

ISSN 3085-9514

# **Eventos Técnicos & Científicos**

8

Junho, 2026

## **Resumos expandidos 21ª Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**

30 de junho e 1º de julho de 2026

Londrina, PR



**Embrapa**  
Soja

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Soja  
Ministério da Agricultura e Pecuária

ISSN 3085-9514

**Eventos Técnicos  
& Científicos**

8

Junho, 2026

**Resumos expandidos  
21ª Jornada Acadêmica  
da Embrapa Soja**

30 de junho e 1º de julho de 2026  
Londrina, PR

**Embrapa Soja**  
Londrina, PR  
2026

**Embrapa Soja**

Rod. Carlos João Strass, s/n  
Acesso Orlando Amaral, Caixa postal  
4006, CEP 86085-981, Distrito de  
Warta, Londrina, PR  
(43) 3371 6000  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações**

Presidente

*Roberta Aparecida Carnevalli*

Secretária-executiva

*Regina Maria Villas Bôas  
de Campos Leite*

Membros

*Adonis Moreira, Clara Beatriz  
Hoffmann-Campo, Claudine Dinali  
Santos Seixas, Claudio Guilherme  
Portela de Carvalho, Fernando  
Augusto Henning, Leandro Eugênio  
Cardamone Diniz, Liliane Márcia  
Mertz-Henning, Maria Cristina Neves  
de Oliveira*

Organização da publicação  
*Regina Maria Villas Bôas  
de Campos Leite  
Liliane Márcia Mertz-Henning  
Kelly Catharin*

Normalização

*Valéria de Fátima Cardoso*

Capa

*Vanessa Fuzinato Dall’Agnol*

Diagramação

*Vanessa Fuzinato Dall’Agnol e  
Marisa Yuri Horikawa*

Publicação digital: PDF

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Soja

---

Jornada Acadêmica da Embrapa Soja (21. : 2026: Londrina, PR).  
Resumos expandidos [da] XXI Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Londrina,  
PR, 30 de junho e 1 de julho de 2026 – Londrina : Embrapa Soja, 2026.

PDF (157 p.) - (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Soja, ISSN 3085-9514; 8)

1. Soja. 2. Pesquisa agrícola. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 630.2515

## Comissão organizadora

---

### **Coordenação**

*Liliane Márcia Mertz-Henning*  
(Coordenação do PIBIC-CNPq/Embrapa Soja)

### **Comunicação**

*Kelly Catharin*

### **Revisão e Editoração**

*Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

### **Diagramação**

*Marisa Yuri Horikawa*  
*Vanessa Fuzinato Dall'Agnol*

### **Banca Avaliadora**

*Arnold Barbosa de Oliveira*  
*Mauricio Albertoni Scariot*  
*Sandra Maria Bellodi Cação*

## Apresentação

---

A Jornada Acadêmica da Embrapa Soja tem como objetivo promover o trabalho desenvolvido pelos estudantes que integram o Programa de Estágio de Complementação Educacional da Embrapa e o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) junto às equipes de pesquisa e desenvolvimento da Unidade.

Por meio da inscrição de trabalhos nas modalidades escrita e oral, os participantes vivenciam a dinâmica de um evento científico, contando com o suporte de seus orientadores e do Comitê Local de Publicações (CLP) da Embrapa Soja. Além disso, interação com seus pares e com o público interno da empresa, em um significativo processo de aprendizagem.

Em sua 21ª edição, realizada nos dias 30 de junho e 1º de julho de 2026, presencialmente no auditório da Embrapa Soja, Londrina, PR, a Jornada Acadêmica contou com 21 trabalhos inscritos, cujos resumos expandidos encontram-se nesta publicação, que temos a satisfação de apresentar.

Cabe à Embrapa Soja agradecer aos orientadores e estagiários, bem como aos revisores do Comitê Local de Publicação, à banca avaliadora e ao Núcleo de Comunicação Organizacional, que contribuíram para a realização da 21ª Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. Também, segue o agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de estudos aos estagiários. Aproveitamos, ainda, para parabenizar a todos pelos resultados alcançados.

*Roberta Aparecida Carnevalli*  
Chefe-adjunta de Pesquisa e Desenvolvimento  
Embrapa Soja

# Sumário

---

1 - Avaliação de dados climáticos para acompanhamento da produtividade da soja em ambientes de seca .....	8
2 - Perfis metabômicos do solo/rizosfera associados ao encarquilhamento foliar da soja após extração por QuEChERS .....	15
3 - Eficiência de fungicidas registrados no controle da ferrugem-asiática da soja em Londrina, PR, safra 2025/2026.....	25
4 - Eficiência de ingredientes ativos isolados no controle da ferrugem-asiática da soja em Londrina, PR, safra 2025/2026.....	33
5 - Prospecção de óleos essenciais de espécies vegetais para o controle de plantas daninhas.....	39
6 - Silenciamento dos genes GmDRIP sob estresse salino em soja .....	45
7 - Infecção de <i>Noctuidae</i> causada por espécies de <i>Metarhizium</i> alimentadas com diferentes genótipos de soja .....	53
8 - Impacto das tecnologias de soja Bt e intensidade do manejo de inseticidas na dinâmica das comunidades de artrópodes sob condições de campo.....	59
9 - O papel da temperatura e de infecções mistas causadas por fungos entomopatogênicos em percevejo.....	68
10 - Otimizações dos métodos de produção e extração de dsRNA em <i>Escherichia coli</i> HT115 (DE3) .....	74
11 - Temperatura como fator modulador de viroses de noctídeos praga da cultura da soja .....	82
12 - Potencial dos Carbon Dots no aumento da eficiência da adubação foliar com zinco no girassol .....	88

13 - Agressividade e caracterização cultural de isolados de <i>Corynespora cassiicola</i> obtidos de soja e algodão .....	95
14 - Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de girassol para os mercados de óleo e alimentação de pássaros na safrinha brasileira .. .....	104
15 - Cultivares de <i>Urochloa</i> spp. e <i>Megathyrsus maximus</i> utilizadas para cobertura do solo ou forragem e seus impactos na soja em sucessão .....	110
16 - Experimentação <i>on farm</i> em agricultura de precisão para ajuste da densidade de sementes e nitrogênio na cultura do milho no norte do Paraná .....	116
17 - Teor de lignina e infecção por <i>Cercospora</i> spp. em sementes de soja: existe associação?.....	123
18 - Variabilidade do índice de acidez do solo avaliado por soluções salinas .....	130
19 - Calibração local do método de oxidação via úmida com o método de combustão à seca na quantificação de carbono em solos cultivados com soja .....	135
20 - Avaliação de eYGFp-uv no Monitoramento de Eventos Transgênicos em Soja no Sistema CRISPR/Cas .....	145
21 - Prospecção de formulações industriais à base de óleos essenciais para controle de fungos fitopatogênicos à soja.....	153

1

# Avaliação de dados climáticos para acompanhamento da produtividade da soja em ambientes de seca

Gabriel Buche<sup>(1)</sup>, Luís Guilherme Teixeira Crusiol<sup>(2)</sup>, Giovanni Veronezzi<sup>(3)</sup>, José Renato Bouças Farias<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Ciência da Computação, UniFil, Bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup>

Pesquisador visitante, bolsista FAPED/Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Laboratório de Agrometeorologia, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

O avanço das ferramentas de análise e modelagem de dados tem se mostrado cada vez mais relevante para a agricultura moderna. No Brasil, maior produtor mundial de soja e responsável por mais de 40% da produção global (Conab, 2026), compreender os fatores que influenciam a produtividade da cultura é essencial para garantir a segurança alimentar e a competitividade do agronegócio.

Apesar do expressivo volume produzido, eventos de seca prejudicam frequentemente a produtividade da soja em todo o território nacional. Ao longo de cinco décadas, as perdas associadas à seca representaram 11,65% da produção brasileira, equivalentes a 280 milhões de toneladas ou USD 152 bilhões (Ferreira et al., 2024), evidenciando a vulnerabilidade da cultura às variações climáticas e a necessidade de estratégias eficazes de mitigação de tais perdas.

A quantificação dessas perdas reforça a importância da coleta e análise de dados climáticos para a compreensão dos fatores que limitam a produtividade da soja. Variáveis como temperatura e umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, radiação solar global, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor da atmosfera exercem influência direta sobre os processos fisiológicos da cultura em cada fase de seu desenvolvimento. A disponibilidade hídrica, em especial, é reconhecida como o fator climático de maior impacto sobre o rendimento de grãos, sendo que défices ocorridos durante a fase reprodutiva, compreendendo a floração e o enchimento de grãos, podem ocasionar perdas severas e irreversíveis na produtividade (Farias et al., 2001).

Nesse contexto, a utilização de modelos numéricos para analisar a relação entre variáveis climáticas e o rendimento da soja representa uma abordagem que pode ser capaz de subsidiar a tomada de decisão ao setor agrícola. Assim, o presente trabalho teve por objetivo identificar as variáveis climáticas com maior influência sobre a produtividade da soja.

## Material e Métodos

O estudo foi conduzido com base em série histórica de dados experimentais obtidos na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina, Paraná, abrangendo 14 safras no período de 2010/2011 a 2024/2025, com exceção da safra 2021/2022. Ao longo desse período, cultivares de soja foram submetidas a quatro tratamentos distintos de disponibilidade hídrica: não irrigado (NIRR), em que as parcelas foram expostas a condições normais de precipitação pluviométrica; irrigado (IRR), com a umidade do solo mantida próxima à capacidade de campo; déficit hídrico no período vegetativo (DHV) e déficit hídrico no período reprodutivo (DHR). No total foram 80 parcelas experimentais (4 tratamentos de disponibilidade hídrica  $\times$  5 cultivares  $\times$  4 blocos). Nos tratamentos DHV e DHR as parcelas foram conduzidas sob abrigos móveis, que se fechavam automaticamente na ocorrência de precipitação pluviométrica, garantindo o controle das condições hídricas conforme o período experimental desejado.

