar a eficácia dos sistemas agroecológicos no cultivo do algodão, são necessários indicadores de sustentabilidade que contemplem dimensões ambientais, econômicas e sociais. Dentre esses indicadores, destacam-se a qualidade do solo, a eficiência no uso da água, a biodiversidade funcional da lavoura, a redução do uso de insumos químicos e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Esses parâmetros, quando bem monitorados, permitem que o manejo agroecológico seja ajustado de forma adaptativa, respeitando as condições naturais e sociais de cada região do Cerrado.

Dessa forma, o cultivo do algodão em sistemas agroecológicos no Cerrado não se limita à busca por produtividade, mas reflete uma visão mais ampla, onde a agricultura é compreendida como parte de um ciclo contínuo de renovação e equilíbrio. Assim como nas sociedades tradicionais estudadas por Eliade (2018), em que os rituais agrícolas eram essenciais para a harmonia cósmica, os sistemas agroecológicos contemporâneos resgatam essa relação simbiótica entre o homem e a terra, garantindo a perpetuação sustentável da lavoura e do ambiente em que ela se insere.

Referências Bibliográficas

ARCHULETA, Ray. **What would a world without context be like?** Soil Health Academy, Understanding Ag, LLC. Disponível em: https://soilhealthacademy.org. Acesso em: 23/02/2025.

BROWN, Gabe. **Dirt to Soil: One Family's Journey into Regenerative Agriculture**. Chelsea Green Publishing, 2018.

ELIADE, Mircea. **O sagrado e o profano: a essência das religiões**. 4ª Edição. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2018.

INGHAM, E.R. **The Soil Biology Primer**. NRCS Soil Quality Institute, USDA, 1999.

INGHAM, E.R. The Soil Foodweb: Its Role in Ecosystem Health. In: ELEVITCH, C.R. (Ed.). **The Overstory Book: Cultivating Connections with Trees**. 2. ed. Holualoa, Hawaii: Permanent Agriculture Resources, 2004.

LAL, Rattan. **Principles of Soil Conservation and Management**. Dordrecht: Springer, 2008.

LAL, Rattan. **Carbon Sequestration for Climate Change Mitigation and Adaptation**. Cham: Springer, 2018

LAL, Rattan. **Soil and Climate**. Boca Raton: CRC Press, 2021.

LAL, Rattan. **Soil and Fertilizers: The Application of Agroecology to Human Health**. Boca Raton: CRC Press, 2022.

MAUNE, David F. **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User's Manual**, 3 ed. 2018

PRIMAVESI, Ana Maria. **Manejo Ecológico do Solo: A Agricultura em Regiões Tropicais**. 1ª ed. São Paulo: Editora Nobel, 2017.

Ladislau Martin-Neto
Embrapa
Instrumentação

Cristiano A. de Andrade
Embrapa
Meio Ambiente

Ruan Carnier
Embrapa
Meio Ambiente

Débora M.B. P. Milori
Embrapa
Instrumentação

CAPÍTULO 7.7

Contexto e oportunidades para fazendas de algodão no mercado de carbono e na adaptação às mudanças climáticas

Capítulo publicado na edição 2025.

1. Aspectos globais e o agro brasileiro: desafios e visão futura

1.1. Revolução Agrícola Tropical

O Brasil se tornou importante protagonista global na produção e exportação de alimentos e fibras. Trouxe ao mundo a produção agropecuária tropical o ano todo, com no mínimo duas safras, como ocorre com os sistemas soja-algodão ou soja-milho. Os resultados obtidos em virtuosas décadas de grande empenho e sinergia da pesquisa, imenso empreendedorismo dos produtores rurais e desenvolvimento das empresas ligadas ao agro, com origem no Brasil e multinacionais, incluindo as recentes startups, e apoiados por políticas públicas adequadas, geraram o que é considerado globalmente uma revolução agrícola tropical, e com o país quebrando novo recorde na safra 24/25, com estimativa de produção, pelo IBGE, de mais de 330 milhões de toneladas de grãos. E exatamente neste ano, um prêmio de imensa repercussão global foi concedido à pesquisadora da Embrapa Soja Mariângela Hungria o "World Food Prize" ou Prêmio Mundial da Alimentação. O prêmio, considerado o "Nobel da Agricultura", foi concedido nos Estados Unidos e é atribuído às suas contribuições aos chamados bioinsumos, como a imensa adoção da inoculação de bactérias do gênero *Rhizobium* para a fixação biológica do nitrogênio em leguminosas, especialmente na soja, com estimativa de economia anual pelos produtores rurais com uso de fertilizantes nitrogenados da ordem de US$ 25 bilhões (ou seja, em torno de 120 bilhões de reais de economia para os produtores rurais), e que avança em contribuições de outros bioinsumos também para gramíneas, como milho e pastagens (Figura 1). Enfim, muito mérito numa diversidade de aspectos e no pioneirismo no mundo tropical, com grande impacto positivo na economia e na geração de emprego e renda para o Brasil.

O prêmio da pesquisadora Mariângela demonstra, mais uma vez, diferente do que muitos imaginam, especialmente no exterior, que nossa agropecuária foi desenvolvida basicamente à custa da ampliação da área plantada e com os desmatamentos dos diferentes biomas, e, geralmente, de forma equivocada, enfatizando o desmatamento na Amazônia. Apesar de não ser assim, o fato é que toda atividade econômica gera impactos ambientais e, para o setor agro, não é diferente.

1.2. Contexto Geral nas Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)

A agricultura, fundamental do ponto de vista social, econômico e ambiental, é responsável por cerca de 20% das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) em todo o mundo. Os principais GEE de origem antrópica são dióxido de carbono ou gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Procurando restringir ao enfoque do nosso capítulo sobre carbono (C) vamos a alguns fatos: globalmente, os combustíveis fósseis (derivados do petróleo) são

Figura 1. Foto de área experimental sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) mostrando o desenvolvimento de soja com e sem inoculação com bactérias do genêro rhizobium. O princípio usado é que o gás nitrogênio (N_2), muito abundante, corresponde a quase 80% da atmosfera terrestre, mas que é muito inerte e pouco reativo, é convertido para amônia (NH_3), a partir de reação catalisada pelo *rhizobium*, e o qual torna o nitrogênio assimilável pela leguminosa, evitando a adubação nitrogenada. Na safra 2022/2023 a economia foi de US$ 44 bilhões de dólares, em 41 milhões de hectares de uso da FNB. Gerou economia para o produtor rural gerando maior competitividade global da produção de soja brasileira e evitou emissões de 223 milhões ton. de CO_2-eq
(Fonte: Adaptada pelos autores, 2025, a partir de publicação de de Hungria & Nogueira, 2022)

responsáveis por 75 % das emissões dos GEE, que são considerados os responsáveis pelo aumento de temperatura do Planeta e pelas mudanças climáticas globais cada vez mais impactantes (vide, infelizmente, as enchentes catastróficas no Rio Grande do Sul em 2024, o aumento significativo das ondas de calor nos anos de 2023 e 2024 em várias regiões do país, e a seca de imensa proporção na região amazônica, em 2023, para ficarmos com poucos exemplos e circunscritos somente ao nosso país); no Brasil o inventário de GEE tem composição muito distinta da média global, com 75 % das emissões associadas às mudanças de uso da terra (basicamente devido aos desmatamentos) e ao setor agropecuário. Assim, o agro brasileiro está associado ao fato de sermos o 5º maior país emissor do planeta, com 3,1% das emissões globais. Na medida em que as taxas de desmatamento recuarem no Brasil, a relevância e a contribuição do agro nacional sobre as emissões de GEE devem, proporcionalmente, ser ampliadas, ainda mais considerando que o setor cresce destacadamente. Nesse contexto, a busca pela harmonia entre produção, produtividade e sustentabilidade torna-se fundamental, particularmente quanto à redução das emissões dos GEE, como requerem compradores/consumidores especialmente do exterior, e mesmo em benefício das próximas gerações, do interesse da própria agricultura brasileira e para sobrevivência no planeta. Nesta linha, vamos, mais à frente, indicar práticas agropecuárias e tecnologias com oportunidades e sinergias importantes para o sistema produtivo do algodão de Mato Grosso.

É importante ressaltar, entretanto, que o próprio setor agro é um dos mais afetados pelas mudanças climáticas globais, pois se trata de uma "indústria a céu aberto", sujeita aos riscos severos associados ao clima. Mais de 90% da produção agropecuária brasileira é dependente das chuvas, da sua regularidade e, idealmente, da sua distribuição anual de acordo com os ciclos das culturas. As mudanças climáticas globais trazem, hoje, alterações nos regimes de chuvas, secas e veranicos mais frequentes, grandes enchentes, ondas de calor de magnitude elevada e com impactos para as plantas, além de infestações mais intensas e diversificadas de pragas e doenças. Assim, a agropecuária é, ou pode se tornar, uma das maiores vítimas das mudanças climáticas.

1.3. Acúmulo de Matéria Orgânica e Sequestro de Carbono no Solo

Outro aspecto particular do setor agro diz respeito à possibilidade de capturar CO_2 da atmosfera e estabilizá-lo na forma de C na matéria orgânica do solo (MOS), processo conhecido como acúmulo ou sequestro de C no solo (Figura 2). A composição química da matéria orgânica é de, aproximadamente, 50% de átomos de C, portanto, falar de carbono no solo é falar de MOS. É um dos poucos setores com essa possibilidade, ou seja, de não só de reduzir as suas próprias emissões de GEE, mas também de retirar C da atmosfera. Fundamentalmente, o sequestro de C no solo ocorre por meio de práticas, manejos e sistemas que estimulam a produção biológica, ou seja, que estimulam a fotossíntese e a produção de biomassa pelas culturas. O acúmulo de biomassa pelas plantas corresponde à fase de captura de C, uma vez que, na fotossíntese, há assimilação de CO_2 e fixação em compostos orgânicos na planta. Enquanto grande parte dessa biomassa é decomposta relativamente rápido, por processos biológicos e químicos, retornando na forma de CO_2 para a atmosfera, uma parte do C capturado pelas plantas é aportada ao solo, principalmente após a colheita ou o manejo da fitomassa (no caso de plantas de cobertura), além dos compostos de C liberados pelas raízes durante a fase de desenvolvimento da cultura, denominados rizodepósitos. Todo o material aportado ao solo – rizodepósitos, raízes mortas e restos culturais – é metabolizado pelos microrganismos e parcialmente estabilizado como matéria orgânica do solo.

Portanto, o setor agro, ao contribuir para a redução das emissões de GEE, dá passos importantes quanto à redução do risco climático, que pode impactar negativamente a própria produção agrícola do país, bem como garantir e ampliar mercados. Além disso, há uma série de co-benefícios locais e regionais associados às práticas agrícolas e aos sistemas de produção mais conservacionistas e sustentáveis, que levam a menores emissões de GEE, como a redução da erosão, o aumento do armazenamento de água no solo, o aumento da matéria orgânica do solo, a redução do uso de pesticidas para controle de pragas e doenças,

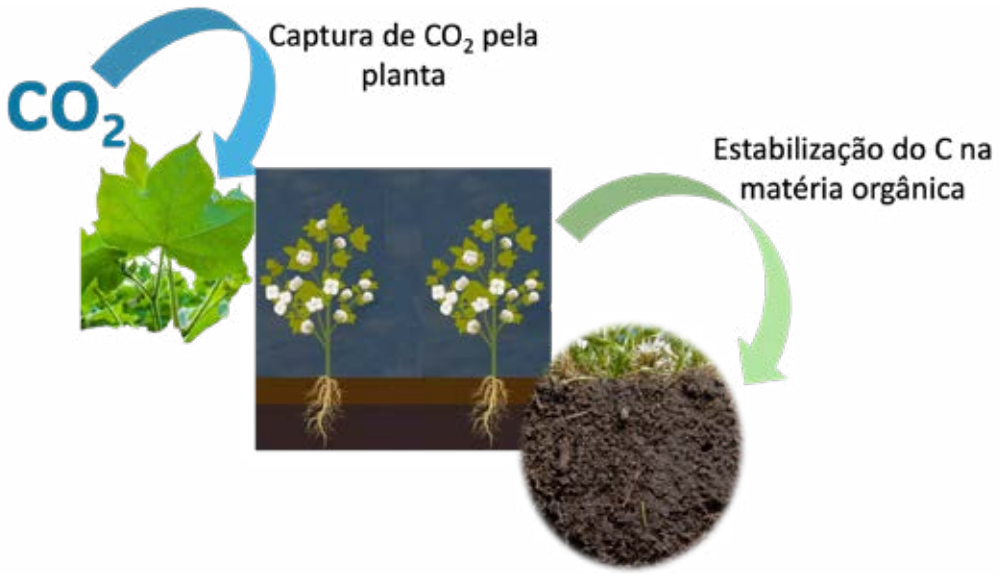


Figura 2. Captura de carbono na forma de CO_2 pela planta, por meio da fotossíntese, e estabilização de parte desse carbono na forma de matéria orgânica do solo
(Fonte: Elaborado pelos autores, 2025)

a melhoria da fertilidade do solo, dentre outros. Mesmo considerando que o agro não é a principal fonte de emissão global de GEE, mas que faz parte de um contexto complexo, e cujo próprio sucesso passa pelo impacto das mudanças climáticas, o agro brasileiro pode, mais uma vez, protagonizar importante papel na sociedade, como parte da solução em prol da segurança alimentar com sustentabilidade para o Brasil e para o planeta.

2. Emissões de gases de efeito estufa em agro-sistemas soja-algodão e soja-milho

2.1. Inventários de gases do efeito estufa e avaliações de ciclo de vida

Inventários anuais de emissão de GEE podem ser feitos pelas fazendas, de forma a mapear e monitorar atividades e processos geradores, no sentido de subsídio à gestão do tema na propriedade. Para isso, no entanto, há necessidade de registros e informações organizadas, devidamente disponíveis e passíveis de verificação por auditoria de terceira parte, no caso de a propriedade ingressar em projetos de créditos de carbono. Ferramentas digitais, amplamente disponíveis atualmente, devem auxiliar nessa gestão da informação na propriedade, sendo muito recomendável em todas as fases de aquisição, registro e disponibilização das informações, ou seja, das compras às entregas, dos produtos utilizados na fazenda, das operações realizadas nos talhões, etc. Esses inventários são essenciais, por exemplo, para alimentar a contabilidade de C na lógica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), para o cálculo da pegada de C, que é a emissão de C (em CO_2 equivalente) por unidade de produto agrícola. A abordagem na lógica da ACV contabiliza as emissões de C em atividades e processos sob responsabilidade direta da fazenda, no chamado Escopo 1 (dentro da porteira), mas pode ser ampliada, contabilizando-se também o potencial de aquecimento global da energia adquirida e usada na fazenda (Escopo 2) e as emissões não diretamente sob a responsabilidade da fazenda, principalmente relacionadas a produtos e insumos adquiridos (Escopo 3). Dados disponíveis em projetos recentes, especialmente liderados pela Embrapa, em parceria com outras instituições públicas e com empresas privadas, apontam que as principais fontes de emissões de GEE no sistema produtivo (dentro da porteira) são as seguintes: consumo de óleo diesel e outros combustíveis, usados em geral para preparo de solos, manejo das culturas e colheitas; aplicações de calcário e fertilizantes; e uso de defensivos agrícolas.

Sistemas conservacionistas que utilizam rotação de culturas, plantas de cobertura e semeadura direta promovem um menor número de operações agrícolas no campo, com economia no uso de diesel e, consequentemente, menor emissão de GEE. Além disso, os sistemas conservacionistas favorecem o armazenamento de água no solo, a reciclagem de nutrientes e o aproveitamento de fertilizantes, tornando a produção mais eficiente.

Portanto, o contexto está associado a uma criteriosa gestão administrativa da propriedade rural, o que certamente auxiliará em muitos outros aspectos, incluindo as eficiências operacional e financeira, além da redução dos impactos ambientais da fazenda.

A Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Brasil, 2021) mostra que o setor agropecuário responde por 33,2% das emissões nacionais de GEE e, dentro desse setor, as principais emissões estão associadas à fermentação entérica dos animais ruminantes (especialmente dos bovinos), manejo dos solos, manejo de dejetos animais, cultivo de arroz, calagem e aplicação de ureia (Figura 3). Com relação à pegada de carbono para o consumo de combustível na produção agrícola, o valor pode ser estimado com base na cultura e no volume utilizado por hectare. Considerando a soja e o algodão, o consumo médio

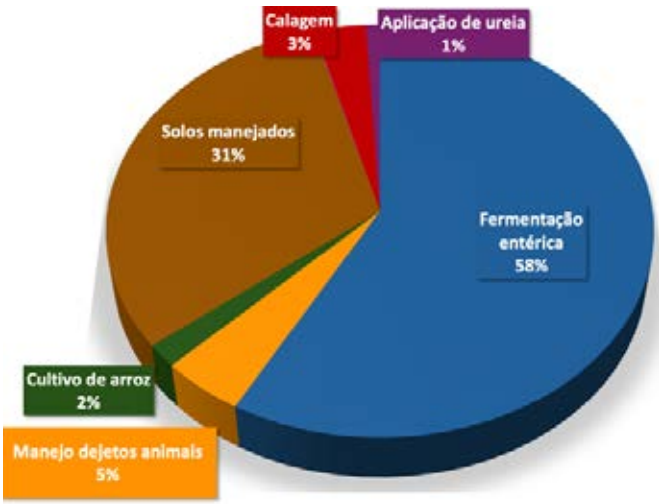


Figura 3. Percentuais de emissão por atividade dentro do setor agropecuário brasileiro em 2016 (Fonte: Adaptado pelos autores, 2025, a partir de Brasil, 2021)

de diesel é de cerca de 42,5 L ha^{-1} (Andrea *et al.*, 2016) e 94 L ha^{-1} (Yu *et al.*, 2025), respectivamente, e uma emissão direta de 2,13 kg CO_{2eq} L^{-1} de diesel (Veiga *et al.*, 2024), obtém-se uma pegada aproximada de 90,5 kg CO_{2eq} ha^{-1} para a soja e de 200 kg CO_{2eq} ha^{-1} para o algodão. Considerando a produção de algodão no Brasil, o consumo de diesel representa cerca de 18% das emissões diretas de GEE (Yu *et al.*, 2025).

2.2. Fertilização, correção e adubação nitrogenada

Considerando o interesse do capítulo nos sistemas soja-algodão ou soja-milho, percebe-se que o manejo do solo, a correção e a fertilização são pontos fundamentais para a redução das emissões.

A principal fonte de emissão associada a "solos manejados" (Figura 2) está relacionada à emissão de N_2O a partir da reação do fertilizante no solo. O N_2O é um GEE com potencial de aquecimento global (PAG) cerca de 300 vezes superior ao CO_2, e o manejo adequado da adubação nitrogenada contribui efetivamente para a redução da emissão de GEE na propriedade rural.

Os dois principais processos geradores de N_2O no solo são a nitrificação e a desnitrificação. A nitrificação ocorre em condições de boa drenagem do solo, em que o nitrogênio amoniacal (NH_4^+) é oxidado por bactérias até nitrito (NO_2^-) e, depois, a nitrato (NO_3^-), o qual é assimilado mais facilmente pelas plantas. Contudo, nesse processo, a disponibilidade de N amoniacal é um dos fatores principais para a determinação dos fluxos de N_2O para a atmosfera. Dessa forma, sincronizar a disponibilização de NH_4^+ no solo com a demanda das plantas é uma medida eficiente para reduzir as emissões, bem como o uso de fertilizantes nítricos, que já trazem o N na forma de NO_3^-.

A desnitrificação, por sua vez, ocorre em condições de elevada umidade do solo, quando os poros do solo estão predominantemente preenchidos com água. A desnitrificação consome NO_3^- do solo em processo biológico que utiliza fontes lábeis de C, emitindo N_2O. Considerando que os solos para produção de grãos no Brasil e de algodão são geralmente bem drenados, esse processo deve ocorrer apenas de forma mais pontual, em períodos de elevada pluviosidade, que suplantam a capacidade de drenagem do solo. A questão é que a desnitrificação, embora menos frequente no solo em comparação à nitrificação, pode eventualmente emitir grandes quantidades de N_2O no período de alta pluviosidade.

Pressupostos já conhecidos de manejo da adubação nitrogenada auxiliam na redução das emissões de N_2O a partir da fonte nitrogenada utilizada e devem ser reforçados, evitando-se excessos de N no solo e ajustando-se a disponibilidade do nutriente à demanda e ao ciclo da cultura: (i) recomendação de doses adequadas para a cultura; (ii) parcelamento da dose do fertilizante nitrogenado entre a semeadura e a(s) cobertura(s); (iii) uso de espécies leguminosas em rotação no sistema de produção, seja a soja como cultura de interesse e/ou plantas de cobertura, reduzindo a necessidade de fertilização nitrogenada mineral; e (iv) uso de plantas em rotação com sistema radicular profundo para reciclar o N lixiviado para camadas mais profundas do solo, principalmente abaixo dos primeiros 20 cm, menos acessíveis à soja, ao milho e ao algodão.

Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e o uso de inibidores também são alternativas de mercado para a redução das emissões de N_2O e amônia (NH_3). Reduções entre 51,1 e 61,5% no fator de emissão do N são reportadas em estudo de metanálise, independentemente do tipo de inibidor de nitrificação e do tipo de fonte nitrogenada (Soares *et al.*, 2023). Outros autores reportam redução de 62% para

o N_2O pelo uso de fertilizantes especiais e, quando combinados os inibidores de nitrificação e de urease, observam redução de 39% na perda de N por volatilização de NH_3 (Ribeiro *et al.*, 2023). Esses fertilizantes, conhecidos tecnicamente como fertilizantes de eficiência aumentada, utilizam tecnologias variadas, como o revestimento de grânulos com polímeros, partículas minerais e aditivos, que agem como barreira física; a modificação do grânulo com uso de nanopartículas ou partículas minerais e argilas; o uso de modificadores químicos no grânulo, como agentes de acidificação e inibidores enzimáticos; e o uso conjunto de agentes biológicos com modificação do ciclo do fertilizante. Esses fertilizantes podem manter por mais tempo a disponibilidade gradual de N no solo, ajustando-se de forma mais adequada à liberação do nutriente de acordo com a demanda da cultura (Figura 4), reduzindo perdas de forma geral e aumentando a eficiência de uso de N pela cultura, o que resulta em adequada nutrição da cultura e menores emissões de N_2O pela nitrificação e/ou desnitrificação.

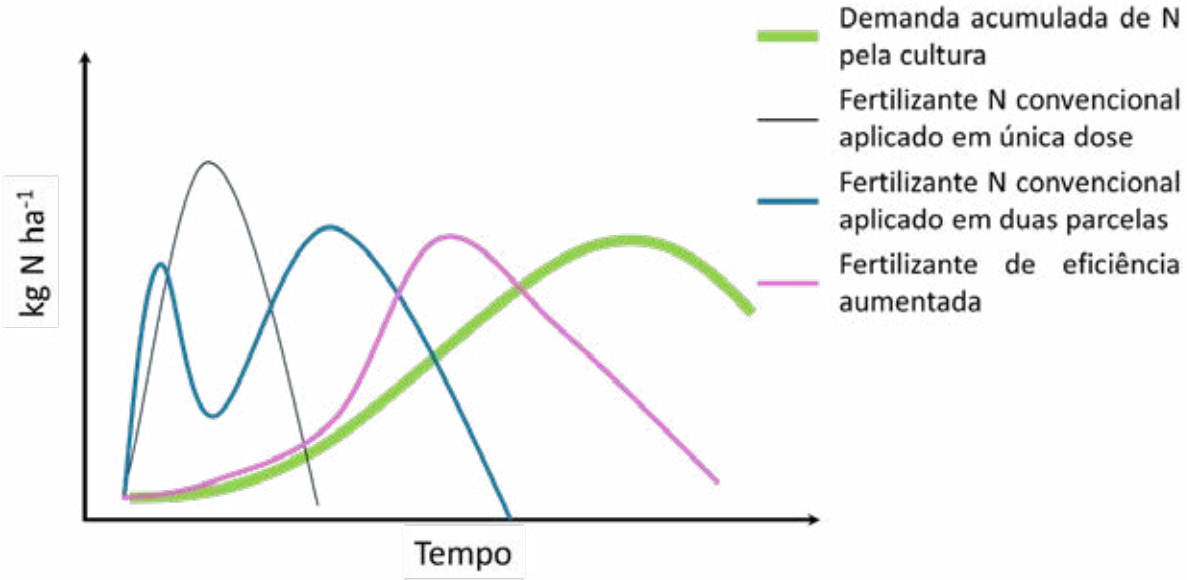


Figura 4. Demanda acumulada de nitrogênio pela cultura e curvas de liberação de nitrogênio pela adubação convencional, em parcela única ou parcelado em duas vezes, e pelo uso de fertilizante de eficiência aumentada, de liberação lenta (Fonte: Elaborado pelos autores, 2025)

2.3. Alternativas disponíveis para redução das emissões de Gases do Efeito Estufa

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) continua figurando como importante prática para fornecimento de N às culturas e economia de recursos, com impactos importantes no combate às mudanças climáticas globais (Figura 1). Tecnologias para maior eficiência da FBN, que é um processo natural, vêm sendo desenvolvidas desde a década de 1950, a partir da seleção, multiplicação e veiculação de bactérias, gerando produtos específicos (ANPII, 2017). Em termos globais, a contribuição da FBN é estimada em 258 milhões de toneladas de N por ano, sendo que a contribuição para a agricultura é de 60 milhões de toneladas de N (Embrapa, 2021).

Praticamente toda a soja cultivada no país, que ocupa 38,5 milhões de hectares (CONAB, 2021), não utiliza N fornecido via fertilização mineral, contando apenas com a FBN como fonte do nutriente para o sistema produtivo. Para se ter uma ideia da importância da FBN na soja, consideremos que, para produzir 1.000 kg de grãos de soja, são necessários 80 kg de N (Hungria *et al.*, 2001) e que a produtividade média da cultura é igual a 3.517 kg ha^{-1} de grãos (CONAB, 2021), necessitando, portanto, cerca de 281 kg de N para essa produção média. Sabe-se também que a matéria orgânica do solo fornece potencialmente cerca de 120 kg ha^{-1} ano^{-1} de N (Cantarella *et al.*, 2008), ou seja, o suprimento de N necessário pela FBN para atingir o valor médio de produtividade da

soja é estimado em 161 kg ha^{-1} ano^{-1} e, considerando a área total da cultura no Brasil, são necessários cerca de 6,2 milhões de toneladas de N via FBN. Esse valor é superior aos 4,3 milhões de toneladas de N entregues por meio da produção nacional e importação de fertilizantes nitrogenados minerais (ANDA, 2019). Considerando um fator de emissão de 1% para a perda do N como N_2O durante a fertilização mineral, a FBN na soja representa uma emissão anual evitada, estimada em 29 milhões de toneladas de $CO_{2\ eq.}$

Tecnologias de FBN aplicadas a outras culturas e plantas de cobertura ampliam os benefícios dessa prática agrícola e são foco de pesquisas. O manejo da FBN em leguminosas também é uma forma de reduzir a fertilização em culturas sucessoras ou em consórcio, além de contribuir para o sequestro de C no solo.

Iniciativas mais recentes têm focado no uso de microrganismos para melhorar a eficiência de uso de outros nutrientes. Em 2019, foi lançado o primeiro inoculante nacional, denominado BiomaPhos®, para solubilização de fósforo, à base de *Bacillus subtilis* (BRM 2084) e *Bacillus megaterium* (BRM 119) (Oliveira *et al.*, 2020), que colonizam a rizosfera da planta e iniciam a produção de ácidos orgânicos, que solubilizam o fósforo que está ligado ao cálcio, alumínio, ferro e à matéria orgânica do solo, tornando-o assimilável pela planta (Figura 5). Essa tecnologia possibilita racionalização e economia no uso de fertilizantes. Foi lançada e utilizada em 300 mil hectares na safra de 2019, com incremento médio de 18% na produtividade da soja e do milho, gerando receita da ordem de R$ 105 milhões ao país (Embrapa, 2021). Em 2024, a tecnologia atingiu 10 milhões de hectares, gerando benefício financeiro de R$ 4,2 bilhões (Embrapa, 2024). A pesquisadora Christiane Paiva, da Embrapa Milho e Sorgo, líder no desenvolvimento da tecnologia, foi recentemente agraciada com o prêmio "BRICS Solution Awards", no "BRICS Business Forum", que ocorreu no início de julho de 2025, no Rio de Janeiro. A solução já foi registrada e está em uso em outros países, como Estados Unidos, Canadá, Alemanha e Argentina.

Ainda nesse contexto, a Embrapa Meio Ambiente, que possui uma coleção de referência de microrganismos de importância agrícola e ambiental, em parceria com o setor privado, viabilizou o bioinsumo Auras® (Kavamura *et al.*, 2017). Esse bioinsumo, desenvolvido a partir de bactérias do mandacaru da Caatinga, em pesquisas lideradas pelo pesquisador Itamar

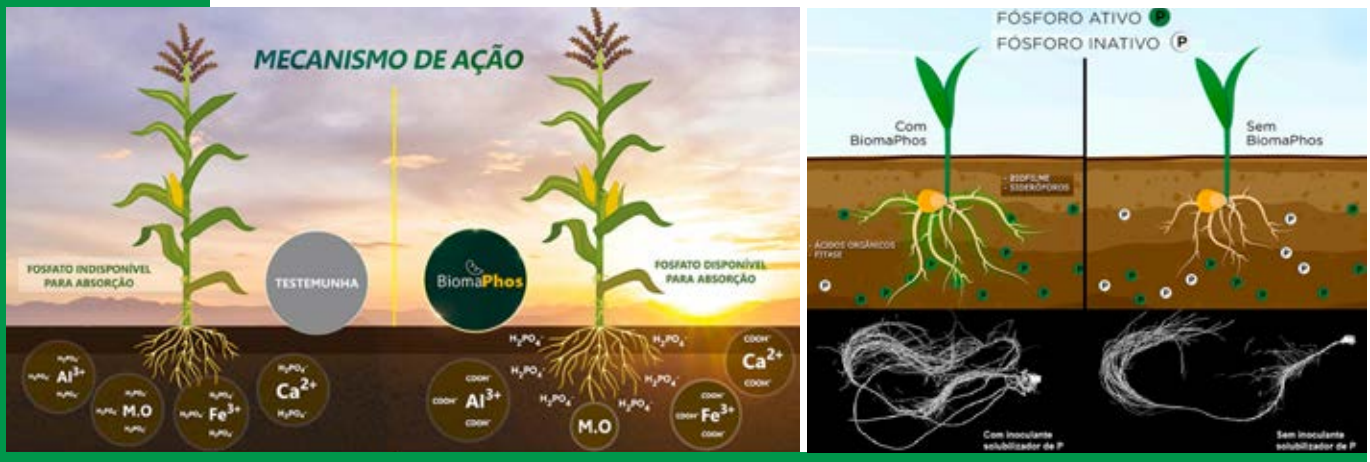


Figura 5. Tecnologia BiomaPhos, desenvolvida pela Embrapa, e colocada no mercado em parceria com a empresa Bioma (Fonte: Embrapa, 2021)

S. de Melo, otimiza o uso da água pela planta, reduzindo os efeitos negativos do estresse hídrico e térmico na cultura e proporcionando uma recuperação mais rápida após eventos de veranicos e altas temperaturas.

A ureia, especificamente, gera uma emissão adicional de GEE porque, na sua hidrólise no solo, ocorre uma reação de carbonatação, e esse carbonato é, em seguida, emitido como CO_2, em reação semelhante à que ocorre pelo uso de calcários na correção da acidez do solo. Entende-se, no entanto, que o uso da calagem é fundamental para a garantia de produtividades competitivas em nossos solos, predominantemente ácidos e de baixa saturação por bases, bem como para viabilizar a produção de biomassa suficiente para a manutenção ou incremento do estoque de C no solo. Há, inclusive, uma tendência de aumento das doses de calcário, para melhorar o enraizamento profundo das culturas e reduzir riscos associados a veranicos cada vez mais frequentes e prolongados, constituindo, assim, uma medida de adaptação ao desafio climático que se impõe. Uma alternativa hoje tratada em pesquisas na Embrapa é o uso conjunto de calcário e biochar, sendo este último uma fonte de C recalcitrante no solo, obtido a partir da pirólise (decomposição térmica em temperaturas entre 350 e 700 °C, na ausência ou baixa concentração de O_2) de biomassas, que pode neutralizar total ou parcialmente as emissões de CO_2 do calcário.