As variáveis climáticas temperatura do ar média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin); umidade relativa do ar (UR); precipitação pluviométrica (Prec); velocidade do vento (Vel); e radiação solar global (Rad) foram coletadas em estação meteorológica localizada na Embrapa Soja e os dados foram processados no laboratório de agrometeorologia. A variável precipitação pluviométrica foi redimensionada, considerando os períodos de déficit impostos e o volume de irrigação aplicada, em cada tratamento ao longo das 14 safras. A partir dos dados dessas variáveis, foram determinados o déficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV), o balanço hídrico climatológico (Thornthwaite; Mather, 1955) e o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), obtido pela razão entre evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração máxima (ETm). A ETm é o produto entre o coeficiente da cultura (Kc) e a evapotranspiração potencial (ETp). A determinação do DPV e os valores de evapotranspiração seguiram

a metodologia utilizada por Veronezi et al. (2026) e os valores de Kc foram adotados conforme o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Farias et al., 2025).

Posteriormente, os dados climáticos foram organizados, para cada safra e tratamento, em períodos decendiais (dez dias) a partir da data de semeadura em cada safra, totalizando 12 decêndios (120 dias) por safra. Os decêndios (D) foram agrupados em quatro fases fenológicas, representando os principais estádios de desenvolvimento da soja: Fase 1, estabelecimento da lavoura (D1 e D2), compreendendo semeadura, germinação e emergência; Fase 2, crescimento vegetativo (D3, D4 e D5); Fase 3, floração e enchimento de grãos (D6 a D10); e Fase 4, maturação (D11 e D12) (Neumaier et al., 2020).

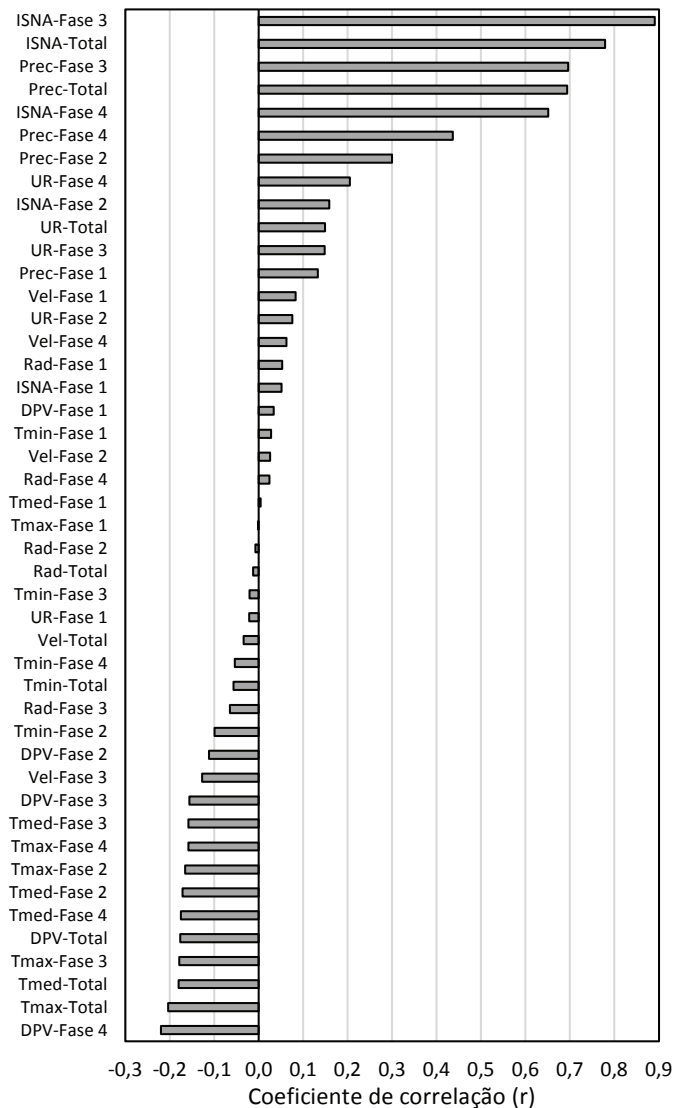
Calculou-se a correlação linear de Pearson entre a produtividade relativa da soja e cada variável climática, nas Fases 1, 2, 3 e 4, e também os valores dessas variáveis agregados ao longo dos 12 decêndios. A produtividade relativa foi obtida pela razão entre a produtividade observada em um tratamento em relação à produtividade máxima observada naquela safra. Por fim, ajustou-se a regressão linear da variável de maior correlação com a produtividade relativa.

## Resultado e Discussão

A Figura 1 apresenta o coeficiente de correlação entre as variáveis climáticas avaliadas em cada período de análise (fases ou ciclo) com a produtividade relativa da soja. Os resultados indicaram que o ISNA na Fase 3 ( $r = 0,89$ ), o ISNA total do ciclo ( $r = 0,78$ ), a precipitação na Fase 3 ( $r = 0,70$ ) e a precipitação total ( $r = 0,69$ ) foram as variáveis que apresentaram as maiores correlações com a produtividade relativa de grãos da soja.

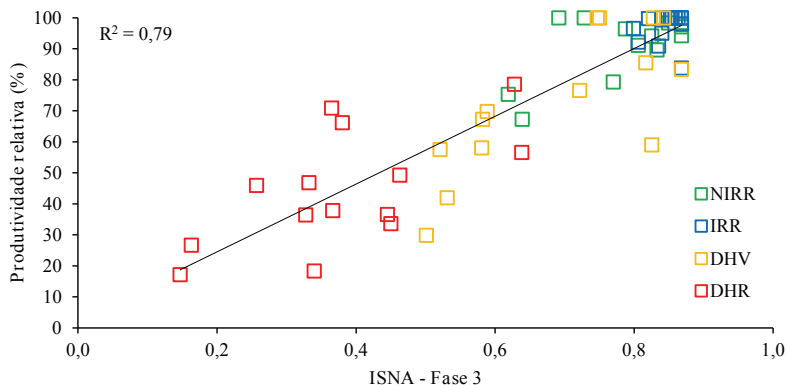
O ISNA na Fase 3 apresentou correlação superior à da precipitação total ( $r = 0,89$  e  $r = 0,69$ , respectivamente), o que pode ser explicado pelo fato de o ISNA expressar a fração da demanda hídrica da planta efetivamente atendida e não somente o volume de água ofertado às plantas por meio da precipitação pluviométrica. Dessa forma, mesmo em condições de precipitação elevada, o ISNA é capaz de refletir com maior precisão o real estado hídrico da cultura, uma vez que nem toda a água precipitada fica necessariamente disponível para absorção pela planta. Isso confere ao ISNA maior poder explicativo

sobre a produtividade do que indicadores baseados exclusivamente no volume de precipitação.



**Figura 1.** Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis climáticas por fase fenológica e produtividade relativa da soja.

Na Figura 2 é apresentada a dispersão da produtividade relativa de grãos da soja em função do ISNA na Fase 3 (variável que apresentou a maior correlação). O ajuste linear revelou que o ISNA nessa fase explica 79% da variabilidade da produtividade relativa da cultura ( $R^2 = 0,79$ ).



**Figura 2.** Regressão linear simples entre produtividade relativa de grãos da soja e ISNA na Fase 3.

A análise dos tratamentos em função do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) na Fase 3 revela um padrão consistente entre a disponibilidade hídrica e a produtividade relativa da soja. O tratamento irrigado (IRR) exibiu os maiores rendimentos ao longo das 14 safras avaliadas. Nessas condições, os valores de ISNA mantiveram-se predominantemente superiores a 0,8. Em contrapartida, o tratamento não irrigado (NIRR) registrou produtividades próximas ao IRR, com ISNA geralmente acima de 0,7. Observou-se, contudo, maior dispersão dos dados neste tratamento em relação ao IRR, o que reflete a variabilidade do balanço entre oferta e demanda de água entre as safras.

Sob condições de estresse programado, o tratamento com déficit hídrico no período vegetativo (DHV) demonstrou comportamento intermediário. Embora a cultura tenha demonstrado capacidade de recuperação em safras com atendimento da demanda hídrica após o estresse (alcançando rendimentos próximos ao máximo), a maior parte das observações concentrou-se em produtividades relativas inferiores a 80%, com ISNA acima de 0,5. Por sua vez, o tratamento

com déficit hídrico no período reprodutivo (DHR) provou-se o mais crítico. Nesse cenário, os valores de ISNA situaram-se majoritariamente abaixo de 0,5, resultando em produtividades inferiores a 60%. A frequente ocorrência de rendimento relativo inferiores a 50% neste tratamento atesta que o estresse hídrico durante a floração e o enchimento de grãos acarreta perdas severas e irreversíveis. De modo geral, os valores de ISNA na Fase 3 inferiores a 0,55 comprometem criticamente o rendimento da soja, independentemente do tratamento hídrico imposto, evidenciando a essencialidade do suprimento hídrico adequado nesta etapa fenológica.

## **Conclusão**

O presente trabalho demonstrou que o ISNA na Fase 3 (floração e enchimento de grãos) apresentou a maior correlação com a produtividade relativa da soja ( $r = 0,89$ ). O modelo linear revelou que o ISNA nessa fase explicou 79% da variabilidade da produtividade relativa ( $R^2 = 0,79$ ). Adicionalmente, observou-se que a obtenção de produtividades relativas superiores a 70% esteve majoritariamente associada a valores de ISNA acima de 0,55. Isso evidencia a marca entre 0,6 e 0,55 como um limiar crítico do ISNA, abaixo da qual o rendimento da cultura é severamente comprometido. Esses resultados reforçam que o período reprodutivo constitui a fase mais sensível ao déficit hídrico, sendo determinante para o rendimento final da lavoura.

A identificação das variáveis climáticas e das fases mais sensíveis à falta de água, representam um passo fundamental para o desenvolvimento de modelos preditivos mais robustos. A incorporação dessas variáveis em técnicas de aprendizado de máquina, combinadas com outros bancos de dados (como informações de solo, genótipo, manejo e dados espectrais), tem o potencial de ampliar significativamente a capacidade de predição do rendimento da cultura. Dessa forma, a integração entre dados climáticos, experimentais e computacionais pode contribuir para uma compreensão mais completa dos fatores que determinam a produtividade da soja, subsidiando a tomada de decisão dos agricultores e o planejamento agrícola.

## Referências

- CONAB. **Boletim da safra de grãos: 8º levantamento - safra 2025/26**, maio 2026. Disponível em: [https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2025-26/e-book\\_boletim-de-safra-8o-levantamento\\_2026.pdf](https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safra-8o-levantamento_2026.pdf). Acesso em: 26 maio 2026.
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.
- FARIAS, J. R. B.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; DEBIASI, H.; SALTON, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; COMUNELLO, E.; FIETZ, C. R.; OLIVEIRA, F. A. de. **Indicadores para classificação dos níveis de manejo no ZarcNM Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 12 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 114).
- FERREIRA, R. C.; SIBALDELLI, R. N. R.; CRUSIOL, L. G. T.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Soybean yield losses related to drought events in Brazil: spatial-temporal trends over five decades and management strategies. **Agriculture**, v. 14, n. 12, 2144, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14122144.
- NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONÇALVES, S. L. Ecofisiologia da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. cap. 2, p. 33-54. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).
- THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, 1955. 104 p.
- VERONEZZI, G.; CRUSIOL, L. G. T.; SIBALDELLI, R. N. R.; GONÇALVES, S. L.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR - 2025**. Londrina: Embrapa Soja, 2026. 31 p. (Embrapa Soja. Documentos, 482).

2

# Perfis metabolômicos do solo/rizosfera associados ao encarquilhamento foliar da soja após extração por QuEChERS

João Pedro Elias de Almeida<sup>(1)</sup>, Isabely Amadeu Montanha<sup>(2)</sup>, Cesar de Castro<sup>(3)</sup>, Fabio Alvares de Oliveira<sup>(3)</sup>, Marco Antonio Nogueira<sup>(3)</sup>, Clara Beatriz Hoffmann-Campo<sup>(3)</sup>, Guilherme Julião Zocolo<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Ciências Biológicas, Instituto Federal do Paraná, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Estudante de Mestrado em Química Analítica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) possui grande importância econômica para o Brasil, mas enfrenta distúrbios ainda pouco compreendidos, como o encarquilhamento foliar. Os sintomas incluem enrugamento do limbo, clorose e alterações associadas ao ambiente radicular, com ocorrência relatada a partir do estádio V2 e persistência até o final do ciclo (Cerezini et al., 2013; Neumaier et al., 2023a, 2023b). A metabolômica permite investigar alterações químicas em matrizes complexas e, associada ao preparo de amostras por QuEChERS/d-SPE, acrônimo em inglês de *Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe* (Rápido, Fácil, Barato, Eficaz, Robusto e Seguro), d-SPE, Dispersive Solid Phase Extraction (Extração em Fase Sólida Dispersiva), que é a etapa de «limpeza» do método QuEChERS. Ela remove impurezas e interferentes (como gorduras e pigmentos) do extrato líquido da amostra e pode auxiliar na identificação de assinaturas químicas associadas ao solo e à rizosfera (Canuto et al., 2018; González-Curbelo et al., 2022). O objetivo deste estudo foi detectar metabólitos diferencialmente expressos e abundantes em solos de áreas com e sem sintomas de encarquilhamento foliar da soja, em condições de campo.

## Material e Métodos

Amostragem e estabilização: foram avaliadas 14 unidades analíticas, compostas por 5 amostras sintomáticas, 8 assintomáticas e 1 controle de qualidade (QC). As amostras foram estabilizadas em ultrafreezer (-80 °C), submetidas a dois ciclos de liofilização de 48 h,

maceradas, peneiradas em malha de 2 mm e separadas em alíquotas de 5 g.

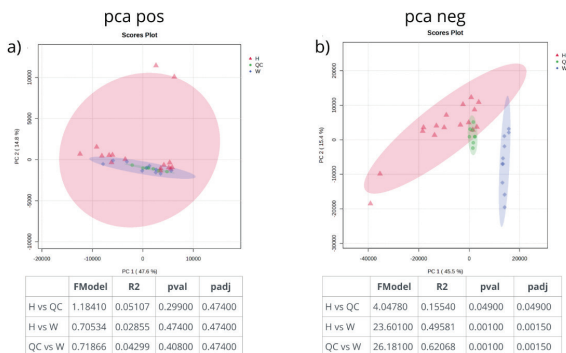
Extração QuEChERS/d-SPE: o solo foi hidratado com 5 mL de água ultrapura e extraído com 10 mL de acetonitrila acidificada a 1% de ácido fórmico. A partição foi induzida com 4 g de  $MgSO_4$  e 1 g de NaCl, seguida de centrifugação a 3.000 rpm por 10 min. Alíquotas de 6 mL do sobrenadante foram purificadas em d-SPE com 150 mg de PSA, 15 mg de carbono grafitizado e 885 mg de  $MgSO_4$ , centrifugadas por 5 min, filtradas em PVDF 0,22  $\mu m$  e enriquecidas com ácido antraceno-9-carboxílico como padrão interno (Vera et al., 2013; Zocolo; Amadeu, 2025).

Análise instrumental e estatística: as análises foram realizadas em cromatografia líquida de ultra-performance (UPLC) em um espectrômetro de massas com fonte de ionização por eletronebulização (ESI) e analisador de tempo de voo com quadrupolo (QTOF), UPLC-ESI-QTOF (Xevo G3-XS, Waters), nos modos positivo e negativo, com coluna C18 e fase móvel composta por água e acetonitrila, ambas com 0,1% de ácido fórmico. Os dados foram adquiridos em DDA (Data-Dependent Acquisition (Aquisição Dependente de Dados)), processados para detecção e alinhamento de picos e exportados para o MetaboAnalyst 6.0. Aplicaram-se a normalização por soma, o escalonamento por Pareto, a Análise de Componentes Principais (PCA, do inglês Principal Component Analysis), a Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais (PLS-DA, do inglês Partial Least Squares Discriminant Analysis) e a Análise Discriminante de Mínimos Quadrados Parciais Ortogonais (OPLS-DA), com avaliação por  $R^2$  (Coeficiente de Ajuste),  $Q^2$  (Capacidade Preditiva), VIP (variável de Importância na Projeção) e FDR (do inglês False Discovery Rate, Taxa de Descobertas Falsas, sinônimo q-value).

## Resultados e Discussão

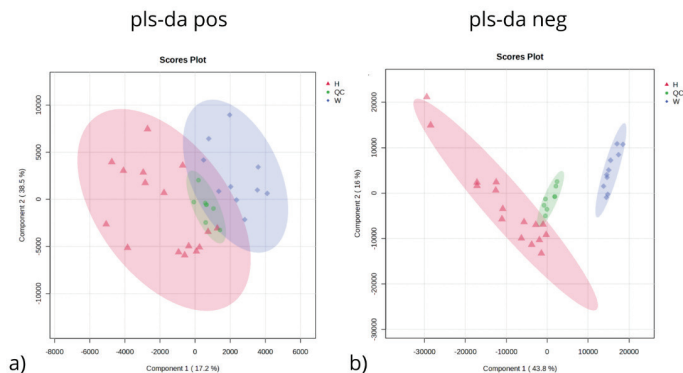
A análise não supervisionada por PCA confirmou a estabilidade analítica, com agrupamento compacto do QC, e indicou que a separação entre solos de plantas assintomáticas (H) e sintomáticas (W) dependeu do modo de ionização. No modo positivo, houve ampla sobreposição entre H, W e QC, enquanto, no modo negativo, os grupos H e W se distribuíram em regiões distintas do espaço multivariado. O quadro

estatístico associado à PCA indicou maior contribuição da diferença H × W no modo negativo ( $R^2 = 0,49581$ ;  $p$  ajustado = 0,00150), em contraste com o modo positivo ( $R^2 = 0,02855$ ;  $p$  ajustado = 0,47400). Esse resultado sugere que a fração do melhor discriminante do extrato do solo/rizosfera foi capturada por íons desprotonados ou por adutos detectados no modo negativo, sem, contudo, excluir a presença de marcadores relevantes no modo positivo. O comportamento dos scores e dos QCs é apresentado na Figura 1.



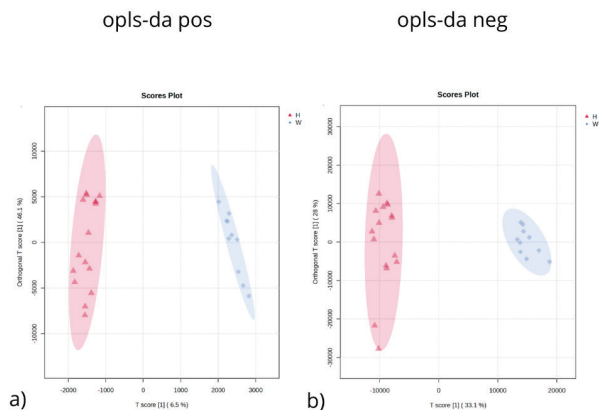
**Figura 1.** Análise de Componentes Principais (PCA) dos perfis metabolômicos nos modos (a) positivo e (b) negativo, com parâmetros estatísticos associados aos agrupamentos.