3. O papel do solo no sequestro de carbono em sistemas agrícolas

3.1. Sequestro de carbono no solo no Cerrado Brasileiro

São crescentes as iniciativas e publicações no Brasil e, principalmente, no exterior, sobre aspectos de neutralidade climática e agropecuária. Publicação de Nicoloso & Rice (2021), com análises de metadados sobre intensificação sustentável de áreas com plantio direto em 121 experimentos de longa duração, realizados em 19 países e 6 continentes, indicou que áreas de clima mais quente, incluindo vários resultados do Brasil, têm vantagens para o aumento do conteúdo de C, considerando a possibilidade de maior geração de biomassa em áreas agrícolas com mais de uma cultura anual, com diversificação de plantas, como gramíneas e leguminosas. Esse resultado chama a atenção porque, em um passado não muito distante, nossa condição tropical, com alta temperatura, alta umidade e alta atividade microbiana, determinava situação que favorecia muito a decomposição dos resíduos vegetais e da própria matéria orgânica do solo e que, especialmente sob manejo convencional, com intensa mobilização do solo, contribuía basicamente para emissões de gases do efeito estufa, com redução de carbono no solo. O uso de práticas conservacionistas mudou muito esse cenário, o que, tudo indica, foi refletido na análise de metadados de Nicoloso & Rice (2021).

O avanço de sistemas com pouca mobilização mecânica do solo e a integração de atividades também têm papel importante para que a agricultura e a pecuária nacionais contribuam efetivamente na mitigação de emissões e no sequestro de C no solo. Particularmente em áreas de Cerrado e de transição com a Mata Atlântica, predominam solos ácidos, de baixa fertilidade natural, com toxidez de alumínio, limitando a produção de biomassa. Em publicação de Rattan Lal, da Ohio State University e ex-presidente da União Internacional de Ciências do Solo e Prêmio Nobel da Paz, é descrito que solos de savanas, como os do nosso Cerrado, são um dos poucos no mundo em que o manejo sustentável, a longo prazo, pode aumentar o conteúdo de C a valores acima das áreas nativas (Bayer *et al*., 2006; Sá *et al.*, 2025) (Figura 6). Outro resultado recente, para solos de áreas nativas dos nossos Cerrados, indicou que quase 80% do C nessas áreas está no solo, com contribuição limitada da biomassa (Terra *et al.*, 2023), sendo chamadas de "floresta invertida", devido ao grande percentual de C estar no solo e não na parte aérea. Mas vale lembrar que áreas nativas do Cerrado brasileiro, comparativamente com áreas dos biomas Mata Atlântica e Amazônia, têm estoques de carbono muito menores.

Resultados de manejos conservacionistas em áreas de Cerrado, como Bayer *et al.* (2006), demonstraram, em áreas privadas do grupo SLC, de Mato Grosso do Sul e Goiás, que os solos sob plantio direto, com somente cinco anos apresentaram estoques de C superiores aos solos nativos do Cerrado (Figura 7). O potencial de manejos conservacionistas em estocar C no solo é bem documentado na literatura, proporcionando taxas de sequestro de C entre 0,39 t ha^{-1} ano^{-1} (Oliveira *et al.*, 2023)

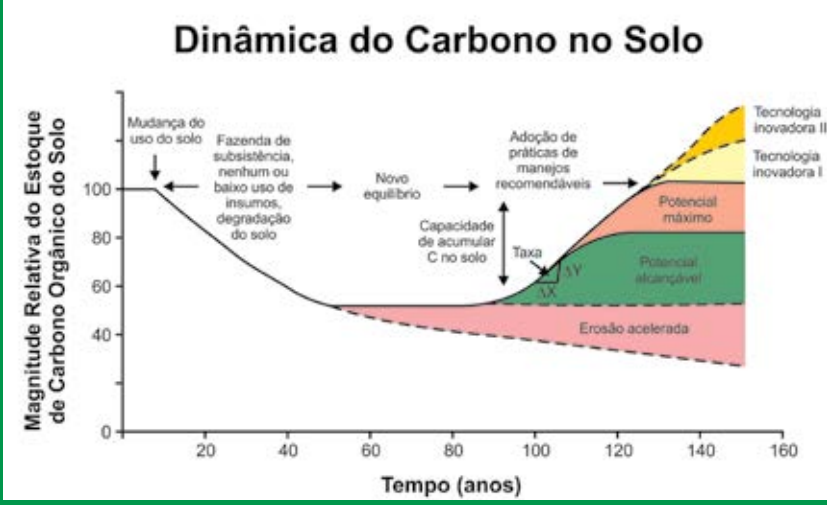


Figura 6. Dinâmica do C no solo, indicando que, após a conversão de vegetação nativa para área agrícola, há, geralmente, redução importante do estoque de carbono no solo. Contudo, práticas agrícolas conservacionistas podem, ao longo de anos, promover a recuperação dos estoques de carbono no solo. Em algumas poucas regiões no planeta, como é o caso dos Cerrados do Brasil, essa recuperação pode superar os estoques de carbono do solo das áreas nativas, inclusive em tempos muito menores que os apresentados na escala da figura original aqui apresentada, conforme resultados de Bayer *et al.*, 2006; Sá *et al.*, 2025 (Fonte: Figura adaptada pelos autores de slide de apresentação feita pelo Prof. Rattan Lal, da Ohio State University, Estados Unidos)

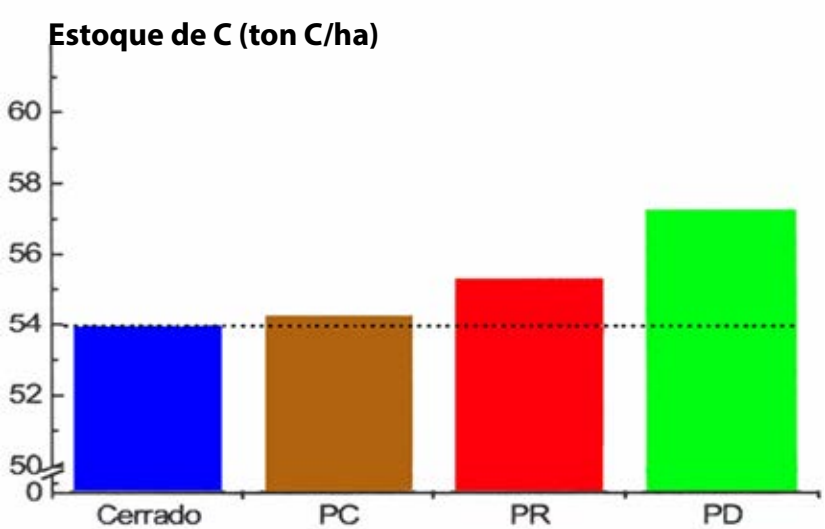


Figura 7. Gráfico de estoques de carbono no solo, profundidade de 0-20 cm, em área de Cerrado, em Costa Rica/MS, em propriedade privada do grupo SLC, mostrando a evolução e o aumento dos estoques de C após 5 anos, a partir da conversão de área nativa (Cerrado) para agricultura com grãos sob manejo convencional (PC), manejo reduzido (PR) e plantio direto (PD) (Fonte: Adaptado pelos autores, 2025, de Bayer *et al.*, 2006)

e 0,63 t ha^{-1} ano^{-1} (Maia *et al.*, 2022), ao longo do tempo em sistemas de plantio direto com produção de soja e milho. Sá *et al.* (2025), em avaliações em 61 áreas, até 1 m de profundidade, nos biomas Cerrado e Mata Atlântica, também evidenciaram aumento dos estoques de carbono em solos de áreas agrícolas, em comparação com vegetação nativa, especialmente em áreas do Cerrado. Cerri *et al.* (2023) apresentam um detalhado panorama sobre a matéria orgânica do solo e o equilíbrio global de C, ressaltando o papel relevante do reservatório de C no solo. Iniciativas globais, como "4 per mille" propõem um aumento de 0,4% no conteúdo de C nas terras agriculturáveis do planeta, o que poderia compensar quase completamente todas as emissões antropogênicas de GEE. Sá *et al.* (2025), no entanto, propôs que o incremento de C proposto é insustentável em termos de balanço de C no sistema, caso sejam utilizados, como fonte de N, fertilizantes minerais nitrogenados, o que reforça a necessidade de manejo dos sistemas produtivos usando FBN.

Outros trabalhos em áreas com pastagens bem manejadas e sistemas integrados, como lavoura-pecuária-floresta (ILPF), avançaram e indicaram a possibilidade de aumento do conteúdo de C nos solos. Além disso, nos sistemas integrados, onde existe a presença do componente arbóreo, ocorre alto potencial de acúmulo de C na biomassa das árvores (Pezzopane *et al.*, 2021). Em estudo de metanálise recente, são reportados estoques de C na ordem de 49,04 ± 18,30 e 52,5 ± 23,77 t ha^{-1} na camada de 0-30 cm do solo para áreas com integração lavoura-pecuária (ILP) e ILPF, respectivamente, cujos sistemas apresentam ainda taxas

de sequestro potencial de C de 0,41 ± 1,13 e 1,00 ± 1,68 t C ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2024). Monteiro *et al.* (2024) também reportam um sequestro na ordem de 14,54 t C ha^{-1} ao longo dos anos, após a implementação do sistema de integração pecuária-floresta (IPF).

3.2. Avanços nas práticas de manejos e uso do indicador BioAS para acúmulo de matéria orgânica no solo

No que tange à correção da acidez do solo como prática de manejo, os resultados sugerem que a utilização do calcário, especialmente com o emprego de doses elevadas combinado ao gesso reflete em maior entrada de C via resíduos vegetais, promovendo um balanço de C mais favorável. Nos sistemas que envolvem a consorciação, as espécies em consórcio com a cultura principal aumentam o potencial de acúmulo de C e N no solo, especialmente em sistemas integrados com pastagens e/ ou leguminosas. Assim, ajustes nos sistemas de produção agrícola e de manejo do solo podem contribuir para a mitigação das emissões de GEE. Resultados anteriores, similares aos citados, foram base para a criação do Plano Agricultura de Baixa Emissão de C (ABC) (2010-2020), e, hoje, em uma segunda versão, o Plano ABC+ prevê a redução da emissão de 1,1 bilhão de toneladas de CO_{2eq} até 2030, com adoção de práticas sustentáveis em mais de 72 milhões de hectares nos sistemas de produção agropecuários – um relevante desafio para o setor produtivo nacional, que deve contar com o apoio das instituições públicas de C&T&I do Brasil.

As interações entre a matéria orgânica e os microrganismos do solo controlam, em grande parte, o destino do C recém-chegado ao solo e do C orgânico protegido. Os mecanismos microbiológicos que determinam essa dinâmica da matéria orgânica do solo permanecem, entretanto, pouco conhecidos. Há um debate sobre se a formação de C orgânico no solo, que ocorre primariamente pelo aporte das plantas, é mais eficiente por meio da degradação de restos de raízes e da parte aérea ou se é mais eficiente pela entrada do C liberado na rizosfera, os chamados rizodepósitos. Evidências recentes têm apontado que a contribuição do "*input*" feito por raízes vivas é mais eficiente. O estoque de C no solo é determinado pelo balanço entre a decomposição microbiana do C orgânico e a estabilização da assimilação microbiana do C. Portanto, para melhor compreender a dinâmica do C no solo em sistemas agrícolas integrados, é de extrema importância avaliar a composição do microbioma do solo e sua correlação com os parâmetros físico-químicos dos sistemas de produção. Acredita-se que o componente biológico (enzimas, comunidade microbiana e outros) é imprescindível na avaliação da qualidade do solo, uma vez que é a primeira fração a ser impactada e está intimamente relacionada com a estabilização do C orgânico no solo.

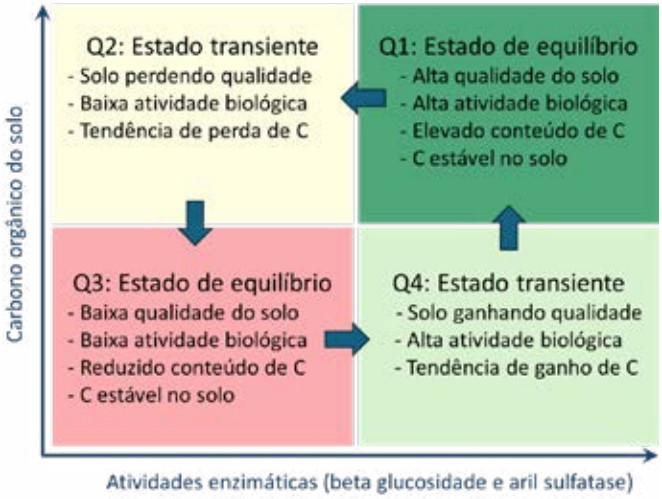


Figura 8. Modelo para avaliar tendência de C no solo, baseado nas atividades enzimáticas da beta glicosidade e da aril sulfatase (Fonte: Adaptado pelos autores, 2025, de Chaer *et al.*, 2023)

Uma ferramenta que pode auxiliar significativamente nas avaliações rápidas das condições biológicas e da saúde do solo em propriedades rurais é a metodologia BioAS, desenvolvida pela Embrapa Cerrados (Mendes *et al.*, 2021) e já disponível comercialmente em laboratórios de análise de solos em várias regiões do Brasil. Baseada na medição de duas enzimas do solo – a beta glicosidase e a aril sulfatase –, essa metodologia também pode indicar a tendência de evolução do C no solo e, sendo, portanto, uma ferramenta muito útil para apoiar o desenvolvimento em direção a fazendas de baixo C (Figura 8).

4. Quantificação do carbono no solo em propriedades rurais e oportunidades no mercado de carbono

4.1. Projetos de Carbono e MRV (Monitoramento, Relato e Verificação) para créditos de Carbono no setor agropecuário

Conforme mencionado anteriormente, o setor agropecuário é um dos poucos com potencial para sequestrar C, o que reduz, consequentemente, sua pegada de C e promove impacto relevante na mitigação das mudanças climáticas globais. De forma geral, os projetos de C no solo envolvem atividades de monitoramento, relato e verificação (MRV – "Monitoring, Reporting and Verification"), que se apoiam fundamentalmente em quantificações dos estoques de C a campo, podendo incluir também estimativas por meio de modelos, além da organização e disponibilização das informações, que devem ser auditáveis.

Há um mercado voluntário de C que opera há algum tempo, movimentando vultuosos valores anualmente, da ordem de bilhões de dólares, no qual os projetos de C são a base para a monetização. Nesse mercado, empresas que não têm condições de zerar suas emissões compram créditos de C para atingir a neutralidade em emissões, como é o caso de diversos atores dos setores de serviços, energia, indústria etc., conforme descrito também por Li *et al.,* 2022 (Figura 9). Já o mercado conhecido como regulado depende de encaminhamentos governamentais para operação em cada país. O Brasil aprovou recentemente a Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024 (Brasil, 2024), estabelecendo as bases para o mercado regulado de C no país, que deve estabelecer um novo processo econômico de monetização com base no C, e cujo setor agropecuário não foi incluído, até por demanda do próprio setor. Mas, considerando a inevitável conexão dos produtos gerados nas fazendas com as respectivas agroindústrias (que estão no mercado regulado), torna-se praticamente impossível que as propriedades não se adaptem para a contabilização e inventários dos GEE, com ações de redução de emissões dos GEE e de sequestro de C no solo. Mais adiante, o próprio setor agropecuário como um todo poderá vir a fazer parte do mercado regulado de C, seja por interesse do setor e/ou decisão estratégica do país. Independente disso, o mercado voluntário de carbono encontra-se em plena operação no país e no exterior.

O crédito de C é uma unidade de representação de emissão evitada ou captura de 1 t CO_{2eq}, usada na contabilidade em projetos de redução de emissões ou de sequestro de C. O valor é expresso em CO_{2eq} porque qualquer GEE pode ser convertido para essa unidade utilizando-se o respectivo valor de Potencial de Aquecimento Global (PAG) em relação ao CO_2, que, por definição, tem PAG igual a 1. No contexto da agricultura, os projetos de C no solo são realizados em talhões de produção agrícola nos quais novas práticas ou tecnologias serão adotadas visando ao incremento do estoque de C do solo. Essas novas práticas de manejo e/ou tecnologias são tratadas como "adicionalidades", ou seja, têm por objetivo promover reduções adicionais de emissões ao processo já existente. As adicionalidades devem ser especificadas no projeto e são essenciais para garantir a integridade do mercado de C.

O valor da tonelada de CO_{2eq} em solos ainda não está suficientemente estabelecido, mas estimativas indicam que pode chegar a US$ 20/ton de CO_{2eq}. Se considerarmos as metas do Plano ABC+, do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), de redução de emissões de 1,1 bilhão de toneladas de CO_{2eq} no período 2020-2030, pode-se chegar a um valor de US$ 220 bilhões, ou seja,

mais de 1,2 trilhão de reais (ou 120 bilhões de reais anualmente). Considerando o PIB do agro brasileiro em 2024, de R$ 2,72 trilhões, isso representa 4,4 % do PIB do setor. Entende-se que a meta do Plano ABC+ é relativamente conservadora frente ao potencial do agro brasileiro, e que, se de fato houver estímulos e condições tecnológicas e financeiras favoráveis para os agricultores em um mercado de carbono consistente, valores muito superiores poderão ser alcançados. No entanto, o ponto principal não será necessariamente o aporte adicional de recursos devido às práticas conservacionistas e de baixo carbono adotadas, mas sim a manutenção e ampliação de mercados no exterior, o apreço e confiança dos consumidores brasileiros, além do protagonismo do agro brasileiro em promover segurança alimentar com sustentabilidade para o Brasil e para o planeta.