Nos modelos supervisionados, a PLS-DA evidenciou um contraste mais nítido entre H e W no modo negativo, no qual o primeiro componente concentrou 43,8% da variação discriminante, em comparação com 17,2% no modo positivo. A inclusão do QC entre os grupos experimentais foi útil para verificar a deriva analítica e mostrou uma distribuição coerente com a repetibilidade do método. Como a PLS-DA maximiza a separação entre classes, a interpretação foi mantida como exploratória e ancorada nos parâmetros de validação, a fim de reduzir o risco de sobreajuste (Worley; Powers, 2013; Triba et al., 2015). A separação supervisionada obtida por PLS-DA é apresentada na Figura 2.



**Figura 2.** PLS-DA dos perfis metabômicos nos modos (a) positivo e (b) negativo. H: solo/rizosfera de plantas assintomáticas; W: solo/rizosfera de plantas sintomáticas; QC: controle de qualidade.

A OPLS-DA reforçou a tendência observada na PLS-DA ao separar a variação preditiva da variação ortogonal não diretamente relacionada à classificação dos grupos (Trygg; Wold, 2002). No modo negativo, o componente preditivo explicou 33,1% da variação, superior ao observado no modo positivo (6,5%), o que corrobora a maior sensibilidade desse modo para captar diferenças químicas associadas ao encarquilhamento. A distribuição dos grupos nos modelos OPLS-DA é apresentada na Figura 3 e os parâmetros de desempenho são resumidos na Tabela 1.



**Figura 3.** OPLS-DA dos grupos H e W nos modos (a) positivo e (b) negativo.

**Tabela 1.** Parâmetros de desempenho e validação dos modelos multivariados.

Modelo	Modo de ionização	Componentes	R <sup>2</sup> (cum)	Q <sup>2</sup> (cum)
PLS-DA	Positivo	5	0,9130	0,7860
PLS-DA	Negativo	5	0,9650	0,9230
OPLS-DA	Positivo	1+2 ortho	0,9220	0,8180
OPLS-DA	Negativo	1+1 ortho	0,9510	0,9240

Os indicadores de desempenho dos modelos supervisionados demonstraram maior capacidade de discriminação interna no modo negativo, com Q<sup>2</sup>(cum) de 0,9230 para o PLS-DA e de 0,9240 para o OPLS-DA. Esses valores, associados aos respectivos R<sup>2</sup>(cum), indicam bom ajuste e previsibilidade interna, mas não substituem validação por permutação, CV-ANOVA e conjunto externo independente. Portanto, os resultados devem ser interpretados como evidência robusta para a priorização de marcadores candidatos, e não como um modelo diagnóstico definitivo.

A priorização dos biomarcadores putativos combinou consistência estatística, peso discriminante e reprodutibilidade analítica. As principais features (Par tempo de retenção<sub>massa</sub> (tR<sub>m/z</sub>)) são apresentadas na Tabela 2. As principais features discriminantes incluíram anotações associadas a lipídios bacterianos e metabólitos especializados fúngicos, sugerindo que o encarquilhamento foliar pode estar relacionado a alterações químico-biológicas da rizosfera, e não apenas à presença isolada de um único composto. No grupo W, o ácido 3-hidroxiocetadecanoico foi o candidato mais consistente, com  $q = 0,000$ , VIP = 2,087 e CV = 5,59%, indicando uma associação robusta com solos de plantas sintomáticas. Esse composto pertence à classe dos ácidos graxos hidroxilados, moléculas frequentemente associadas ao lipídio A dos lipopolissacarídeos de bactérias Gram-negativas, sendo utilizadas como marcadores de origem bacteriana em ambientes terrestres (Véquaud et al., 2021). Assim, sua maior abundância em W permite propor a hipótese de aumento de biomassa, renovação celular ou lise de bactérias Gram-negativas na rizosfera sintomática.

**Tabela 2.** Features discriminantes com anotações putativas e parâmetros estatísticos selecionados por LC-MS/MS. H: maior abundância em plantas assintomáticas; W: maior abundância em plantas sintomáticas.

ID	m/z	T <sub>R</sub>	Biomarcador putativo	Grupo	Indicadores estatísticos
1/2	277,1457	8,3262	Eremofilolidas (Par de isômeros)	H	q=0,016; VIP=3,363; FC=1,1; CV=3,46%
3	313,2398	9,9538	Penicitide A	H	q=0,015; VIP=1,296; FC=1,1; CV=2,20%
4	299,2603	9,7637	Ácido 3-OH-octa-decanoico	W	q<0,001; VIP=2,087; FC=1,1; CV=5,59%
6	278,1529	8,5619	Truncateol N	H	q=0,089; VIP=11,941; FC=1,1; CV=3,62%
7	177,0547	6,5501	Pyrenolide A	H	q=0,024; VIP=2,445; FC=1,3; CV=1,68%
9	203,1794	8,4250	Hypocoprin B	W	q=0,076; VIP=1,694; FC=2,6; CV=15,62%

Embora a evidência funcional direta seja mais consolidada para 3-hidroxiácidos graxos de cadeia média, esses compostos podem atuar como padrões moleculares associados a microrganismos e ativar respostas imunes vegetais, incluindo a produção de espécies reativas de oxigênio, a sinalização por MAPK e a expressão de genes de defesa (Desaki et al., 2006; Shang-Guan et al., 2018; Kutschera et al., 2019; Mittler et al., 2022). Dessa forma, propõe-se que o encarquilhamento esteja associado a uma condição de estresse rizosférico crônico, na qual sinais lipídicos microbianos poderiam induzir ativação persistente de mecanismos de defesa, desequilíbrio redox e alterações sistêmicas na fisiologia da soja. O Hypocoprin B, também enriquecido em W, deve ser interpretado como marcador secundário, devido a  $q = 0,076$  e  $CV = 15,62\%$ ; ainda assim, por se tratar de sesquiterpenoide descrito em fungos, sua ocorrência pode indicar reestruturação da comunidade fúngica e intensificação de interações competitivas na rizosfera sintomática (Jayanetti et al., 2015).

Em contraste, no grupo H, a maior abundância de moléculas como Eremofilolidas, Penicitide A, Pyrenolide A e Truncateol N indica uma assinatura metabólica distinta, possivelmente associada a metabólitos especializados fúngicos de natureza terpenoide, poliquetídica ou lactônica. Eremofilanos fúngicos apresentam ampla diversidade de atividades biológicas, incluindo efeitos antimicrobianos, fitotóxicos e moduladores das interações ecológicas (Hou et al., 2014; Yuyama et

al., 2017). Penicitide A foi descrito em *Penicillium chrysogenum* e associado à atividade antifúngica moderada contra *Alternaria brassicae*, enquanto Pyrenolide A foi originalmente descrito como substância morfogênica fúngica produzida por *Pyrenophora teres* (Nukina et al., 1980; Gao et al., 2011). Truncateol N, por sua vez, pertence ao grupo dos truncateóis, compostos isoprenilados isolados de fungos e associados à bioatividade, embora, neste estudo, deva ser tratado como candidato prioritário à validação por apresentar alto VIP e  $q = 0,089$  (Zhao et al., 2015). Portanto, a predominância desses metabólitos em H não deve ser interpretada automaticamente como ausência de atividade biológica, mas sim como possível indicativo de uma rizosfera mais estável, competitiva ou supressiva, na qual metabólitos especializados fúngicos podem contribuir para modular a microbiota e limitar a instalação de comunidades associadas ao estresse vegetal. Essa interpretação é coerente com a literatura que reconhece o microbioma da rizosfera como determinante da saúde vegetal e da supressividade de doenças no solo (Berendsen et al., 2012; Contreras-Cornejo et al., 2016). Como as identificações ainda são tentativas, a hipótese causal deve ser confirmada por padrões analíticos, autenticação espectral, ensaios microbiológicos e validação em amostras independentes, conforme recomendado para estudos metabolômicos não direcionados (Sumner et al., 2007).

Mesmo com essa limitação, os resultados ampliam a hipótese de que o encarquilhamento foliar está associado a mudanças mensuráveis no metaboloma do solo/rizosfera, especialmente em compostos extraíveis por QuEChERS/d-SPE e detectáveis no modo negativo.

## Conclusão

A metabolômica baseada em UPLC-ESI-QTOF, combinada à extração QuEChERS/d-SPE, diferenciou perfis químicos de solos/rizosferas associados a plantas de soja com e sem encarquilhamento foliar. O modo de ionização negativo apresentou melhor discriminação interna. O ácido 3-hidroxiocetadecanoico e Hypocoprín B foram associados ao grupo sintomático, enquanto Eremofilolidas, Penicitide A, Pyrenolide A e Truncateol N caracterizaram majoritariamente o grupo assintomático. A validação química e estatística independente é necessária antes de atribuir função ecológica ou uso diagnóstico aos biomarcadores propostos.