Figura 9. Esquema de operação de mercado de carbono no solo. Através de práticas conservacionistas, e com o princípio de adicionalidade às práticas vigentes, os solos podem aumentar o conteúdo de matéria orgânica (e, portanto, de C) no solo, e com isso configurar situação de sequestro de carbono. Empresas que necessitam compensar suas emissões de gases do efeito estufa são potenciais compradoras dos créditos de carbono no mercado global (Fonte: Adaptado pelos autores, de publicação de Li *et al.*, 2022)

4.2. Protocolos de coleta de solos para Projetos de Carbono

A quantificação e o monitoramento do estoque de C no solo têm como base a unidade de manejo do produtor, ou seja, o talhão agrícola, e esse é um aspecto bastante importante. O talhão agrícola para projetos de C deve ser cuidadosamente definido, porque deve apresentar o mesmo tipo de solo e ser homogêneo em termos históricos de uso e manejo. Uma elevada variabilidade no talhão agrícola pode mascarar o incremento no estoque de C em função da adicionalidade adotada, inviabilizando a monetização no mercado de C.

Inicialmente, deve-se fazer uma amostragem de solo antes da implantação da(s) adicionalidade(s), de forma a obter a densidade do solo e o teor de C no talhão, para o cálculo do estoque:

Estoque de C = teor de C *x d *x e *

Em que:

Estoque de C = quantidade de carbono estocada em determinada camada do solo, em t C ha^{-1}

teor de C = concentração de carbono no solo (%);

d = densidade aparente do solo, em t m^{-3};

e = espessura da camada amostrada, em m.

Recomenda-se que essa amostragem inicial no talhão, para estabelecer a linha de base (baseline) do estoque de C, seja realizada até um metro (1 m) de profundidade, uma vez que, com o tempo de adoção das práticas, pode haver alteração do estoque em profundidade no perfil do solo.

As coletas são geralmente feitas com abertura de trincheiras para coleta de amostras indeformadas de solo, visando a determinação da densidade aparente do solo (Figura 10 A, B, C), acompanhadas por amostragens usando trado em pontos ao redor das trincheiras, para quantificação do teor de C no solo (Figura 10 D). Devido ao gradiente vertical de C no perfil do solo, recomenda-se amostrar em camadas mais estreitas próximas à superfície e em camadas mais largas na medida em que se alcançam maiores profundidades, tais como: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Figura 10. Detalhe da abertura de trincheira até 1 m de profundidade usando retroescavadeira (A), colocação dos anéis volumétricos (B) para amostragem e determinação da densidade no perfil do solo (C), e coleta de amostra com trado para quantificação do carbono do solo (D) (Fonte: Fotos de Bruno R. S. Costa, 2023, em Campo Novo dos Parecis/MT)

A definição do número de pontos e da distribuição no talhão, ou seja, da malha amostral, é outra questão chave para fornecer um valor confiável do estoque de C representativo do talhão. Existem documentos orientadores para essas amostragens, tais como o protocolo australiano (Department of Climate Change, Energy, The Environment and Water, 2021) e o protocolo internacional da Verra (2024), que fornecem as informações para essa definição. A Embrapa também vem estudando a questão da malha amostral para representação do estoque de C em talhões agrícolas de produção de soja e milho, e informações preliminares apontam para a necessidade de algo entre 8 e 10 trincheiras em talhões de até 50 ha. Talhões muito extensos devem ser subdivididos e, para isso, pode-se usar um mapa de solos

da propriedade (desde que ocorra variação de solo no talhão) e/ou mapas de produtividade/colheita, de forma a definir áreas mais homogêneas para a amostragem. Alguma definição de divisão do talhão para amostragem também pode ser feita baseando-se no relevo e na declividade, na ausência de informações mais acuradas, como os mapas de solo e de colheita.

Outra possibilidade para definir a amostragem dos solos é utilizar o conceito de agricultura de precisão: as zonas homogêneas dos solos, ou seja, áreas dentro da propriedade que exibem características semelhantes de atributos do solo. Essas zonas são definidas com base em critérios como composição mineral, textura, estrutura e capacidade de retenção de água, entre outros.

A definição dos créditos de C gerados no projeto será feita após nova amostragem do talhão ou zona homogênea de manejo, em um período entre três e cinco anos após o estabelecimento do "baseline" e a implantação da adicionalidade. Nesse primeiro monitoramento, para avaliar a alteração do estoque de C no solo, a amostragem pode ser restrita aos primeiros 30-40 cm, onde deverão ocorrer as alterações em médio prazo. A monetização do projeto de C, no entanto, não precisa aguardar todo esse período, podendo ser feita parcialmente em função da estimativa dos créditos de C esperados. A estimativa de sequestro de C no solo geralmente é feita utilizando-se modelo matemático, e o pagamento dos créditos de C ao produtor é parcial e conservador nos primeiros anos do projeto, realizando os ajustes necessários após a nova amostragem do talhão e determinação do novo estoque em função da adicionalidade.

4.3. Métricas de carbono no solo - simplificação e redução de custos

Uma questão bastante relevante diz respeito à operacionalização das amostragens de solos a campo e aos custos envolvidos, uma vez que a abertura de trincheiras, principalmente considerando-se a linha de base até 1 m de profundidade, é onerosa em termos de tempo, esforço e valores envolvidos. Para superar essa dificuldade, a Embrapa e parceiros vêm conduzindo trabalhos de pesquisa para o desenvolvimento de funções de pedotransferência, que utilizam outros atributos do solo de mais fácil medição, e podem incluir outras informações relevantes e relacionadas, para estimar a densidade do solo, dispensando a amostragem direta. Um passo importante nesse sentido foi o trabalho de Dos Santos *et al.* (2025), que utilizaram modelos matemáticos com informações de solo, clima e coordenadas geográficas para estimar com sucesso a densidade do solo em diferentes biomas e usos da terra no Brasil (Figura 11).

Outro avanço importante recentemente diz respeito a métodos alternativos para a quantificação do teor de C no solo, que têm como referência a

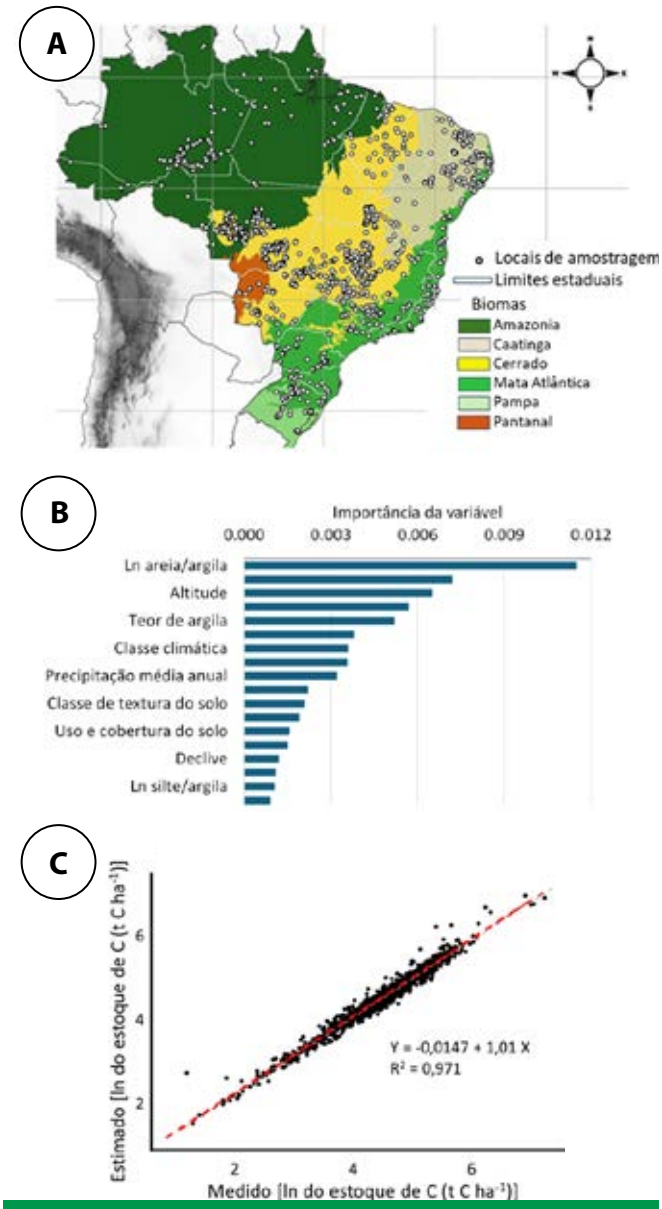


Figura 11. Distribuição geográfica dos pontos de amostragem e quantificação da densidade do solo (A); importância das variáveis no modelo utilizado para estimativa da densidade (B); e correlação entre estoques de C calculados com os valores medidos de densidade e estoques de C calculados com a densidade estimada pelo modelo (C) (Fonte: Adaptado pelos autores, 2025, de Dos Santos *et al.*, 2025)

análise por combustão seca, em analisador elementar de Carbono (geralmente conhecido como analisador CHN), visando à redução de custos com MRV e maior agilidade no processo de medidas analíticas. O método de referência internacional, analisador elementar CHN, utiliza equipamento de alto valor para aquisição e manutenção, sendo pouco disponível no Brasil em laboratórios comerciais que oferecem análises de solos. Nesse sentido, uma nova ferramenta para a quantificação de C em solos, com uso de método fotônico, a espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser, ou em inglês LIBS – "laser-induced breakdown spectroscopy", foi desenvolvida pela Embrapa Instrumentação (Nicolodelli *et al.*, 2014), e mostrou-se promissora na avaliação de C em solos agrícolas, com impacto positivo na agilidade de quantificação e redução de custos em relação ao método de referência internacional. Em projeto em cooperação com a empresa multinacional Bayer, denominado PRO Carbono, análises em número significativo de propriedades rurais em todo o país foram e estão sendo realizadas, e o LIBS demonstrou excelente desempenho (Babos *et al.*, 2024).

Em setembro de 2022, o método LIBS foi aceito para uso em projetos de pagamento de créditos de C no solo por uma importante certificadora internacional de C, a empresa Verra (www.verra.org), dos Estados Unidos. A tecnologia foi transferida para uso comercial, denominada "Plataforma IA AgLIBS", para a startup brasileira Agrorobótica (www.agrorobotica.com.br), sediada em São Carlos-SP, e que também negocia contratos de créditos de C, e com amostragens e resultados gerados para propriedades rurais em 18 estados brasileiros (Figura 12). Adicionalmente, a técnica LIBS está viabilizando análises completas de fertilidade do solo, permitindo ao produtor, em uma única amostragem e no mesmo laboratório comercial de análises de solos, obter as imprescindíveis análises de fertilidade do solo, bem como a determinação do estoque de carbono, como já está disponível na empresa licenciada pela Embrapa.

Neste momento, uma nova e muito relevante simplificação nas coletas e medidas de solos foi desenvolvida, também pela Embrapa Instrumentação, para evitar a necessidade de abertura de trincheiras e de coleta de amostras com anel volumétrico para medidas de densidade do solo. Trata-se da viabilização do uso de amostras deformadas do solo, com medidas pela técnica LIBS, para determinar a densidade do solo, conforme descrito por Villas-Boas *et al.*, 2025, no European Journal of Soil Science. Na prática, a simplificação é muito maior, pois as medidas de amostras de solo, nas diferentes profundidades, por exemplo até 1 m, utilizando unicamente a técnica LIBS, permitirão a determinação imediata do estoque de C no solo. A Embrapa também solicitou patente ao INPI da referida tecnologia e vai disponibilizá-la para empresas privadas, para amplo uso comercial, pelos produtores rurais e empresas atuantes no mercado de carbono.

Por sua vez, esforços com o uso da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS), inclusive com uso de equipamentos comerciais, para quantificação de C no solo também têm sido realizados no país e no exterior (Butkuté & Slepetiene, 2004; Beltrame *et al.*, 2016). A Embrapa Solos, em parceria com outras instituições, desenvolveu o equipamento SpecSolos para agilizar e facilitar medidas em larga escala com NIRS, e repassou a tecnologia para uso comercial ao IBRA (www.ibramegalab.ag).

Neste contexto, a Embrapa Meio Ambiente, em parceria com a Bayer Brasil, por meio do projeto Pro Carbono, desenvolveu o Ensaio de Proficiência em Carbono do Solo (EPCS).

O programa, pioneiro no Brasil, busca promover competências analíticas, harmonizar técnicas e fortalecer a confiabilidade dos resultados obtidos pelos laboratórios participantes. O EPCS já está em seu terceiro ano de realização e engloba, em seu escopo, a determinação de carbono (C) por analisadores elementares CN, CHN ou similares, além de técnicas como espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS), espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), Raman, entre outras. No contexto do mercado de carbono, a padronização nas determinações de C é fundamental para garantir a uniformidade dos resultados, assegurar sua reprodutibilidade e, consequentemente, promover e fortalecer as relações com clientes e parceiros.

5. Considerações finais

A agricultura brasileira é referência mundial na produção de alimentos e fibras, sendo um dos pilares econômicos do país e parte fundamental na garantia da segurança alimentar nacional e global. Hoje, a agricultura brasileira vive um novo momento, com protagonismo no combate e na adaptação às mudanças climáticas globais, o que inclui a adoção de boas práticas e sistemas de manejo com impactos positivos na produtividade das culturas, na resiliência do sistema produtivo e na possibilidade de monetização no mercado de carbono.

Preparar fazendas de algodão para esse novo momento significa gerenciar adequadamente a informação na fazenda e inventariar emissões no nível de propriedade rural, bem como compreender as premissas para o mercado de carbono.

Tecnologias já desenvolvidas por instituições de pesquisa, em parceria com o setor privado e disponíveis ao produtor, como o uso de fixação biológica do nitrogênio, bioinsumos, fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, uso de calagem e gesso para o enraizamento profundo das culturas, adoção da rotação de culturas e sistemas integrados, uso de plantas de cobertura, dentre outros, são estratégias para uma agricultura de baixa emissão de carbono, sequestro de carbono no solo e resiliência climática. A inovação é constante no campo e novas alternativas são continuamente disponibilizadas, inclusive para a operacionalização e redução de custos associados aos projetos de carbono, nos quais a Embrapa, universidades e o setor privado vêm fazendo aportes relevantes.

Figura 12. Foto do equipamento AgLIBS, desenvolvido em inovação aberta entre a Embrapa Instrumentação e a startup Agrorobótica, para medidas de amostras de solo com obtenção do conteúdo de carbono, fertilidade e outros parâmetros do solo, com maior agilidade e menores custos (Fonte: Foto Embrapa e Agrorobótica, 2022)

É importante, como mensagem final, destacar que, independentemente do mercado de carbono, o gerenciamento adequado das informações na propriedade e a adoção de sistemas de produção mais conservacionistas, com uso das tecnologias disponíveis para baixa emissão de C, impactam positivamente na produtividade das culturas, na redução de riscos ambientais associados a veranicos e altas temperaturas, na redução dos custos de produção e na ampliação de mercados para os produtos agrícolas.

Referências Bibliográficas

ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Setor de Fertilizantes**. Anuário Estatístico 2018. São Paulo: ANDA, 2019.

ANPII - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES. **Agroanalysis**, 2017. p.41-43. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/download/74573/71418

BABOS, D.C.; GUEDES, W.N.; FREITAS, V.S.; SILVA, F.P.; TOZO, M.L.L.; VILLAS-BOAS, P.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.M.B.P. Laser-induced breakdown spectroscopy as an analytical tool for total C quantification in tropical and subtropical soils: evaluation of calibration algorithms. **Frontiers in Soil Science**, 3: 1242647, 2024.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATTO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, 86, 237-245, 2006.

BELTRAME, K.; SOUZA, A.M. ; COELHO, M.R.; WINKLER, T.C.B.; SOUZA, W.E.; VALDERRAMA, P. Soil Organic Carbon Determination Using NIRS: Evaluation of Dichromate Oxidation and Dry Combustion Analysis as Reference Methods in Multivariate Calibration. **Journal of Brazilian Chemical Society**, 27 (9), 2016.