## Referências

- BERENDSEN, R. L.; PIETERSE, C. M. J.; BAKKER, P. A. H. M. The rhizosphere microbiome and plant health. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 8, p. 478-486, 2012.
- CANUTO, G. A. B.; COSTA, J. L. da; CRUZ, P. L. R da; Souza, A. R. L. de; FACCIO, A. T.; KLASSEN, A.; RODRIGUES, K. T.; TAVARES, M. F. M. Metabolômica: definições, estado-da-arte e aplicações representativas. **Química Nova**, v. 41, n. 1, p. 75-91, 2018.
- CEREZINI, P.; KUWANO, B. H.; BARBOSA, M.; OLIVEIRA, A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; HUNGRIA, M.; MOREIRA, A.; NOGUEIRA, M. A. Ocorrência de bactérias oxidantes e redutoras de manganês em solo e rizoplaneo de soja com e sem encarquilhamento foliar. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2013, Londrina. **Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a Ciência do Solo**: resumos. Londrina: IAPAR, 2013. p. 248.
- CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; DEL-VAL, E.; LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 4, fiw036, 2016.
- DESAKI, Y.; DESAKI, Y.; MIYA, A.; VENKATESH, B.; TSUYUMU, S.; YAMANE, H.; KAKU, H.; MINAMI, E.; SHIBUYA, N. Bacterial lipopolysaccharides induce defense responses associated with programmed cell death in rice cells. **Plant and Cell Physiology**, v. 47, n. 11, p. 1530-1540, 2006.
- GAO, S. S.; LI, X. M.; DU, F. Y.; LI, C. S.; PROKSCH, P.; WANG, B. G. Secondary metabolites from a marine-derived endophytic fungus *Penicillium chrysogenum* QEN-24S. **Marine Drugs**, v. 9, n. 1, p. 59-70, 2011.
- GONZÁLEZ-CURBELO, M. Á.; VARELA-MARTÍNEZ, D. A.; RIAÑO-HERRERA, D. A. Pesticide-residue analysis in soils by the QuEChERS method: a review. **Molecules**, v. 27, n. 13, 4323, 2022. 23 p. DOI: 10.3390/molecules27134323.
- HOU, C.; KULKA, M.; ZHANG, J.; LI, Y.; GUO, F. Occurrence and biological activities of eremophilane-type sesquiterpenes. **Mini-Reviews in Medicinal Chemistry**, v. 14, n. 8, p. 664-677, 2014.

JAYANETTI, D. R.; YUE, Q.; BILLS, G. F.; GLOER, J. B. Hypocoprins A-C: new sesquiterpenoids from the coprophilous fungus *Hypocopa rostrata*. **Journal of Natural Products**, v. 78, n. 3, p. 396-401, 2015.

KUTSCHERA, A.; DAWID, C.; GISCH, N.; SCHMID, C.; RAASCH, L.; GERSTER, T.; SCHÄFFER, M.; SMAKOWSKA-LUZAN, E.; BELKHADIR, Y.; VLOT, A. C.; CHANDLER, C. E.; SCHELLENBERGER, R.; SCHWUDKE, D.; ERNST, R. K.; DOREY, S.; HÜCKELHOVEN, R.; HOFMANN, T.; RANF, S. Bacterial medium-chain 3-hydroxy fatty acid metabolites trigger immunity in *Arabidopsis* plants. **Science**, v. 364, n. 6436, p. 178-181, 2019.

MITTLER, R.; ZANDALINAS, S. I.; FICHMAN, Y.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, n. 10, p. 663-679, 2022.

NEUMAIER, N.; CRUSIOL, L. G. T.; SIBALDELLI, R. N. R.; MARIN, D. R.; SILVA, B. M.; NOGUEIRA, M. A.; CASTRO, C. de; GONCALVES, S. L.; FOLONI, J. S. S.; FARIAS, J. R. B. Encarquilhamento foliar em soja - dados preliminares para a caracterização fisiológica. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 38., 2023, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2023a. p. 43-46. (Embrapa Soja. Eventos técnicos & científicos, 1).

NEUMAIER, N.; CRUSIOL, L. G. T.; SIBALDELLI, R. N. R.; SILVA, B. M.; MARIN, D. R.; NANNI, M. R.; NOGUEIRA, M. A.; CASTRO, C. de; GONCALVES, S. L.; FOLONI, J. S. S.; FARIAS, J. R. B. Avaliação espectral de plantas de soja com encarquilhamento foliar por meio de câmera multiespectral acoplada a drone. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 38., 2023, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2023b. p. 47-49. (Embrapa Soja. Eventos técnicos & científicos, 1).

NUKINA, M.; SASSA, T.; IKEDA, M. A new fungal morphogenic substance, pyrenolide A from *Pyrenophora teres*. **Tetrahedron Letters**, v. 21, n. 3, p. 301-302, 1980.

SHANG-GUAN, K. ; WANG, M.; HTWE, N. M. P. S.; LI, P.; LI, Y.; QI, F.; ZHANG, D.; CAO, M.; KIM, C.; WENG, H.; CEN, H.; BLACK, I. M.; AZADI, P.; CARLSON, R. W.; STACEY, G.; LIANG, Y. Lipopolysaccharides trigger two successive bursts of reactive oxygen species at distinct cellular locations. **Plant Physiology**, v. 176, n. 3, p. 2543-2556, 2018.

SUMNER, L. W.; AMBERG, A.; BARRETT, D.; BEALE, M. H.; BEGER, R.; DAYKIN, C. A.; FAN, T. W.; FIEHN, O.; GOODACRE, R.; GRIFFIN, J. L.; HANKEMEIER, T.; HARDY, N.; HARNLY, J.; HIGASHI, R.; KOPKA, J.; LANE, A. N.; LINDON, J. C.; MARRIOTT, P.; NICHOLLS, A. W.; REILY, M. D.; THADEN, J. J.; VIANI, M. R. Proposed minimum reporting standards for chemical analysis: Chemical Analysis Working Group (CAWG) Metabolomics Standards Initiative (MSI). **Metabolomics**, v. 3, n. 3, p. 211-221, 2007.

TRIBA, M. N.; LE MOYEC, L.; AMATHIEU, R.; GOOSSENS, C.; BOUCHEMAL, N.; NAHON, P.; RUTLEDGE, D. N.; SAVARIN, P. PLS/OPLS models in metabolomics: the impact of permutation of dataset rows on the K-fold cross-validation quality parameters. **Molecular BioSystems**, v. 11, n. 1, p. 13-19, 2015.

TRYGG, J.; WOLD, S. Orthogonal projections to latent structures (O-PLS). **Journal of Chemometrics**, v. 16, n. 3, p. 119-128, 2002.

VÉQUAUD, P.; DERENNE, S.; THIBAUT, A.; ANQUETIL, C.; BONANOMI, G.; COLLIN, S.; CONTRERAS, S.; NOTTINGHAM, A. T.; SABATIER, P.; SALINAS, N.; SCOTT, W. P.; WERNE, J. P.; HUGUET, A. Development of global temperature and pH calibrations based on bacterial 3-hydroxy fatty acids in soils. **Biogeosciences**, v. 18, p. 3937-3959, 2021.

VERA, J. L.; CORREIA-SÁ, L.; PAÍGA, P.; BRAGANÇA, I.; FERNANDES, V. C.; DOMINGUES, V. F.; DELERUE-MATOS, C. QuEChERS and soil analysis: an overview. **Sample Preparation**, v. 1, p. 54-77, 2013.

WORLEY, B.; POWERS, R. Multivariate analysis in metabolomics. **Current Metabolomics**, v. 1, n. 1, p. 92-107, 2013.

YUYAMA, K. T.; FORTKAMP, D.; ABRAHAM, W. R. Eremophilane-type sesquiterpenes from fungi and their medicinal potential. **Biological Chemistry**, v. 399, n. 1, p. 13-28, 2017.

ZHAO, Y.; SI, L.; LIU, D.; PROKSCH, P.; ZHOU, D.; LIN, W. Truncateols A-N, new isoprenylated cyclohexanols from the sponge-associated fungus *Truncatella angustata* with anti-H1N1 virus activities. **Tetrahedron**, v. 71, n. 18, p. 2708-2718, 2015.

ZOCOLO, G. J.; AMADEU, I. dos S. **Protocolo de extração sólido-líquido com partição salina (QuEChERS) e purificação dispersiva (d-SPE) para análise de pesticidas ácidos em solo: procedimento operacional padronizado (POP) para determinação via UPLC-ESI-QTOF**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. (apostila).

# Eficiência de fungicidas registrados no controle da ferrugem-asiática da soja em Londrina, PR, safra 2025/2026

Vitor Gabriel de Paula<sup>(1)</sup>, Gustavo Fadel Sereniski<sup>(2)</sup>, Claudia Vieira Godoy<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, UNIFIL, Bolsista FAPED, Londrina PR. <sup>(2)</sup> Estudante de Agronomia, UNIFIL, Bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisadora, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

A ferrugem-asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença mais severa da cultura, podendo causar redução de produtividade de até 90% quando não controlada (Yorinori et al., 2005; Hartman et al., 2015). Os sintomas iniciam-se nas folhas baixas e são caracterizados por pequenos pontos escuros, com coloração esverdeada a cinza-esverdeada. No local afetado, observa-se uma protuberância na página abaxial da folha, conhecida por urédia. Na sequência, adquirem coloração castanho-claro a escura, abrindo pequeno poro, expelindo os uredosporos e que se acumulam ao seu redor e, posteriormente, são carregados pelo vento. O tecido da folha ao redor das urédias tornam-se castanho-claro e com esporulação abundante (lesão do tipo TAN = “tanish”), ou castanho-avermelhada com pouca ou nenhuma esporulação (lesão do tipo RB = “redish-brown”), encontradas em materiais com resistência (Furlan, 2005).

Várias são as estratégias para o controle da FAS, mas nenhuma é efetiva se usada de maneira isolada. Tendo em vista a diminuição da eficiência pelos fungicidas, a adoção de medidas integradas para o controle da doença é importante para a sustentabilidade da cultura (Godoy et al., 2016; Langenbach et al., 2016).

Existem diversas estratégias para o controle da ferrugem-asiática da soja que incluem a ausência da semeadura de soja e a eliminação de plantas voluntárias na entressafra por meio do vazio sanitário para redução do inóculo do fungo, a utilização de cultivares de ciclo precoce e semeaduras no início da época recomendada como estratégia de escape da doença, a utilização de cultivares com genes de resistência e o monitoramento da lavoura desde o seu início de desenvolvimento para definir o melhor momento do controle químico (Godoy et al., 2020).

A menor sensibilidade do fungo *P. pachyrhizi* aos fungicidas do grupo dos inibidores da desmetilação (IDM - triazóis), inibidores da quinoína externa (IQE - estrobilurinas) e inibidores da succinato desidrogenase (ISDH- carboxamidas) já foi relatada no Brasil (Schmitz et al., 2014; Klosowski et al., 2016; Simões et al., 2018), sendo esses os três principais grupos sítio-específicos que compõem todos os fungicidas registrados em uso para o controle da doença. Nas últimas safras, mudanças de sensibilidade do fungo *P. pachyrhizi* aos IDM têm sido observadas, influenciando o controle com prothioconazol e tebuconazol, sendo atribuídas a novas mutações como a V130A, além das já descritas anteriormente F120L, Y131H/F, I45F, K142R, I475T (Stilgenbauer et al., 2023).

A presença de novas mutações e a variação de eficiência dos fungicidas desse grupo entre locais, reforça a necessidade de rotação desses dois grupos químicos em programas de controle da ferrugem-asiática. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes fungicidas registrados no controle da ferrugem-asiática da soja em Londrina, PR, na safra 2025/2026.

## Material e Metodos

O experimento foi realizado em Londrina, PR, na fazenda experimental da Embrapa Soja. A cultivar DM 66i68 IPRO, grupo de maturação 6.6, hábito de crescimento indeterminado, foi semeada em 03 de dezembro de 2025 em Londrina, PR, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja (23°11'6"S, 51°11'30"W, 590 m). As primeiras aplicações dos tratamentos foram realizadas a partir dos 49 dias após a semeadura (R2) (Fehr; Caviness, 1977), na ausência de sintomas de ferrugem e repetidas em intervalos médios de 14 dias (R4 e R5.4), num total de quatro aplicações realizadas em 21 de janeiro, 04 de fevereiro, 19 de fevereiro e 04 de março de 2026.

Para a aplicação dos produtos foi utilizado pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, pontas de pulverização TEEJET XR 8002VS, pressão de 30 libras e volume de calda equivalente a 200 L/ha. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 11 tratamentos (Tabela 1) e quatro repetições, sendo cada repetição constituída por

parcelas com seis linhas de soja com 5 m de comprimento e espaçadas em 0,45 m, considerando-se as quatro linhas centrais como área útil para aplicação dos tratamentos e para as avaliações.

Foram realizadas avaliações periódicas da severidade da ferrugem a partir de R4 até R6 (Fehr; Caviness, 1977). As avaliações foram realizadas estimando-se a severidade nos terços inferior, médio e superior do dossel das plantas, em quatro pontos ao acaso na área útil das parcelas, sendo a média utilizada como a média de severidade da parcela. A porcentagem de controle foi estimada em relação à testemunha não tratada com fungicida. Foi estimada a fitotoxicidade causada pela aplicação dos fungicidas nos terços inferior, médio e superior do dossel das plantas para estimativa média de porcentagem de área afetada na parcela.

Ao final do ciclo, as duas linhas centrais das parcelas foram colhidas com a colhedora de parcelas Winterstaiger, para estimativa da produtividade. A produtividade foi estimada em kg/ha, corrigida para 13% de umidade. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativo foi utilizado o teste de Tukey para comparação de médias, utilizando o programa SASM-Agri (Canteri et al., 2001).

**Tabela 1.** Tratamentos com fungicidas para controle da ferrugem-asiática, *Phakopsora pachyrhizi*, na cultura da soja (tratamentos 6 e 8 são mistura em tanque de produtos registrados).

PRODUTO COMERCIAL (ingrediente ativo)	DOSE	
	L – kg p.c./ha	g i.a./ha
1. Testemunha	-	-
2. <b>Fezan Gold</b> <sup>1</sup> (clorotalonil + tebuconazol)	2,5	1.125 + 125
3. <b>Proteus</b> (clorotalonil + tebuconazol)	2,0	1500 + 120
4. <b>Sugoy</b> <sup>2</sup> (clorotalonil + impirfluxam + metominostrobrina)	2,0	1.142,8 + 34,2+ 68,6
5. <b>Fox Ultra</b> <sup>3</sup> (impirfluxam + protioconazol + trifloxistrobrina)	0,5	45 + 87,5 + 77,5
6. <b>Fox Ultra</b> <sup>3</sup> e <b>Milcozeb</b> (impirfluxam + protioconazol + trifloxistrobrina e mancozebe)	0,5 e 1,5	45 + 87,5 + 77,5 e 1.200
7. <b>Fox Supra</b> <sup>3</sup> (impirfluxam + protioconazol)	0,35	42 + 84
8. <b>Fox Supra</b> <sup>3</sup> e <b>Milcozeb</b> (impirfluxam + protioconazol e mancozebe)	0,35 e 1,5	42 + 84 e 1.200
9. <b>Evolution</b> <sup>4</sup> (azoxistrobrina + protioconazol + mancozebe)	2,0	75 + 75 + 1.050
10. <b>Curatis</b> <sup>3</sup> (picoxistrobrina + protioconazol + mancozebe)	2,5	82,5 + 72,5 + 1.032,5
11. Programa <sup>5</sup>		

<sup>1</sup>Adicionado Partner 50 mL/ha; <sup>2</sup>Adicionado Iharol Gold 0,25% v/v; <sup>3</sup>Adicionado Áureo 0,25% v/v; <sup>4</sup>Adicionado Strides 0,25% v/v; <sup>5</sup>Programa: Fezan Gold + Partner 50 ml/ha/ Fox Ultra Milcozeb + Áureo 0,25% v/v/ Proteus / Sugoy + Iharol gold 0,25% v/v; tratamentos aplicados em intervalos de 14 dias.

## Resultados e Discussão

Na primeira aplicação não havia sintomas de ferrugem. Apesar da semeadura tardia, em dezembro, os primeiros sintomas foram observados no estádio R5, em fevereiro. As altas temperaturas favoreceram a ocorrência de sintomas de fitotoxicidade, do tipo clorose internerval, nos tratamentos contendo protioconazol e tebuconazol e

as baixas precipitações, na fase de formação e enchimento de grãos, reduziu a produtividade do experimento.

Na avaliação de severidade aos 4 dias após a quarta aplicação (4DAA4) (Tabela 2), em R5.5, todos os tratamentos apresentaram severidade inferior a testemunha sem fungicida (T1 – 47,9%). Todos os tratamentos apresentaram controle >80%, com exceção do tratamento com Fox Supra (T7 – 79%). Em R6 (13DAA4), todos os tratamentos apresentaram severidade semelhante e inferior a testemunha sem fungicida (T1 – 95,5%), com controle variando de 42% a 54%. Ocorreu fitotoxicidade, com necrose interneval, nos tratamentos com Fox Ultra (T5 – 1,3%) e Fox Supra (T7 – 2,4%), sendo reduzida ou zerada com a adição de mancozebe. As baixas precipitações na fase de enchimento de grãos reduziram a produtividade no experimento, sem diferença com a testemunha sem fungicidas. A correlação entre produtividade severidade em R6 foi  $r=-0,4$ , mostrando que outros fatores (clima) interferiram na produtividade.

**Tabela 2.** Severidade da ferrugem (SEV%) em R5.5 (4 dias após a quarta aplicação – 4DAA4) e R6 (13DAA4), porcentagem de controle (%C) em relação a testemunha sem fungicida (T1), fitotoxicidade média da parcela (FITO%), produtividade (PROD) e redução de produtividade (RP%) em relação a maior produtividade.

PRODUTO COMERCIAL (ingrediente ativo)	L – kg p.c./ha	SEV R5.5 4DAA4	%C	SEV R6 13DAA4	%C	FITO% 4DAA4	PROD (kg/ha)	RP%
1. Testemunha	-	47,9 a	-	95,5 a	-	0	2.426 ab	20
2. Fezan Gold <sup>1</sup> (clorotalonil + tebuconazol)	2,5	7,0 bc	85	49,3 b	48	0	2.923 a	-
3. Proteus (clorotalonil + tebuconazol)	2,0	7,1 bc	85	50,0 b	48	0	2.854 ab	3
4. Sugoy <sup>2</sup> (clorotalonil + impirfluxam + metominostrobina)	2,0	4,8 c	90	44,3 b	54	0	2.658 ab	11
5. Fox Ultra <sup>3</sup> (impirfluxam + protriocozazol + trifloxistrobina)	0,5	8,5 bc	82	55,3 b	42	1,3	2.347 b	24
6. Fox Ultra <sup>3</sup> e Milcozeb (impirfluxam + protriocozazol + trifloxistrobina e mancozebe)	0,5 e 1,5	4,5 c	91	45,5 b	52	0	2.519 ab	17
7. Fox Supra <sup>3</sup> (impirfluxam + protriocozazol)	0,35	10,3 b	79	55,8 b	42	2,4	2.476 ab	18
8. Fox Supra <sup>3</sup> e Milcozeb (impirfluxam + protriocozazol e mancozebe)	0,35 e 1,5	4,9 c	90	48,5 b	49	0,2	2.869 ab	2
9. Evolution <sup>4</sup> (azoxistrobina + protriocozazol + mancozebe)	2,0	6,4 bc	87	46,3 b	52	0	2.553 ab	15
10. Curatis <sup>3</sup> (picoxistrobina + protriocozazol + mancozebe)	2,5	6,0 bc	87	48,0 b	50	0	2.598 ab	13
11. Programa <sup>5</sup>	2,5	6,5 bc	86	52,5 b	45	0	2.456 ab	19
CV%		20,3		10,38	%		8,18	%

## Conclusão

Nos experimentos realizados em Londrina, PR, apesar da semeadura tardia, a incidência da ferrugem foi observada a partir de R5, evoluindo rápido, mas sem causar redução de produtividade. Em R6, todos os tratamentos apresentaram severidade da ferrugem inferior a testemunha, mas sem diferença entre eles. As baixas precipitações na fase de enchimento de grãos reduziram a produtividade do experimento. A adição de mancozebe reduziu os sintomas de fitotoxicidade do tipo folha carijó pela aplicação de protioconazol.