BRASIL. Lei n.º 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) e altera as Leis nºs 12.187/2009, 12.651/2012, 6.385/1976 e 6.015/1973. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 4, 12 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/arquivos/SIRENE/Comunicacoes-Nacionais-do-Brasil-a-UNFCCC/2020_12_22_4CN_v5_PORT_publicada.pdf

CANTARELLA, H.; ANDRADE, C.A.; MATTOS JÚNIOR, D. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de N para as culturas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ed.Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 581-596.

CERRI. C.E.P.; ABBRUZZINI, T.; CARVALHO, J.N.; CHERUBIN, M.R.; FRAZÃO, L.A.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, D. Matéria orgânica do solo e o equilíbrio global de carbono, In: **Entendendo a Matéria Orgânica do Solo em Ambientes Tropical e Subtropical**. Bettiol, W.; Silva, C.A.; Cerri, C.E.P., Martin-Neto, L., Andrade, C.A. (Editores Técnicos), Capítulo 7, 211-254, 2023, Embrapa.

CHAER, G.M.; MENDES, I.C.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V.; REIS JUNIOR, F.B.; OLIVEIRA, M.I.L. Evaluating C trends in clayey Cerrado Oxisols using a four-quadrant model based on specific arylsulfatase and β-glucosidase activities. **Applied Soil Ecology**, 183, 104742, 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2020/21**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2021. v.8. n.8. 115p. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/37061_9f96937bef1ba89e8b223cc73dbb2475

DEPARTMENT OF CLIMATE CHANGE, ENERGY, THE ENVIRONMENT AND WATER. **Carbon Farming Initiative (CFI) - Mapping Guidelines**. 2021. Disponível em: https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/cfi-mapping_guidelines.pdf.

DOS SANTOS, W.P.; VAZ, C.M.P.; MARTIN-NETO, L.; ANSELMI, A.; TOMASELLA, J.; COSTA, F.S.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; LIER, Q.J.V.; GALBIERI, R.; PERINA, F.J. Predicting bulk density in Brazilian soils for carbon stocks calculation: a comparative study of multiple linear regression and Random Forest models using continuous and categorical variables. **Discover Soil**, v.2, n. 7, 2025. https://doi.org/10.1007/s44378-025-00035-6

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Fixação biológica de nitrogênio. **Nota Técnica**. Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **BiomaPhos rendeu R$ 105 milhões ao País em 2020 com aumento de produtividade de soja e milho**. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/61084904/biomaphos-rendeu-r-105-milhoes-ao-pais-em-2020-com-aumento-de-produtividade-de-soja-e-milho

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . **Tecnologia Embrapa para absorção de fósforo rende R$ 4 bilhões ao Brasil em cinco anos**. 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/95533715/tecnologia-embrapa-para-absorcao-de-fosforo-rende-r-4-bilhoes-ao-brasil-em-cinco-anos

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica** n.35. Londrina: Embrapa Soja, 2001. n.35. 48p.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Fixação biológica do nitrogênio. In: MEYER, M.C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.C. (Eds. Técn.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Cap. 8. Brasília: Embrapa Soja, 2022. p.143-162. ISBN: 978-65-87380-96-4.

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; TAKETANI, R.G.; VASCONCELLOS, R.L.F.; MELO, I.S. Draft genome sequence of plant growth-promoting drought-tolerant *Bacillus sp*. strain CMAA 1363 isolated from the Brazilian Caatinga biome. **Genome Announcements**, v. 5, n. 5, 2017. https://doi.org/10.1128/genomeA.01534-16.

LI, X.; NING, Z.; YANG, H. A review of the relationship between China's key forestry ecology projects and carbon market under carbon neutrality. **Trees, Forests and People**, 9, 100311, 2022.

MAIA, S.M.F.; MEDEIROS, A.S.; SANTOS, T.C.; LYRA, G.B.; LAL, R.; ASSAD, E.D.; CERRI, C.E.P. Potential of no-till agriculture as a nature-based solution for climat-change mitigation in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 220, 105368, 2022. https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105368

MENDES, I.C.; CHAER, G.M.; JUNIOR, F.B.R.; SOUSA, D.M.G.; DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M.I.L.; MALAQUIAS, J.V. **Tecnologia BioAS - Uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 7 p., 2021. (Documento n.º 369). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133109/1/Tecnologia-Bioas-Documentos-369.pdf

MONTEIRO, A.; MENDES, L.B.; FANCHONE, A.; MORGAVI, D.P.; PEDREIRA, B.C.; MAGALHÃES, C.A.S.; ABDALLA, A.L.; EUGÈNE, M. Crop-livestock-forestry systems as a strategy for mitigating greenhouse gas emissions and enhancing the sustainability of forage-based livestock systems in the Amazon biome. **Science of The Total Environment**, V. 906, 167396, 2024. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167396

NICOLODELLI, G.; MARANGONI, B.S.; CABRAL, J.S.; VILLAS-BOAS, P.R.; SENESI, G.S.; SANTOS, C.H.; ROMANO, R.A.; SEGNINI, A.; LUCAS, Y.; MONTES, C.R.; MILORI, D.M.B.P. Quantification of total carbon in soil using laser-induced breakdown spectroscopy: a method to correct interference lines. **Applied Optics**, 53 (10), 2170-2176, 2014.

NICOLOSO, R.S.; RICE, C.W. Intensification of no-till agricultural systems: An opportunity for carbon sequestration. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 5, p. 1395-1409, 2021. https://doi.org/10.1002/saj2.20260

OLIVEIRA, C.A.; COTA, L.V.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SOUSA, S.M.; LANA, U.G.P.; SANTOS, F.C.; PINTO JÚNIOR, A.S.; ALVES, V.M.C. Viabilidade Técnica e Econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas Culturas de Milho e Soja. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 210. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20p.

OLIVEIRA, D.M.S.; SANTOS, R.S.; CHIZZOTI, F.H.M.; BRETAS, I.L.; FRANCO, A.L. C.; LIMA, R.P.; FREITAS, D.A.F.; CHERUBIN, M.R.; CERRI, C.E.P. Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review. **Geoderma Regional**, v. 37, e00796, 2024. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00796

OLIVEIRA, D.M.S.; TAVARES, R.L.M.; LOSS, A.; MADARI, B.E.; CERRI, C.E.P.; ALVES, B.J.R.; PEREIRA, M.G.; CHERUBIN, M.R. Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.47, 2023. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220055

PEZZOPANE, J.R.; BOSI, C.; BERNARDI, A.C.C.; MULLER, M.D.; OLIVEIRA, P.P.A. Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: Productivity parameters and PAR transmittance. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 12, 107350, 2021.

RIBEIRO, P.L.; CARLOS, F.S.; BARTH, G.; MÜHLING, K.H. Do tropical climatic conditions reduce the effectiveness of nitrification inhibitors? A meta-analysis of studies carried out in Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.125, p. 345–358, 2023. https://doi.org/10.1007/s10705-023-10266-0

SÁ, J.C.M.; LAL, R.; LORENZ, K.; BAJGAI, Y.; GAVILAN, C.; KAPOOR, M.; FERREIRA, A.O.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T.M.; CANALLI, L.B.; GONÇALVES, D.R.P.; BORTOLUZZI, J. No-till systems restore soil organic carbon stock in Brazilian biomes and contribute to the climate solution. **Science of Total Environment**, 977, 179370, 2025.

SOARES, J.R.; SOUZA, B.R.; MAZZETTO, A.M.; GALDOS, M.V.; CHADWICK, D.R.; CAMPBELL, E.E.; JAISWAL, D.; OLIVEIRA, J.C.; MONTEIRO, L.A.; VIANNA, M.S.; LAMPARELLI, R.A.C.; FIGUEIREDO, G.K.D.A.; SHEERAN, J.J.; LYND, L.R. Mitigation of nitrous oxide emissions in grazing systems through nitrification inhibitors: a meta-analysis. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 125, p. 359–377, 2023. https://doi.org/10.1007/s10705-022-10256-8

TERRA, M.C.N.S.; NUNES, M.H.; SOUZA, C.R.; FERREIRA, G.W.D.; PRADO-JUNIOR, J.A.; RESENDE, V.L.; MACIEL, R.; MANTOVANI, V.; RODRIGUES, A.; MORAIS, V.A.; SCOLFORO, J.R.; MELLO, J.M. The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas. **Science of the Total Environment**, v. 867, 161320, 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161320

VERRA. **VM0042: Improved Agricultural Land Management** (v. 2.1), 2024. https://verra.org/wp-content/uploads/2024/09/VM0042v2.1_ImprovedALM_corrected_21Jan2025.pdf

VILLAS-BOAS, P.R.; MILORI, D.M.B.P., MARTIN-NETO, L. LIBS for Rapid Soil Bulk Density and Carbon Stock Estimations: Toward Scalable Soil Carbon Monitoring. **European Journal of Soil Science**, 2025; 76:e70151. https://doi.org/10.1111/ejss.70151

Informações e contatos dos autores do Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodoeiro em Mato Grosso

Introdução

Jean- Louis BELOT
Engenheiro agrônomo, formado na ENSA de Montpellier na França, com mestrado e doutorado na Universidade USTL-Montpellier. Trabalha com melhoramento genético do algodoeiro há 40 anos. Inicialmente, atuou pelo CIRAD, em diversos países da África e da América Latina. Atualmente, é coordenador do programa de melhoramento de algodão do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), conduzindo também diversos projetos ligados à qualidade da fibra.
E-mail: jeanbelot@imamt.org.br

Patricia M.C.A. VILELA
Engenheira agrônoma, formada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e mestre em Agricultura Tropical também pela UFMT. Trabalha no Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), como pesquisadora na área de melhoramento genético do algodão.
E-mail: patriciavilela@imamt.org.br

Parte 1: Contexto edafo-climático e econômico para o cultivo algodoeiro

Capítulo 1.1 - O cultivo algodoeiro em Mato Grosso

Renato TACHINARDI
Engenheiro agrônomo e zootecnista formado em 1989, pela Faculdade de Agronomia e Zootecnia "Manoel Carlos Gonçalves", Espírito Santo do Pinhal/SP, com especialização em Gestão e Manejo Cultural do Algodão pelo IFMT, em 2008. Trabalhou em diversas fazendas de Mato Grosso e, desde 2006, é assessor técnico regional do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt) em Campo Verde e coordenador da equipe dos ATRs.
E-mail: renato.tachinardi@ampa.com.br

Jean- Louis BELOT (Cf. capítulos anteriores)

Capítulo 1.2 - Produtividade do cultivo algodoeiro em Mato Grosso - chuva, solo e época de plantio

José Holanda CAMPELO JÚNIOR
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal do Ceará, mestre em Agrometeorologia e doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq/USP), em 1985. Tem experiência e atuação na área de Agronomia, com ênfase em Agrometeorologia. Professor aposentado do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Ricardo Santos Silva AMORIM
Engenheiro agrícola pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre e doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, em 2003. Tem experiência e atuação na área de Agronomia, com ênfase em Engenharia Agrícola, conservação do solo e da água, atuando principalmente em manejo e conservação de bacias e modelos de erosão hídrica. Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
E-mail: rsamorim@cpd.ufmt.br

Capítulo 1.3 - Zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados: abrangência em 2025

Paulo Augusto Vianna BARROSO
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Lavras (1991), mestre em Energia Nuclear na Agricultura pelo CENA/USP (1995) e doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela Esalq/USP (2000). Ex-presidente da CTNBio (2020 a 2023). Pesquisador da Embrapa Algodão na área de Genética Vegetal.
E-mail: paulo.barroso@embrapa.br

Lúcia Vieira HOFFMANN
Engenheira agrônoma (1993), mestre em Genética e Melhoramento de Plantas (1996) e doutora em Microbiologia Agrícola (2000), todos pela Esalq/USP. Pesquisadora da Embrapa Algodão, com desenvolvimento de algodão transgênico e avaliação de bactérias benéficas e algodoeiros. Ex-presidente da Comissão Interna de Biossegurança (CIBio) da Embrapa Algodão e atual presidente da CIBio da Embrapa Arroz e Feijão. Liderou e participou de projetos nacionais e internacionais envolvendo marcadores moleculares para resistência a doenças e transformação de plantas.
E-mail: lucia.hoffmann@embrapa.br

Marleide Magalhães de Andrade LIMA
Engenheira florestal pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1981-1985), mestre (1994-1996) e doutora (1996-1998) em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), campus de Botucatu-SP, e pós-doutorado (2001-2002) em Genética Molecular e de Microorganismos pelo Instituto de Biociências da Unesp, também no campus de Botucatu-SP. É pesquisadora da Embrapa Algodão desde 2005, com pesquisas voltadas ao Melhoramento do Algodoeiro e para Recursos Genéticos Vegetais. Curadora do Banco Ativo de Germoplasma de Algodão, presidente da Comissão Interna de Biossegurança da Embrapa Algodão e vice-presidente da Rede de Recursos Genéticos Vegetal - Nordeste.

Sidnei Douglas CAVALIERI
Engenheiro agrônomo pela Universidade Estadual de Maringá (UEM, 2006). Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas) também pela UEM (2007) e doutorado em Agronomia (Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), na Faculdade de Ciências Agronômicas, campus de Botucatu-SP (2010), com doutorado sandwich na University of Nebraska-Lincoln, nos Estados Unidos. Pesquisador da Embrapa Algodão atuando em Sinop-MT, onde exerce atividades de pesquisa e transferência de tecnologia na área de manejo integrado de plantas daninhas em sistemas de produção agrícola.

José Jaime Vasconcelos CAVALCANTI
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1987), mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela Universidade Federal de Lavras (1997) e doutor em Biologia Molecular pela University of Reading, na Inglaterra (2004). Atualmente é pesquisador da Embrapa Algodão, atuando como coordenador do Projeto Plataforma de desenvolvimento de algodoeiro transgênico resistente ao bicudo na Embrapa Algodão. É professor dos cursos de pós-graduação de Melhoramento Genético de Plantas da UFRPE e de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Capítulo 1.4 - Gestão Operacional e Custo de Produção de Algodão

Lucilio Rogerio Aparecido ALVES
Doutor em Economia Aplicada pela Esalq/USP. É professor do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP. Atua também como pesquisador do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da Esalq/USP. Suas atividades estão relacionadas à comercialização agrícola e à gestão do negócio agropecuário, com foco nas cadeias produtivas de algodão, milho, soja, trigo, arroz, feijão e mandioca. Sua produção acadêmica tem se focado nas interrelações e na transmissão de preços do campo ao consumidor, bem como na mensuração de riscos de liquidez e de rentabilidade na produção agropecuária, no contexto de sistemas produtivos.
E-mail: lralves@usp.br

Geraldo Sant'Ana de Camargo BARROS
É graduado em Engenharia Agronômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq/USP, 1970), mestre em Economia Agrária pela mesma universidade (1973), doutor em Economia pela North Carolina State University at Raleigh, nos Estados Unidos (1976), e pós-doutorado na University of Minnesota, também nos Estados Unidos (1989). Tem experiência nas áreas de macroeconomia, agronegócio-agroenergia, comercialização, política agrícola e economia internacional. É ex-presidente da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural (Sober) e consultor frequente do World Bank, da Food and Agriculture Organization (FAO) e da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F). Atualmente, é professor titular da Universidade de São Paulo (USP) e coordenador científico do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), na Esalq/USP.
E-mail: gscbarro@usp.br

Mauro OSAKI
Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mestre em Ciência Econômica Aplicada pela Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) e engenheiro agrônomo pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atualmente, é técnico especialista superior do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP e pesquisador do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea/Esalq), com foco na gestão de propriedade rural e na análise do panorama de mercado dos setores de grãos e fertilizantes. Membro do Agribenchmark Cash Crop, apoiado pelo Instituto Johann Heinrich von Thünen (vTI) da Alemanha.
E-mail: mosaki@usp.br

Renato Garcia RIBEIRO
Doutorando e Mestre em Administração pela Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) e economista pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atualmente, é pesquisador do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea/Esalq), com foco na gestão de propriedade rural, analisando o custo de produção na agricultura e o mercado de insumos, bem como acompanha a comercialização nas cadeias produtivas de café e de citros.
E-mail: rribeiro@cepea.org.br

Parte 2. Solos e sistemas de produção para o algodoeiro

Capítulo 2.1 - Sistemas de cultivo do algodoeiro

Leandro ZANCANARO
Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, 1993). Tem mestrado em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 1996). Trabalhou na Fundação MT por 24 anos, desenvolvendo pesquisas na área de solos e manejo dos sistemas de produção, além de validação dos resultados de pesquisa em lavouras comerciais. Atualmente trabalha na Origens Parcerias Agrícolas Ltda, com foco em pesquisa e interação com produtores.
E-mail: leandrozancanaro@origens.agr.br

Claudinei KAPPES
Engenheiro agrônomo pela UNEMAT, com mestrado e doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) e pós-doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Por 10 anos foi pesquisador na área de solos da Fundação MT e Fundação Chapadão. Atualmente é diretor da NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica. Tem atuado em pesquisas com sistemas de produção, fertilidade e manejo do solo, adubação e nutrição de soja, algodão, milho safrinha e culturas de cobertura.
E-mail: claudinei.kappes@nemabio.com.br

Capítulo 2.2 - Sistemas alternativos em plantio direto de alta performance

Lucien SEGUY *(in memoriam)*
Engenheiro agrônomo formado na ENSA de Toulouse (Ensat), França, especializado em pedologia no Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer (Orstom), em 1967. Fez carreira de engenheiro de pesquisa no Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) de 1968 a 2009, trabalhando na área de sistemas agrícolas e de melhoramento de arroz na África (Senegal e República dos Camarões) entre 1968 e 1977, e, no Brasil, entre 1977 e 2009. Trabalhou com Emapa, Embrapa, Rhodia, Agronorte, USP, UEPG, IMAmt e com entidades privadas e cooperativas na montagem do plantio direto na palha nos Cerrados e no melhoramento de cultivares de arroz. Difundiu essas tecnologias no mundo tropical (Ásia, África).