## Referências

- CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM-Agri - Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, p. 18-24, 2001.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. (Special report, 80).
- FURLAN, S. H. Impacto, diagnose e manejo da ferrugem asiática da soja no Brasil. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO - GRÃOS, 11.; ENCONTRO DE FITOSSANIDADE DE PLANTIO DIRETO NA PALHA DO CLUBE AMIGOS DA TERRA DE AGUAÍ, 1., 2005, Aguaí. **Anais...** Aguaí: Instituto Biológico, 2005. p. 31-32.
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M. **Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 428).
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; GUIMARÃES, F. C. M.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 407-421, 2016.
- HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (ed.). **Compendium of soybean diseases**. 5<sup>th</sup> ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 56-59.

KLOSOWSKI, A. C.; MAY DE MIO, L. L.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Management Science**, v. 72, p. 1211-1215, 2016.

LANGENBACH, C.; CAMPE, R.; BEYER, S. F.; MUELLER, A. N.; CONRATH, U. Fighting Asian Soybean Rust. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, article 797, 2016. 13 p. DOI: 10.3389/fpls.2016.00797.

SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, A. C.; CRAIG, I. R.; STAMMLER, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-outside-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science**, v. 7, p. 378-388, 2014.

SIMÕES, K.; HAWLIK, A.; REHFUS, A.; GAVA, F.; STAMMLER, G. First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 125, p. 21-26, 2018.

STILGENBAUER, S; SIMÕES, K.; CRAIG, I. R.; BRAHM, L.; STEINER, U. STAMMLER, G. New CYP51genotypes in *Phakopsora pachyrhizi* have different effects on DMI sensitivity. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 130, p. 973-983, 2023.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, p. 675-677, 2005.

# Eficiência de ingredientes ativos isolados no controle da ferrugem-asiática da soja em Londrina, PR, safra 2025/2026

Gustavo Fadel Sereniski<sup>(1)</sup>, Vitor Gabriel de Paula<sup>(2)</sup>, Claudia Vieira Godoy<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, UNIFIL, Bolsista PIBIC/CNPq, Londrina PR. <sup>(2)</sup> Estudante de Agronomia, UNIFIL, Bolsista FAPED, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisadora, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

A ferrugem-asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença mais severa da cultura, podendo causar redução de produtividade de até 90% quando não controlada (Yorinori et al., 2005; Hartman et al., 2015). Os primeiros sintomas da doença são caracterizados por minúsculos pontos mais escuros do que o tecido sadio da folha, de coloração esverdeada a cinza-esverdeada, com correspondente saliência (urédia) na parte inferior da folha. Os sintomas podem aparecer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta (Yorinori et al., 2005).

Existem diversas estratégias para o controle da ferrugem-asiática da soja que incluem a ausência da semeadura de soja e a eliminação de plantas voluntárias na entressafra por meio do vazio sanitário para redução do inóculo do fungo, a utilização de cultivares de ciclo precoce e semeaduras no início da época recomendada como estratégia de escape da doença, a utilização de cultivares com genes de resistência e o monitoramento da lavoura desde o seu início de desenvolvimento para definir o melhor momento do controle químico (Godoy et al., 2020).

Ao longo dos anos, uma menor sensibilidade do fungo *P. pachyrhizi* tem sido observada no Brasil para os diferentes grupos de fungicidas sítio-específicos. Para acompanhar a sensibilidade do fungo, experimentos com ingredientes ativos isolados de diferentes grupos têm sido realizado nas diferentes regiões produtoras. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes ingredientes ativos isolados no controle da ferrugem-asiática da soja em Londrina, PR, na safra 2025/2026.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado em Londrina, PR, na fazenda experimental da Embrapa Soja. A cultivar DM 66i68 IPRO, grupo de maturação 6.6, hábito de crescimento indeterminado, foi semeada em 03 de dezembro de 2025 em Londrina, PR, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja (23°11'6"S, 51°10'31"W). As primeiras aplicações dos tratamentos foram realizadas a partir dos 49 dias após a semeadura (R2) (Fehr; Caviness, 1977), na ausência de sintomas de ferrugem e repetidas em intervalos médios de 14 dias (R4 e R5.4), num total de quatro aplicações realizadas em 23 de janeiro, 06 de fevereiro, 20 de fevereiro e 08 de março de 2026.

Para a aplicação dos produtos foi utilizado pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, pontas de pulverização TEEJET XR 8002VS, pressão de 30 libras e volume de calda equivalente a 200 L/ha. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 13 tratamentos (Tabela 1) e quatro repetições, sendo cada repetição constituída por parcelas com seis linhas de soja com 5 m de comprimento e espaçadas em 0,45 m, considerando-se as quatro linhas centrais como área útil para aplicação dos tratamentos e para as avaliações.

Foram realizadas avaliações periódicas da severidade da ferrugem a partir de R4 até R6 (Fehr; Caviness, 1977). As avaliações foram realizadas estimando-se a severidade nos terços inferior, médio e superior do dossel das plantas, em quatro pontos ao acaso na área útil das parcelas, sendo a média utilizada como a média de severidade da parcela.

Ao final do ciclo, as duas linhas centrais das parcelas foram colhidas com a colhedora de parcelas Winterstaiger, para estimativa da produtividade. A produtividade foi estimada em kg/ha, corrigida para 13% de umidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância e quando significativos foi utilizado o teste de Tukey para comparação de médias, utilizando o programa SASM-Agri (Canteri et al., 2001).

**Tabela 1.** Tratamentos para controle da ferrugem-asiática, *Phakopsora pachyrhizi*, na cultura da soja.

TRATAMENTOS (ingrediente ativo)	DOSES	
	g i.a./ha	L - kg p.c./ha
1. testemunha	-	-
2. tebuconazol	100	0,50
3. ciproconazol	30	0,30
4. protioconazol 250 EC	70	0,28
5. azoxistrobina <sup>1</sup>	60	0,24
6. metominostrobin <sup>2</sup>	60	0,30
7. trifloxistrobina <sup>3</sup>	75	0,15
8. fluxapiraxade <sup>3</sup>	60	0,12
9. bixafem <sup>3</sup>	62,5	0,50
10. clorotalonil	1.080	1,50
11. mancozebe <sup>3</sup>	1.200	1,50
12. oxicloreto de cobre	411,6	0,70
13. fluazinam	500	1,00

<sup>1</sup>Adicionado Ochima 0,25 L/ha; <sup>2</sup>Adicionado Iharol Gold 0,25% v/v; <sup>3</sup>Adicionado Áureo 0,25% v/v.

## Resultados e Discussão

Na primeira aplicação não havia sintomas de ferrugem. Apesar da semeadura tardia, em dezembro, os primeiros sintomas foram observados em fevereiro, no final do estágio R5, porém as altas temperaturas, e baixo volume de chuvas não favoreceram a evolução da ferrugem-asiática e favoreceram a ocorrência de sintomas de fitotoxicidade, do tipo clorose internerval, nos tratamentos contendo protioconazol e tebuconazol e as baixas precipitações, na fase de formação e enchimento dos grãos, reduziu a produtividade do experimento.

Na avaliação de severidade aos 09 dias após a quarta aplicação (09DAA4), no estádio R5.5, a severidade média da testemunha foi de 41,3% (Tabela 2). O tratamento com fluazinam (T13) e tebuconazol (T2) apresentaram as maiores porcentagens de controle. Entre os fungicidas inibidores de quinona externa (IQe – estrobilurinas), a maior severidade foi observada para azoxistrobina. Trifloxistrobina foi semelhante a metominostrobin. Protioconazol apresentou severidade semelhante a tebuconazol e os dois apresentaram severidade inferior a ciproconazol. Entre as os inibidores de succinato desidrogenase (ISDH), fluxapiróxade apresentou severidade semelhante a bixafem. Os multissítios (clorotalonil, mancozebe e oxicloreto de cobre) apresentaram severidade semelhante e superior a fluazinam aos 9DAA4.

Aos 16 DAA4, a severidade dos tratamentos com multissítios (clorotalonil, mancozebe e oxicloreto de cobre) foi menor do que dos fungicidas sítio-específicos e semelhante a fluazinam. A severidade dos tratamentos com ciproconazol e azoxistrobina não diferiu da testemunha sem fungicida. Não houve diferença de produtividade entre os tratamentos e a testemunha sem fungicida

**Tabela 2.** Severidade de ferrugem (SEV%) em R5.4 (09 dias após a quarta aplicação – DAA4) e R6 (16DAA4), porcentagem de controle (%C) em relação a testemunha sem tratamento, produtividade (kg/ha). Londrina, PR, safra 2025/2026.