Serge BOUZINAC
Engenheiro agrônomo formado na Escola Nacional Superior de Agronomia de Toulouse (Ensat), França, em 1976. Trabalhou no Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) desde 1978, no Brasil, com a equipe de L. Séguy, na área de sistemas agrícolas e de melhoramento de arroz de sequeiro. Atualmente aposentado do Cirad.
E-mail: sbouzinac@bol.com.br

Capítulo 2.3 - Manejo de solo para o cultivo do algodoeiro

Larissa BORTOLO
Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), especialista em Agronegócios pela USP e engenheira agrônoma pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atuou em projetos com a Embrapa voltados ao sequestro de carbono e saúde do solo e possui experiência em pesquisas com lixiviação e extração de potássio, fontes minerais e orgânicas, além de extensão rural. Pesquisadora em solos e sistemas de produção na Fundação MT, com atuação no Mato Grosso. Conduz projetos focados em fertilidade do solo, nutrição de plantas, sustentabilidade e manejo de sistemas produtivos envolvendo soja, algodão, milho e plantas de cobertura. Responsável pelo planejamento de ensaios, elaboração de relatórios técnicos e apresentações estratégicas, além de vendas diretas de protocolos de pesquisa em parceria com empresas do setor.
E-mail: larissabortolo@fundacaomt.com.br

Capítulo 2.4 - Agricultura de precisão e digital: tecnologias para o algodoeiro

Ziany Neiva BRANDÃO
Engenheira eletrônica e de telecomunicações. Possui mestrados em Automação Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e em Comunicações Ópticas pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutora em Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente, é responsável pela área de sensoriamento remoto da Embrapa Algodão e membro das Redes de Agricultura de Precisão e Monitoramento do estoque de Carbono em Florestas por meio de Sensoriamento Remoto.
E-mail: ziany.brandao@embrapa.br

João Henrique ZONTA
Engenheiro agrônomo graduado pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), possui mestrado e doutorado em Engenharia Agrícola/Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), atuando em pesquisas na área de engenharia de água e solo, com ênfase em modelagem de infiltração de água no solo. Pesquisador da Embrapa Algodão, atua nas áreas de manejo de irrigação, práticas de conservação de solo e água, carbono no solo, sistema ILPF e agricultura de precisão. Atua no núcleo Cerrado, região do MATOPIBA, lotado na Embrapa Maranhão, em São Luís, Maranhão.
E-mail: joao-henrique.zonta@embrapa.br

Álvaro Vilela RESENDE
Engenheiro agrônomo. Possui mestrado e doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente, é docente na pós-graduação em Ciência do Solo da UFLA e na pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), em Sete Lagoas-MG. Exerce a função de gestor do núcleo de pesquisa de Água, Solo e Sustentabilidade Ambiental da Embrapa Milho e Sorgo. Coordenador das equipes de culturas anuais dentro da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa.
E-mail: alvaro.resende@embrapa.br

Célia Regina GREGO
Possui graduação em Engenharia Agronômica (1996) pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp). Concluiu mestrado (1999) e doutorado (2002) em Agronomia, área de Energia na Agricultura, no Departamento de Engenharia Agrícola, pela Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, em Botucatu-SP. Realizou pós-doutorado no Instituto Agronômico de Campinas (2006) na área de Geoestatística aplicada ao Manejo e Conservação do Solo. Atualmente é pesquisadora na Embrapa Informática Agropecuária na área de Métodos Quantitativos Avançados, sub área Geoestatística atuando principalmente nos seguintes temas: agricultura de precisão, variabilidade espacial do solo e espacialização de dados agropecuários.
E-mail: celia.grego@embrapa.br

Eduardo Antônio SPERANZA
Bacharel em Ciências de Computação pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC/USP). Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Ciência da Computação pelo Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos (DC/UFSCar). Atuação na Coordenação Geral de Tecnologia da Informação do Ministério da Agricultura (MAPA), na gestão de sistemas corporativos. Atualmente é analista de sistemas da Embrapa Informática Agropecuária, atuando no desenvolvimento de sistemas de informações geográficas, bancos de dados espaciais e mineração de dados espaciais para agricultura de precisão.
E-mail: eduardo.speranza@embrapa.br

2.5 - Levantamento da área, amostragem de solo e de folhas

Leandro ZANCANARO (Cf. capítulos anteriores)

Lucas Souza HUNHOFF
Engenheiro Agrônomo pelo Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES), com especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas pela Faculdade IBG. Atualmente atua como consultor técnico agronômico na Origens Parcerias Agrícolas com foco em sistemas de produção e variabilidade espacial nas culturas de soja, milho e algodão.

Claudinei KAPPES (Cf. capítulos anteriores)

Capítulo 2.6 Tecnologia de bioanálise de solo (BioAS): uma forma simples e eficiente para avaliar a saúde dos solos sob cultivo de algodão

Iêda de Carvalho MENDES
Graduação em Engenharia Agronômica pela Universidade de Brasília (UnB, 1987) e doutorado em Soil Science pela Oregon State University, nos Estados Unidos (1997). É pesquisadora da Embrapa desde 1989 e trabalha na Embrapa Cerrados. Liderou os estudos que resultaram na Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), integrando as enzimas arilsulfatase e β-glicosidase às análises químicas de rotina. Coordenou a habilitação de 31 laboratórios que compõem a Rede Embrapa de Bioanálise de Solos. Seu grupo lançou, na COP 30 em Belém, a Plataforma Saúde do Solo BR, o maior banco de dados público de saúde do solo do mundo.
E-mail: ieda.mendes@embrapa.br

Guilherme Montandon CHAER
Graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 1998), mestrado em Microbiologia Agrícola pela mesma instituição (2001) e doutorado em Crop and Soil Science pela Oregon State University, nos Estados Unidos (2008). Atualmente, é pesquisador da Embrapa Agrobiologia e professor colaborador no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Atua nas áreas de microbiologia e bioquímica do solo, com foco em avaliação da qualidade e sustentabilidade dos solos. Atualmente trabalha no desenvolvimento da Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS) e no sistema de informação da fertilidade dos solos do Brasil (Fertiliza).
E-mail: guilherme.chaer@embrapa.br

Fábio Bueno dos REIS JUNIOR
Formado em Engenharia Agronômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ, 1993), mestrado e doutorado em Agronomia (Ciências do Solo) também pela UFRRJ (1998; 2002) e pós-doutorado em Microbiologia do Solo pela Universidade de Sevilha, na Espanha. Atualmente é pesquisador da Embrapa Cerrados. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Microbiologia do Solo, atuando principalmente nos seguintes temas: fixação biológica de nitrogênio, bactérias diazotróficas, ecologia microbiana, indicadores de qualidade do solo e saúde do solo. Participou do desenvolvimento da Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS).
E-mail: fabio.reis@embrapa.br

Ozanival Dario DANTAS
Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Católica de Brasília (1998), especialista em Banco de Dados pela União Educacional de Brasília (2001) e mestre em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal de Goiás (UFG, 2007). Concluiu o MBA em Data Science e Analytics pela Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) em outubro de 2025. Atua na Embrapa, onde exerceu funções de programador, analista de sistemas, administrador de banco de dados (DBA) e, mais recentemente, de auditor (2024/ 2025). Sua experiência abrange o desenvolvimento e a gestão de sistemas de informação, modelagem e administração de bancos de dados científicos e espaciais, bem como a parametrização e implementação de modelos matemáticos aplicados à pesquisa agropecuária. Participou de diversos projetos de pesquisa, com destaque para o projeto bioindicadores, que originou a BioAS e a plataforma da saúde do solo, iniciativa lançada na COP 30 em Belém.
E-mail: dario.dantas@embrapa.br

Maria Inês Lopes de OLIVEIRA
Engenharia Agronômica (UPIS-Faculdades Integradas-2004), mestrado em Ciências Agrárias pela - Universidade de Brasília (UnB-2007) e doutora em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), com período sanduíche em Montpellier, França (2010). Foi professora substituta no Instituto Federal de Brasília (IFB) de 2015 a 2017. Atualmente é colaboradora no grupo bioindicadores de qualidade do solo na Embrapa Cerrados, e participou do desenvolvimento da Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS).
E-mail: minesoliveira2@gmail.com

Juaci Vitoria MALAQUIAS
Bacharelado em Estatística pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, 1999). Possui especialização em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE/IBGE, 2001) e mestrado em Ciência de Materiais em Modelagem e Simulação Computacional pela Universidade de Brasília (UnB, 2014). Atualmente é funcionário da Embrapa Cerrados e ocupa o cargo de analista em estatística. Possui interesse nas áreas de modelagem matemática, análise de experimentos, bioestatística, análise multivariada e ciência de dados. No que tange a análise de dados, domina os softwares estatísticos SPSS e SAS, sendo um especialista no uso do Programa R, inclusive ministrando cursos presenciais.

Parte 3. A planta de algodão

Capítulo 3.1 - Crescimento do algodoeiro

Ciro Antonio ROSOLEM
Graduado em Agronomia em 1973, mestre em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) em 1978 e doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) em 1979, pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Cientista visitante da Universidade da Califórnia, Davis, nos Estados Unidos, em 1984/85. Foi fundador, diretor e diretor-presidente da Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Foi Diretor do Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Unesp. Foi coordenador da área de agrárias da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo de 1995 a 2007. Professor de Agricultura na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp). Foi vice-presidente da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e é membro do International Plant Nutrition Council. Vice-Presidente do CCAS (Conselho Científico Agro Sustentável). Tem experiência na área de Agricultura, com ênfase em fertilidade do solo, adubação, fisiologia aplicada, crescimento radicular, sistemas de produção agrícola, rotação de culturas e ciclagem de nutrientes, atuando principalmente nas culturas do algodão, soja, plantas de cobertura e integração lavoura-pecuária.
E-mail: rosolem@fca.unesp.br

Capítulo 3.2 - Distribuição da produção no algodoeiro: conceitos, fatores ecofisiológicos e implicações sobre a produtividade e sobre a qualidade de fibra

Juan Piero Antonio RAPHAEL
Engenheiro agrônomo pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), em Piracicaba-SP. Mestre e doutor em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), campus de Botucatu-SP, conduzindo estudos fitotécnicos relacionados à cultura do algodoeiro. Foi integrante do Grupo de Estudos do Algodão da Esalq/USP (2008–2010) e da Universidade do Oeste Paulista (Unoeste, 2016–2020). Atualmente é professor na Esalq/USP, em Piracicaba.
E-mail: jraphael@usp.br

Fábio Rafael ECHER
Engenheiro agrônomo (Unemat, Tangará da Serra 2006), mestre em Agronomia pela Universidade do Oeste Paulista (Unoeste, 2008) e doutor em Agronomia (FCA/Unesp-Botucatu, 2012), com período "sanduíche" na Universidade do Arkansas, nos Estados Unidos (2011-2012). Foi pesquisador do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), onde coordenou o Laboratório de Fisiologia. Pós-doutor com bolsa do CNPq (FCA/Unesp, 2017). Especialista em Fisiologia do Algodão. Atualmente é professor na Unoeste, em Presidente Prudente-SP, nos cursos de graduação, mestrado e doutorado em Agronomia e vice-coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Líder do Grupo de Estudos do Algodão (GEA) da Unoeste, em Presidente Prudente-SP.
E-mail: fabioecher@unoeste.br

Ciro Antonio ROSOLEM (Cf. capítulos anteriores)

Parte 4. Planejamento e implantação da lavoura de algodão
Capítulo 4.1 - A qualidade das sementes

Priscila Fratin MEDINA
Graduação em Engenharia Agronômica (1982), mestrado (1988) e doutorado (1994) na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), especializando-se em Fitotecnia, com ênfase em Sementes. Realizou curso em Produção e Tecnologia de Sementes no Centro Internacional de Agricultura em Wageningen, Holanda, em 1996. Pesquisadora científica no Instituto Agronômico (IAC) da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SAA) do Governo do Estado de São Paulo, onde também assumiu os cargos administrativos de diretor do Centro de Produção de Material Propagativo de 1998 a 2001, do Núcleo de Negócios Tecnológicos de 2005 a 2006 e da Unidade Laboratorial de Referência do Centro de Grãos e Fibras de 2014 a 2017, além da responsabilidade técnica pelo Laboratório de Análise de Sementes do IAC de 2009 a 2017.

Sheila FANAN
Graduação em Engenharia Agronômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), 2004. Tem mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), 2008, com ênfase em Tecnologia de Sementes. Trabalhou no laboratório de sementes do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt).

Leonardo Bitencourt SCOZ
Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em Biotecnologia pela Universidade do Vale do Itajaí (Univali), Santa Catarina, 2007. Mestre em Fitotecnia com ênfase em Melhoramento e Biotecnologia Vegetal, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2010). Foi pesquisador do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), onde coordenou o Laboratório de Biologia Molecular.

Idimar LEONI
Natural do norte do Paraná, filho de pequeno agricultor e produtor de algodão. Estudou Engenharia Agronômica na Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneguel em Bandeirantes-PR, concluindo em 1999. Tem especialização em Gestão e Manejo na Cultura do Algodoeiro pelo CEFET/MT, 2009. Cursou Mestrado Técnico em Produção de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), concluído em 2015. Curso de MBA em Agronegócios pela Faculdade IBG Business School, 2025. Em 2009, ingressou no Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), onde atua na função de Manutenção e Produção de Sementes Genéticas.
E-mail: idimarleoni@imamt.org.br

Oldson Thiago Martins da FONSECA
Formado desde 2012 em Ciências Biológicas pela Universidade de Cuiabá (UNIC) e mestrando em Ciências e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Profissional com 15 anos de experiência, atuando nas empresas Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt) e Comdeagro, com foco em controle de qualidade de sementes e prática em análises de laboratório para as culturas de algodão e soja.
E-mail: labsementes@comdeagro.com.br

Rodrigo Chimenez FRANZON.
Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade de Cuiabá (UNIC), mestrado e doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá, no Paraná. Tem experiência na área de agronomia, com ênfase em melhoramento vegetal. Desde 2018, atua como pesquisador/melhorista de algodoeiro no Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt) , com ênfase na obtenção de cultivares com resistência às principais doenças e nematoides, e na qualidade da fibra e do caroço.
E-mail: rodrigofranzon@imamt.org.br

Capítulo 4.2 - Escolha da variedade

Jean- Louis BELOT (Cf. capítulos anteriores)
Rodrigo Chimenez FRANZON (Cf. capítulos anteriores)
Patricia M.C.A. VILELA (Cf. capítulos anteriores)

Capítulo 4.3 - Implantação da cultura

Fernando Mendes LAMAS
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 1978), mestrado em Fitotecnia (Produção Vegetal) também pela Universidade Federal de Viçosa (1988) e doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp, 1997). Atualmente é pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste. Tem experiência na área de agronomia, com ênfase em manejo e tratos culturais, atuando principalmente nos seguintes temas: cultivo e manejo do algodoeiro, sistema plantio direto, rotação de cultura, plantas de cobertura e reguladores de crescimento.
E-mail: fernando.lamas@embrapa.br

Alexandre Cunha de Barcellos FERREIRA
Engenheiro agrônomo formado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com mestrado e doutorado em Fitotecnia (Produção Vegetal) também pela UFV. É pesquisador Embrapa Algodão desde julho de 2004, trabalhando nas seguintes linhas temáticas: técnicas de cultivo, manejo e tratos culturais do algodoeiro; matologia; manejo e conservação do solo; diversificação dos sistemas de produção de algodão com rotação ou sucessão de culturas, integradas ao cultivo de plantas de cobertura, para a melhoria do ambiente produtivo.
E-mail: alexandre-cunha.ferreira@embrapa.br

Ruy Seiji YAMAOKA *(in memoriam)*
Graduado em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) em 1975, com mestrado em Fitotecnia pela mesma universidade em 1980. Pesquisador na área técnica de Fitotecnia e Engenharia Agrícola do Instituto Agronômico do Paraná (Atualmente IDR) até 2010. Desde 2015, consultor do Projeto "Viabilidade técnica e econômica de um novo modelo para retomada de algodão no Paraná", da Associação de Cotonicultores do Paraná (Acopar).

Parte 5. Condução da lavoura

Capítulo 5.1 - Correção do solo e adubação da cultura

Leandro Zancanaro (Cf. capítulos anteriores)

Evandro A. MINATO
Engenheiro agrônomo pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), mestre e doutor em solos e nutrição de plantas pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente é professor em cursos de especialização e MBA, além de atuar como consultor técnico e pesquisador na Origens Parcerias Agrícolas com ênfase em sistemas de produção, correção da acidez do solo, dinâmica de nutrientes e adubação de culturas no Cerrado.

Claudinei KAPPES (Cf. capítulos anteriores)

Capítulo 5.2 - Importância da tecnologia de aplicação para a cotonicultura

Guilherme Gomes ROLIM
Possui graduação em Tecnologia em Agroecologia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (2012), mestrado em Entomologia Agrícola pela Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE, 2014) e doutorado em Entomologia Agrícola também pela Universidade Federal Rural do Pernambuco (2018). Desde 2017 é pesquisador do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), sendo um dos responsáveis pelo seu Departamento de Entomologia. Tem experiência na área de entomologia agrícola, atuando principalmente nos seguintes temas: ecologia, biologia e resistência a inseticidas de pragas do algodoeiro com ênfase em tecnologia de aplicação e manejo do bicudo-do-algodoeiro.
E-mail: guilhermerolim@imamt.org.br

Capítulo 5.3 - Sistemas avançados de aplicação, UBV, BVO e SAM

Marcos Vilela de Magalhães MONTEIRO
É engenheiro agrônomo formado pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq/USP, 1959), piloto agrícola pela CAVAG (1967) e doutor em Agronomia pela Esalq/USP (1969). Por delegação do Ministério da Agricultura, desde 1967 formou mais de 4.000 técnicos executores e 500 agrônomos coordenadores em aviação agrícola. Atualmente, exerce a função de diretor da empresa CBB Treinamento, em Sorocaba-SP, dedicada à pesquisa, desenvolvimento e treinamento técnico em tecnologias e equipamentos voltados à aplicação de produtos químicos, botânicos, biológicos e naturais em tratamentos fitossanitários e domossanitários. Recebeu diversas medalhas em reconhecimento aos relevantes serviços prestados à aviação agrícola regional: Medalha da Ordem do Mérito "Santos Dumont", Medalha da Ordem do Mérito da Aviação Agrícola, e o Diploma de Honra ao Mérito da Superintendência Federal de Agricultura do MAPA no Estado de Mato Grosso.
E-mail: marcosvilela@bioaeronautica.com.br

Capítulo 5.4 - Pulverização eletrostática para uso agrícola

Aldemir CHAIM
Engenheiro agrônomo formado em 1978 pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), em Jaboticabal-SP, com mestrado concluído em 1984 na mesma instituição. Especialista em pulverização eletrostática, área na qual atua desde 1980. Desde 1984 é pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, onde responde pelo Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos. Nesse período, apresentou patentes relacionadas a sistemas de pulverização eletrostática e desenvolveu pesquisas voltadas à eficiência de aplicação de agrotóxicos em culturas de porte rasteiro, arbustivo e arbóreo. Também conduziu trabalhos sobre exposição de aplicadores e desenvolveu metodologias para avaliação de deposição, como o uso da Rodamina B como traçador, além de ter contribuído para a criação do programa gratuito "Gotas", destinado à análise da deposição de pulverização com uso de cartão sensível à água.
E-mail: Aldemir.chaim@embrapa.br

Capítulo 5.5 - Manejo de plantas daninhas na cultura do algodão

Edson R. de ANDRADE JUNIOR
Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) em 2006, mestre em Agricultura Tropical pela mesma instituição (UFMT) em 2009 e doutor em Agricultura Tropical pela pela mesma instituição (UFMT) em 2018. Desde 2008 Pesquisador do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), responsável pelo Departamento de Proteção de Plantas, trabalhando com manejo de plantas daninhas nas culturas do algodão e soja, plantas daninhas resistentes no estado de Mato Grosso e na destruição química dos restos culturais do algodoeiro
E-mail: edsonjunior@imamt.org.br

Anderson L. CAVENAGHI
Agrônomo formado pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) em Botucatu-SP, com mestrado e doutorado em Proteção de Plantas pela mesma instituição, com enfoque em herbicidas e plantas daninhas. Desenvolve pesquisas em controle de plantas daninhas em grandes culturas (algodão, soja e milho) e resistências a herbicidas. Atualmente é Diretor da área de conhecimento de Ciências Agrárias, Biológicas e Engenharias no Centro Universitário de Várzea Grande (Univag), em Mato Grosso.
E-mail: alcavenaghi@uol.com.br

Sebastião Carneiro GUIMARÃES
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 1977, mestre em Fitotecnia pela mesma instituição (UFV) em 1981, doutor em Fitotecnia pelo Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2000; professor aposentado da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), onde lecionou as disciplinas de Matologia e Experimentação Agrícola.
E-mail: sheepufmt@gmail.com

Capítulo 5.6 - Controle de doenças no algodoeiro em Mato Grosso

Luiz Gonzaga CHITARRA
Iniciou a graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Católica de Petrópolis (1980), bacharel em Ciências Agrárias (especialização em Agronomia) pela University of Arizona, nos Estados Unidos (1984), mestrado em Agronomia (Fitopatologia) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), em 1996, e doutorado em Food Science and Microbiology pela Wageningen University and Research Centre, na Holanda (2001). Tem experiência em fitopatologia, atuando principalmente nos seguintes temas: *Gossypium hirsutum* L., algodão, manejo de doenças, epidemiologia e fungicidas. É pesquisador da Embrapa Algodão.
E-mail: luiz.chitarra@embrapa.br

Rafael GALBIERI
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), com linha de pesquisa em doenças de plantas (algodoeiro). Doutor em Agricultura Tropical pela UFMT em 2018. Desenvolve pesquisas em resistência genética do algodoeiro a doenças e nematoides. Atualmente é pesquisador e fitopatologista do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt) e coordenador da Unidade de pesquisa do IMAmt em Primavera do Leste-MT.
E-mail: rafaelgalbieri@imamt.org.br

Capítulo 5.7 - Manejo integrado de pragas no algodoeiro em Mato Grosso

Jacob CROSARIOL NETTO
Possui Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Catanduva. Mestre e doutor em Agronomia - Entomologia Agrícola pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCAV/Unesp), campus de Jaboticabal-SP. Atualmente é pesquisador Entomologista do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt). Atua nas áreas de manejo integrado de pragas, controle químico e controle biológico de pragas. Possui experiência na área de entomologia fitotecnia e fitossanidade.
E-mail: jacobnetto@imamt.org.br

Guilherme Gomes ROLIM (Cf. capítulos anteriores)

Paulo Idimar SARAN
Consultoria Agronômica. Especialista em entomologia.

Capítulo 5.8 - Manejo de nematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso

Rafael GALBIERI (Cf. capítulos anteriores)

Mário Massayuki INOMOTO
Graduado em Engenharia Agronômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), em 1985, mestrado em Fitopatologia (USP, 1988) e doutorado em Entomologia (USP, 1995). Tem experiência na área de Nematologia Agrícola, com participação em trabalhos experimentais com os seguintes objetivos: avaliação da resistência de plantas a nematoides das galhas e das lesões; avaliação da eficiência do tratamento de sementes para controle de fitonematoides; controle de fitonematoides em sistemas de produção consorciados e integrados. Atualmente, é professor-associado da USP, onde ministra disciplinas nos cursos de graduação em Engenharia Agronômica, Engenharia Florestal, Ciências Biológicas e Gestão Ambiental, e pós-graduação em Fitopatologia.
E-mail: inomoto@usp.br

Rosangela Aparecida da SILVA
Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT, 1998), mestrado em Fitopatologia pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP, 2001) e doutorado em Fitopatologia pela mesma instituição (2008). Foi professora titular do Centro Universitário de Várzea Grande no período de 2001 a 2013. Atualmente é pesquisadora da Fundação Mato Grosso em Rondonópolis-MT tem experiência na área de agronomia, com ênfase em nematologia, atuando principalmente nos seguintes temas: manejo de nematoides em soja, milho e algodoeiro.
E-mail: rosangelasilva@fundacaomt.com.br

Guilherme Lafoucarde ASMUS
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), em 1978, com mestrado em Fitopatologia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 1981. Doutorado em Fitopatologia pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), em 2001. Dedica-se à pesquisa em manejo de nematoides fitoparasitas em sistemas integrados de produção. Pesquisador em nematologia da Embrapa Agropecuária Oeste, desde 1994.
E-mail: guilherme.asmus@embrapa.br

Capítulo 5.9 Manejo de reguladores de crescimento no algodoeiro

Fábio Rafael ECHER (Cf. capítulos anteriores)

Ana Flávia Rorato de SOUZA
Doutoranda em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade do Oeste Paulista (Unoeste), com foco em fisiologia e manejo do algodoeiro. Sua tese aborda estudos com épocas de terminação fisiológica, densidade populacional, adubação nitrogenada e cultivares em diferentes ambientes produtivos.
E-mail: ana.rrt@outlook.com

Capítulo 5.10 - Manejo de desfolha

Gustavo PAZETTI
Engenheiro agrônomo e mestre em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais. Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Tem ampla experiência em fisiologia do algodoeiro. Atualmente, é professor titular e pesquisador na Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UNIRV), em Goiás.
E-mail: pazzetti@unirv.edu.br

Jerley Fernando Alves LIMA
Técnico em agropecuária e tecnólogo em agronegócio. Tem amplo conhecimento sobre o manejo do algodoeiro, soja e milho. É sócio- proprietário da JF Consultoria, em Sorriso-MT.
E-mail: jerleyfernando@gmail.com

Capítulo 5.11 - Destruição dos restos culturais do algodoeiro

Edson Ricardo de ANDRADE JUNIOR (Cf. capítulos anteriores)

Odilon Reny Ribeiro Ferreira SILVA
Engenheiro agrícola pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), em 1977, com mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 1983, e doutorado em Engenharia Agronômica pela Universidade Politécnica de Madrid, na Espanha, em 1993. Tem ampla experiência em mecanização do cultivo algodoeiro. Atualmente, é pesquisador da Embrapa Algodão em Campina Grande-PB.
E-mail: odilon.silva@embrapa.br

Vadinei SOFIATTI
Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), em 2002, com mestrado em Ciências pela UFPel, em 2004, e doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 2006. Foi chefe adjunto de Transferência de Tecnologia da Embrapa Algodão. Atualmente, é pesquisador da Embrapa Algodão em Campina Grande-PB.
E-mail: valdinei.sofiatti@embrapa.br

Capítulo 5.12 - Manejo da água em sistemas irrigados

Igor Silva SANTOS
Natural de Carlos Chagas, em Minas Gerais. Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), instituição onde também cursou o mestrado em Irrigação sob orientação do Prof. Everardo Mantovani. Possui mais de 10 anos de experiência no setor agrícola. Atuou por quatro anos em São Gotardo-MG, no Alto Paranaíba, com foco em irrigação para hortaliças e fruticultura de alta performance. Nos últimos cinco anos, dedica-se à consultoria em grandes fazendas no Oeste da Bahia, com ênfase em grãos e fibras, especialmente no manejo do algodão irrigado via pivô central, área em que se consolidou como referência técnica.
E-mail: igor.agronomo01@gmail.com

Parte 6. Produção de uma fibra de qualidade

Capítulo 6.1 - Maximizar a rentabilidade do cultivo algodoeiro, produzindo uma fibra de qualidade e valorizando os coprodutos

Sérgio Gonçalves DUTRA
Graduação em Engenharia Agronômica pela Universidade de Brasília (UnB, 1990), mestrado em Produção Vegetal, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP, 2001) e doutorado em Agronomia pelo Programa de Energia na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) em Botucatu-SP (2013). Atua como consultor técnico na área de gerenciamento e execução de projetos no segmento agropecuário. Tem experiência na área de produção vegetal, políticas públicas em agricultura e meio ambiente e pesquisa, desenvolvimento e inovação em sistemas de produção no bioma Cerrado. Atua junto ao Programa de Qualidade de Fibra de Algodão, da Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão e do Instituto Mato-Grossense do Algodão (AMPA/IMAmt), desde 2012.
E-mail: sgdutra.sc@gmail.com

Jean Louis René BELOT (Cf. capítulos anteriores)

Capítulo 6.2 - Uso adequado das colheitadeiras

Renildo Luiz MION
Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), em 1998, mestrado em Engenharia Agrícola (Máquinas Agrícolas) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 1999, e doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCA/Unesp), campus de Botucatu, em 2002. Atualmente, é professor associado no campus de Rondonópolis da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).
E-mail: renildomion@gmail.com

Jean Louis René BÉLOT (Cf. capítulos anteriores)

Tiago Rodrigues de OLIVEIRA
Coordenador regional de Mecanização da SLC Agrícola na Regional 2, que reúne os Estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais. Trabalha há 14 anos no Agro, sendo oito anos na área de produção. Trabalhou também em concessionária da rede John Deere e foi gerente de fazenda. É formado em Administração pela instituição UNOPAR, especialista em mecanização pela UNICAMP, e está cursando Engenharia Agronômica também pela UNOPAR.
E-mail: tiago.oliveira@slcagricola.com.br

Capítulo 6.3 - Boas práticas de beneficiamento do algodão

Jean- Luc CHANSELME
Mestre pela Universidade de Paris XI, na França. Especialista em Manejamento e Tecnologia do Beneficiamento do Algodão pela Mississippi State University, nos Estados Unidos. Administrador e diretor técnico da empresa de consultoria em tecnologia do algodão Cotimes do Brasil.
E-mail: jean@cotimesdobrasil.com.br

Capítulo 6.4 - A fibra de algodão: qualidade e classificação

Jorge José de LIMA
Possui pós-graduação em Gestão pela Qualidade Total, é licenciado em Matemática, técnico têxtil e instrutor de classificação de algodão em pluma credenciado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Tem experiência nas áreas de produção e controle da qualidade em indústrias têxteis. Foi professor do SENAI/CETIQT nos cursos técnicos e engenharia têxtil (1988 a 2016). Atuou na função de classificador de algodão em pluma na parceria SENAI/CETIQT e Master Inspect no período de 1999 a 2002. Tem 30 anos de experiência nas áreas de classificação de algodão e controle da qualidade em indústrias têxteis e da cadeia do algodão.

Jean Louis René BÉLOT (Cf. capítulos anteriores)

Capítulo 6.5 - Valorização dos coprodutos do algodão

João Paulo Saraiva MORAIS
Possui graduação em Farmácia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), em 2002, e mestrado em Bioquímica também pela UFC (2006). Atualmente, é pesquisador B na Embrapa Algodão. Atua nas áreas de agronomia, agroindústria e nanotecnologia voltada ao agronegócio, com ênfase em fibras naturais e tortas de oleaginosas. Também trabalha com coprodutos das cadeias agroindustriais, como algodão, mamona, sisal, gergelim e amendoim, dentre outras, e desenvolve atividades com química verde e nanopartículas.
E-mail: joao.morais@embrapa.br

Manoel Francisco de SOUSA
Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB, 1997), mestrado em Zootecnia também pela UFPB (2001) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE, 2019). Atualmente é pesquisador da Embrapa Algodão. Tem experiência na área de zootecnia, com ênfase em avaliação de alimentos para animais, alimentação de ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: agriculturas de base familiar (incluindo a agroecológica/orgânica), semiárido, alimentação de ruminantes, armazenamento e conservação de forragens.
E-mail: manoel-francisco.sousa@embrapa.br

Frederico Olivieri LISITA
Graduado em Zootecnia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA, 1997) e mestrado em Administração Rural e Desenvolvimento também pela UFLA (2001). Atualmente é pesquisador B da Embrapa Algodão. Tem experiência na área de zootecnia, com ênfase em produção animal, atuando principalmente nos seguintes temas: agroecologia, reforma agrária, agricultura familiar, alimentação de bovinos na seca, transferência de tecnologia, alimentação alternativa de aves.
Email: frederico.lisita@embrapa.br

Everaldo MEDEIROS
Bacharel em Química Industrial pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em 1999, e doutor em Química pela mesma universidade (2004). Foi professor adjunto da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e atualmente é pesquisador da Embrapa Algodão. Atua como orientador de mestrado e doutorado do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola (UFCG) e co-orienta alunos de mestrado e doutorado do programa pós-graduação em Química (UFPB). Atua na área de química analítica, com ênfase em processos agroenergéticos, métodos analíticos, instrumentação e processos de automação em química analítica.
E-mail: everaldo.medeiros@embrapa.br

Jean Louis René Bélot (Cf. capítulos anteriores)

Parte 7. Manejo sustentável do cultivo algodoeiro

Capítulo 7.1 - ESG na produção algodoeira

Fábio Antônio CARNEIRO
Gestor nacional de programas de certificação de sustentabilidade da Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa) desde 2021. Sua função inclui o gerenciamento de benchmarking entre o Algodão Brasileiro Responsável (ABR) e o Better Cotton, definição e acompanhamento de KPIs de produção e sustentabilidade do algodão brasileiro, e representação do algodão brasileiro em fóruns do International Cotton Advisory Committee (ICAC) como membro da SEEP, Better Cotton e Textile Exchange. Fábio é especialista em agronegócio pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e técnico agrícola pela Escola Federal Agrotécnica de Santa Catarina.
E-mail: fabio.carneiro@abrapa.com.br

Sabrina PETRY
Jornalista, com mestrado em direitos humanos pela School of Advanced Studies, da University of London, na Inglaterra. Após uma experiência de seis anos como repórter da Folha de S.Paulo, passou a se dedicar a temáticas relacionadas à responsabilidade social e desenvolvimento sustentável, passando por ONGs e fundações internacionais, até fundar a Lamparina Comunicação e Sustentabilidade, que atua junto a empresas e organizações para estruturação de negócios e atividades mais sustentáveis.
E-mail: sabrina@lamparina-br.com

Capítulo 7.2 - Riscos ocupacionais na cadeia produtiva do algodão: do plantio à colheita

Antonio Nunes BARBOSA FILHO
Engenheiro mecânico e de segurança do trabalho, mestre e doutor em Engenharia de Produção, com cursos de Aperfeiçoamento em Biossegurança (pela Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/Fiocruz) e em Epidemiologia Ambiental e Ocupacional, além de bacharel em Direito. Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Há mais de três décadas se dedica às questões que versam sobre a temática "qualidade de vida no trabalho" em cursos de graduação e pós-graduação na UFPE e em outras instituições. Consultor de empresas e de órgãos setoriais. Autor de diversos livros sobre questões relacionadas à saúde e segurança ocupacional, bem como de artigos em revistas, sites e outras publicações especializadas no tocante a distintos segmentos produtivos.
E-mail: profnunesufpe@gmail.com

Capítulo 7.3 - Como limitar o impacto do cultivo do algodão sobre o meio ambiente

Eliana Freire Gaspar de Carvalho DORES
Engenheira química, obteve mestrado em Química Analítica em 1992, pela Salford University, no Reino Unido, e doutorado em Química em 2004, pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), campus de Araraquara. Atualmente, é professora e pesquisadora do Departamento de Química da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), líder do grupo de pesquisas denominado Grupo de Estudos em Poluentes Ambientais e professora em programas de pós-graduação em Recursos Hídricos e em Química.
E-mail: elidores@uol.com.br

Michelle Fernanda BRUGNERA
Michelle Fernanda Brugnera é professora associada na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), onde ministra aulas de química desde 2013. Possui doutorado e mestrado em Química Analítica pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), com estágio sanduíche na Universitat Autònoma de Barcelona, na Espanha. Atua nas áreas de química analítica, eletroanalítica e química ambiental. Tem experiência em análises de agroquímico em amostras de água e sedimento por UPLC-MS/MS e GC-MS, além de trabalhar no desenvolvimento de métodos para desinfecção de águas contaminadas e degradação de poluentes emergentes.

Antonio Brandt VECCHIATO
Geólogo, obteve mestrado em Solos e Nutrição de Plantas em 1987 pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) e doutorado em Engenharia Civil, em 1993, pela USP, campus de São Carlos. Atualmente, é professor e pesquisador do Departamento de Geologia Geral da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), vice-líder do Grupo de Estudos em Poluentes Ambientais e professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos.
E-mail: brandt@ufmt.br

Capítulo 7.4 - Controle biológico baseado em microrganismos como ferramenta no manejo integrado de doenças e pragas do algodoeiro

Tamiris R. ROLIM
Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Piauí (2012), mestrado e doutorado em Fitopatologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE, 2014/2018), com período de doutorado sanduíche na Universitat Politècnica de València, na Espanha (2017) e especialização em Bioprodutos e Bioprocessos pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp, 2025). Atualmente é pesquisadora do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), responsável pelos Laboratórios de Microrganismos Endofíticos, Microrganismos Entomopatogênicos e Controle de Qualidade de Bioprodutos. As linhas de pesquisa abrangem a área de controle biológico de pragas e doenças, com ênfase em desenvolvimento de bioprodutos para aplicação na agricultura.
E-mail: tamirisrego@imamt.org.br

Carmem A. NASCIMENTO
Doutora em Fitopatologia com ênfase em Nematologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e engenheira agrônoma formada pela Universidade Federal do Piauí (UFPI/CPCE). Atuou por três anos como assistente técnica no setor de formulação de produtos biológicos da Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Agronegócio e Instituto Mato-Grossense do Algodão (Comdeagro/IMAmt), no Centro de Treinamento de Campo Verde-MT, onde acompanha etapas do processo de formulação de biológicos, além de atuar no Laboratório de Controle de Qualidade. Atualmente, é responsável pelo Laboratório de Nematologia do IMAmt, também no Centro de Treinamento de Campo Verde-MT, onde conduz pesquisas voltadas ao controle biológico de *M. enterolobii* e *P. brachyurus*, bem como à resistência de cultivares de soja a *P. brachyurus*.

Jéssica A. OLIVEIRA
Possui doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (Unesp) e especialização em Bioprodutos e Bioprocessos pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). É pesquisadora do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), responsável pelos Laboratórios de Prospecção e de Escalonamento de Produção de Cepas Bacterianas. Também é responsável pelos bioensaios em dieta artificial para o controle de *Spodoptera frugiperda* e *Anthonomus grandis*, pelo banco de germoplasma de *Bacillus* spp., pela gestão de projetos de pesquisa, orçamentos e equipes. Suas linhas de pesquisa abrangem o controle biológico de pragas, doenças e plantas daninhas na agricultura e o desenvolvimento de produtos biológicos para a promoção do crescimento de plantas.
E-mail: jessicaoliveira@imamt.org.br

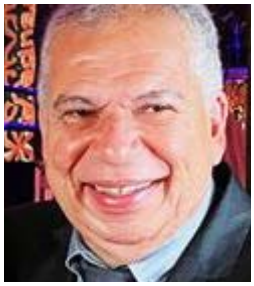
Mario POZZA JR.
Biólogo especializado em microbiologia agrícola, com conhecimentos em prospecção microbiana e isolamento de compostos bioativos. Como pesquisador do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), coordena o Laboratório de Prospecção de Fungos, com foco no desenvolvimento de bioinsumos para o controle de doenças do algodão e soja, e o Laboratório de Criação de Lepidópteros (*Spodoptera frugiperda* e *Chrysodeixis includens*) para estudos aplicados a bioinseticidas. Possui experiência em gestão de projetos de inovação, redes colaborativas de P&D e liderança de equipes multidisciplinares, desenvolvendo soluções sustentáveis para o agronegócio.
E-mail: mariopozza@imamt.org.br

Renata F. SANTOS
Gerente técnica da Biofábrica de Baculovírus da Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Agronegócio (Comdeagro), em Sorriso (MT). Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), campus de Rondonópolis (2020). Mestre em Ecologia e Limnologia pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (2022) e licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Maringá (UEM, 2023). Atualmente, cursa doutorado no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede Bionorte, na linha de Bioprospecção e Desenvolvimento de Bioprocessos e Bioprodutos. Desenvolve atividades na área de controle biológico, com ênfase na aplicação de baculovírus em processos produtivos voltados ao manejo integrado de pragas.
E-mail: renata.santos@comdeagro.com.br

Capítulo 7.5 - Controle Biológico com Macrorganismos

Lício Augusto Pena de SAIRRE
Engenheiro agrônomo, com MBA pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), é diretor executivo da Amipa, segundo diretor administrativo da Aprosoja-MG, membro do Conselho Gestor do Fundo Algominas, membro da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva do Algodão, diretor da Cooperpluma – Cooperativa dos Produtores de Algodão do Estado de Minas Gerais e membro do Grupo de Estudos do Algodão Mineiro (GEAM). Gestor de projetos multidisciplinares e consultor técnico de projetos de cooperação da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa) e Agência Brasileira de Cooperação (ABC) na África, com atuação presencial nos países Senegal e Etiópia, além de coordenar cooperação da Amipa nos países Benin, Mali e Costa do Marfim.
E-mail: licio.pena@amipa.com.br

Daniel BRUXEL
Engenheiro agrônomo, presidente da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa), diretor executivo da DB Agricultura e Pecuária.



Carlos Alberto Domingues da SILVA
Engenheiro agrônomo, com mestrado em Agronomia (Proteção de Plantas), doutorado em Entomologia e especialização em Gestão pela Fundação Dom Cabral. Pesquisador da Embrapa Algodão, coordena projetos de pesquisa relacionados ao manejo integrado de pragas do algodoeiro em parceria com empresas públicas e privadas do Brasil, além de colaborar com projetos de cooperação internacional com países da África. Tem experiência na área de agronomia, com ênfase em entomologia agrícola, atuando principalmente com controle biológico e resistência de plantas a insetos.

Raul Porfírio de ALMEIDA
Engenheiro agrônomo (1985) e mestre em Agronomia/Entomologia (1990) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e Ph.D. em Production Ecology & Resource Conservation pela Wageningen University (WU), na Holanda (2004). Atualmente é pesquisador da Embrapa Algodão, em Campina Grande-PB. É especialista em entomologia e atua na área de manejo integrado de pragas e de controle biológico.

José Geraldo DI STEFANO
Engenheiro agrônomo e analista da Embrapa Algodão. Mestre em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília (UnB), com especialização internacional em uso sustentável da terra nos trópicos, atua nas áreas de transferência de tecnologia, controle biológico de pragas, sistemas integrados de produção agropecuária e manejo do algodoeiro. Foi coordenador do projeto de cooperação internacional Cotton 4+Togo, entre o Brasil e países africanos, e atualmente desenvolve soluções sustentáveis para o controle do bicudo-do-algodoeiro em parceria com a Amipa.

Fauze Elias Pena de SAIRRE
Especialista em automação para produção de insetos, gestor da Biofábrica Amipa, inventor do sistema FELPS de produção de ovos de insetos em larga escala e desenvolvedor do dispensador de ovos de inimigos naturais via drones. Consultor técnico do laboratório de produção de trichogramma no Mali (África) e consultor técnico de cooperações internacionais da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa) na área de produção de macrorganismos na Bolívia, Mali e Colômbia.

José Lusimar EUGÊNIO
Jose Lusimar Eugenio, engenheiro agrônomo, coordenador agronômico da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa) , responsável pela condução técnica das experimentações agrícolas na Fazenda Amipa, coordenador do Programa Fitossanitário do algodão mineiro, responsável técnico e coordenador do manejo biológico implementado nas áreas de atuação da Biofábrica Amipa, membro do Grupo de Estudos do Algodão Mineiro (GEAM) e consultor técnico das cooperações da Amipa e Agência Brasileira de Cooperação (ABC) na África com atuação presencial nos países Senegal e Etiopia.

Lindomar Gonçalves dos REIS
Engenheiro agrônomo, pós graduado em manejo integrado de pragas, assistente técnico de campo da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa), piloto de drone credenciado, responsável pelas liberações de macrorganismos em 70.000 hectares na safra 24/25, monitoramento de pragas nas culturas do algodão, soja, milho, tomate, ervilha e café. Integrante da equipe técnica da Biofábrica Amipa que atua no Mali, na África.

Alerrander Victor Alves SANTOS
Engenheiro mecânico, supervisor da Biofábrica Amipa, coordenador de qualidade da produção de insetos, participante de cooperações internacionais da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa) na área de produção de macrorganismos na Bolívia e Mali.

Thalita Horrane da Silva SUURA
Engenheira agrônoma, assistente técnica de campo da Associação Mineira dos Produtores de Algodão (Amipa), responsável pela implementação dos protocolos e manejos agronômicos na Fazenda Experimental Amipa.

Flavio Lemes FERNANDES
Professor de entomologia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), campus Rio Paranaíba, doutor em entomologia e autor da tabela de seletividade de produtos químicos ao Crisopídeo Amipa.

Capítulo 7.6 Sistemas agroecológicos de manejo e indicadores de sustentabilidade no cultivo do algodão no Cerrado brasileiro

Evaldo Kazushi TAKIZAWA
Engenheiro agrônomo, com 35 anos de experiência, contribuiu no desenvolvimento da cultura do algodoeiro no Cerrado Brasileiro. A sua carreira foi consolidada como um dos pioneiros na consultoria agrícola para o algodoeiro em Mato Grosso, participando ativamente na implantação desta cultura no Mato Grosso. Engenheiro agrônomo na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), destaca-se por sua capacidade de integrar conhecimentos técnicos avançados com a realidade local, promovendo técnicas sustentáveis e eficientes contribuindo significativamente para o aumento da produtividade e a sustentabilidade agricultura do Cerrado. Seu trabalho nesta área não apenas fortaleceu a posição do Brasil como um dos principais produtores de algodão, mas também estabeleceu novos padrões de excelência e inovação no setor agrícola da região. Proprietário da Takizawa Engenharia Agronômica Ltda.
E-mail: ektakizawa@gmail.com

Capítulo 7.7 - Contexto e oportunidades para fazendas de algodão no mercado de carbono e na adaptação às mudanças climáticas

Ladislau MARTIN-NETO
Possui doutorado em Física Aplicada pelo Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC/USP), e pós-doutorado pela Universidade da Califórnia em Berkeley, nos Estados Unidos, com estudos sobre solos e meio ambiente. É pesquisador da Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP, liderando projetos de pesquisas em solos e matéria orgânica do solo, sequestro de carbono no solo, uso de técnicas avançadas na quantificação de carbono no solo e na dinâmica da MOS, com mais de 110 artigos publicados. Foi diretor executivo de P&D da Embrapa, em Brasília-DF. Foi eleito presidente da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS). Atualmente é colíder do Grupo de Pesquisa Terras Cultiváveis da Aliança Global de Gases do Efeito Estufa na Agropecuária, editor assistente do *European Journal of Soil Science* e vice-presidente do Comitê Diretivo de Carbono da Embrapa.
E-mail: ladislau.martin@embrapa.br

Cristiano Alberto de ANDRADE
Graduado em Engenharia Agronômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP, 1997), com mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela USP (2000) e doutorado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela mesma instituição (2004). Atualmente é pesquisador da Embrapa Meio Ambiente. Tem atuado em pesquisas na área de química e fertilidade do solo, com ênfase em matéria orgânica do solo, uso de resíduos, gases do efeito estufa, calagem em plantio direto e integração lavoura-pecuária e uso do fosfogesso.
E-mail: cristiano.andrade@embrapa.br

Ruan CARNIER
Embrapa Meio Ambiente.

Debora Marcondes Bastos PEREIRA
Possui graduação em Física pela Universidade de São Paulo (USP), mestrado e doutorado em Física pelo Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da USP e pós-doutorado na Embrapa Instrumentação, onde atualmente é pesquisadora sênior. Sua área de pesquisa na Embrapa é ótica e fotônica aplicada à agricultura e ao meio ambiente. Trabalha com o desenvolvimento de métodos, sensores e equipamentos para a análise de solos, plantas e fertilizantes. Nesta linha destacam-se o desenvolvimento de métodos utilizando a espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser para quantificação de carbono, nutrientes e contaminantes no solo, e o desenvolvimento de sistemas portáteis para o diagnóstico de doenças em plantas.
E-mail: debora.milori@embrapa.br

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS DE MANEJO DO ALGODOEIRO EM MATO GROSSO

IMAmt | AMPA