TRATAMENTOS (ingrediente ativo)	g i.a./ha	SEV % 9DAA4	%C	SEV % 16DAA4	%C	PROD (kg/ha)
1. testemunha		41,3 a	-	85,8 a	-	2664 a
2. tebuconazol	100	19,0 ef	54	51,3 def	40	2888 a
3. ciproconazol	30	36,9 ab	11	81,5 a	5	2647 a
4. protioconazol 250 EC	70	26,5 cde	36	63,0 cd	27	2943 a
5. azoxistrobina <sup>1</sup>	60	32,1 bc	22	79,5 ab	7	2639 a
6. metominostrobin <sup>2</sup>	60	25,3 cde	39	56,5 cde	34	2724 a
7. trifloxistrobina <sup>3</sup>	75	22,5 de	45	53,8 cdef	37	3014 a
8. fluxapiraxade <sup>3</sup>	60	24,8 cde	40	54,0 cdef	37	2835 a
9. bixafem <sup>3</sup>	62,5	29,0 cd	30	67,0 bc	22	2776 a
10. clorotalonil	1.080	20,3 e	51	41,0 fg	52	3034 a
11. mancozebe <sup>3</sup>	1.200	22,1 de	46	47,5 efg	45	2926 a
12. oxicloreto de cobre	411,6	21,3 e	48	49,0 efg	43	2938 a
13. fluazinam	500	12,5 f	70	36,8 g	57	2796 a
<b>CV %</b>		<b>11,80%</b>		<b>9,10%</b>		<b>6,74%</b>

<sup>1</sup>Adicionado Ochima 250 mL/ha; <sup>2</sup>Adicionado Iharol Gold 0,25 % v/v; <sup>3</sup>Adicionado Áureo 0,25% v/v

## Conclusão

Fluazinam e os fungicidas multissítios apresentaram os maiores controles, sendo os últimos semelhantes a tebuconazol. Entre os inibidores da desmetilação, tebuconazol apresentou severidade semelhante a protioconazol e inferior a ciproconazol. Entre os inibidores de quino- na externa, azoxistrobina apresentou o menor controle, não diferindo da testemunha. O controle com fluxapiraxade foi semelhante a bixa- fem. As baixas correlações entre produtividade e severidade mos- tram que outros fatores (como o clima) interferiram na produtividade e na ocorrência da ferrugem.

## Referências

- CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM-Agri - Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, p. 18-24, 2001.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. (Special report, 80).
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M. **Ferrugem-asiática da soja**: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 428).
- HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (ed.). **Compendium of soybean diseases**. 5<sup>th</sup> ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 56-59.
- YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, p. 675-677, 2005.

## Prospecção de óleos essenciais de espécies vegetais para o controle de plantas daninhas

Mauro de Oliveira Neto<sup>(1)</sup>, Fernando Storniolo Adegas<sup>(2)</sup>, Rafael Romero Mendes<sup>(2)</sup>, Guilherme Julião Zocolo<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, UniFil, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

O termo “planta daninha” apareceu logo no início da agricultura (há cerca de 10.000 anos) quando o homem começou a selecionar e diferir as plantas úteis para cultivo, daquelas que competem por nutrientes, ou seja, plantas indesejadas são um obstáculo na agricultura, desde a sedentarização do homem, no período neolítico (Pitelli, 2015).

Com os avanços tecnológicos, o uso de herbicidas químicos tornou-se um dos principais métodos de controle dessas espécies. A aplicação de herbicidas proporcionou maior eficiência no controle de plantas daninhas e trouxe vantagens como, menor dependência de mão-de-obra e aplicabilidade no sistema de plantio direto (Silva et al., 2009). Entretanto, o uso repetitivo de moléculas químicas favorece a seleção de biotipos resistentes (Heap, 2026), diminuindo a eficiência de produtos presentes no mercado e intensificando problemas relacionados ao manejo.

Com objetivo de suprir a busca por alternativas ecologicamente mais seguras ao ambiente, de controle de infestação e de se manter competitivo em relação a resistência desenvolvida por essas plantas indesejadas, o desenvolvimento de novas bases para esses herbicidas vem ganhando cada vez mais destaque. Entre as alternativas estudadas, herbicidas a base de óleos essenciais de espécies vegetais, apresentam-se como um meio mais natural de controlar plantas daninhas (Isman, 2020).

Alguns trabalhos já demonstraram aplicabilidade de extratos vegetais ou óleos essenciais para o controle de plantas daninhas. Alano et al. (2023) avaliou extrato de buva no controle de *Ipomoea* spp. e *Amaranthus* spp. Outro exemplo foi a utilização de extrato de eucalipto

que resultou em 100% de inibição da germinação de *Panicum maximum* (Silva et al., 2024).

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo foi avaliar o potencial de óleos essenciais de espécies vegetais sobre espécies de plantas daninhas.

## Material e Métodos

O experimento foi implantado em 13 de abril de 2026, no município de Londrina (PR), em casa de vegetação. As unidades experimentais foram vasos preenchidos com solo misturado com substrato. O experimento foi formado por 18 tratamentos, sendo uma testemunha sem aplicação, um controle a base de óleo vegetal (Aureo) e 16 óleos essenciais (OE). A dose para todos os OE foi de 12 L ha<sup>-1</sup>. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições, totalizando assim, 72 vasos por espécie alvo.

Foram avaliadas as seguintes espécies de plantas daninhas: *Bidens subalternans*, *Amaranthus hybridus*, *Digitaria insularis* e *Eleusine indica*. As sementes dessas plantas foram semeadas nos vasos a 0,5 cm de profundidade e, após a germinação, foi observado o desenvolvimento das plantas. Ao chegar entre quatro e cinco folhas, foi realizada a aplicação dos tratamentos com um pulverizador costal a base de CO<sub>2</sub>, ponta 110.02 VS, com pressão de 20 libras e vazão 160 L ha<sup>-1</sup>.

Após a aplicação dos tratamentos, os vasos permaneceram em observação diária para a avaliação de sintomas fitotóxicos provocados pelos óleos essenciais. As avaliações de controle foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), considerando o percentual visual de controle de plantas daninhas (0-100%).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e posterior teste de agrupamento de Scott-Knott, adotando um alfa de 5%.

## Resultados e Discussão

Os resultados demonstraram que os diferentes óleos essenciais apresentaram níveis variados de eficiência no controle das espécies avaliadas. Alguns se destacaram pelo maior potencial herbicida, enquanto outros apresentaram baixa eficiência ou ausência de controle quando comparados à testemunha.

Em relação à espécie *B. subalternans*, aos 21 DAA, o controle variou de 0 a 31%. Os tratamentos OE 5, OE 6, OE 7, OE 8, OE 9, OE 10, OE 13 e OE 15 apresentaram controle significativamente maior que os tratamentos OE 1, OE 2, OE 3, OE 12, OE 14 e OE 16. Os tratamentos OE 4 e OE 11 não diferiram da testemunha e do tratamento com Aureo. Apesar do destaque de alguns tratamentos, todos ficaram distantes de alcançar um resultado de controle satisfatório (80%) segundo a Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultados de controle de *Bidens subalternans* e *Amaranthus hybridus* após aplicação de diferentes óleos essenciais.

Tratamento	% controle <i>Bidens subalternans</i>			% controle <i>Amaranthus hybridus</i>		
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
Testemunha	0,0	c	0,0	c	0,0	c
Aureo 1,5 L ha <sup>-1</sup>	0,0	c	0,0	c	0,0	c
OE 1	9,3	b	10,5	b	8,8	b
OE 2	17,5	a	17,5	b	17,5	b
OE 3	10,0	b	11,3	b	11,3	b
OE 4	0,0	c	0,0	c	0,0	c
OE 5	26,3	a	32,5	a	31,3	a
OE 6	16,3	b	21,3	a	21,3	a
OE 7	18,8	a	22,5	a	22,5	a
OE 8	20,0	a	23,8	a	22,5	a
OE 9	18,8	a	22,5	a	22,5	a
OE 10	22,5	a	25,0	a	25,0	a
OE 11	5,0	c	3,8	c	4,5	c
OE 12	10,0	b	10,0	b	10,0	b
OE 13	13,8	b	22,5	a	21,3	a
OE 14	15,0	b	21,3	a	18,8	b
OE 15	23,8	a	30,0	a	27,5	a
OE 16	20,0	a	26,3	a	16,3	b

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Sckott-Knott (5%).

Para a espécie *A. hybridus*, aos 21 DAA, o controle variou de 0 a 40%. Os tratamentos com melhor desempenho foram o OE 5 (36,3%) e o OE 10 (40%), resultado superior ao melhor controle de *B. subalterrans* (31,3%), porém com baixos níveis em geral (Tabela 1).

Em relação ao controle de *E. indica*, nos primeiros sete dias após a aplicação, houve controle maior em relação às espécies de folha-larga (OE 6 com 60% de controle), assim como na avaliação aos 14 dias, os níveis dos tratamentos OE 2, OE 5, OE 6, OE 7 e OE 12 se mantiveram intermediários.

Para *Digitaria insularis*, obteve-se resultados mais promissores. Os tratamentos OE 10, OE 15, OE 6 e OE 12 foram os que resultaram em maiores porcentagens de controle, aos 21 DAA, 73,8%, 56,3%, 51,3% e 48,8%, respectivamente. Nota-se ainda, na Tabela 2, que esses OEs apresentaram maior êxito, quando se trata de *D. insularis*, com os tratamentos mencionados desde a primeira avaliação aos 7 DAA. O OE 10 aos 14 DAA apresentou o maior nível de controle do experimento, alcançando 82,5%.

**Tabela 2.** Resultados de controle de *Elusine Indica* e *Digitaria insularis* após aplicação de diferentes óleos essenciais.

Tratamento	% controle <i>Eleusine indica</i>						% controle <i>Digitaria insularis</i>					
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
Testemunha	0,0	c	0,0	c	0,0	c	0,0	c	0,0	c	0,0	c
Aureo 1,5 L ha <sup>-1</sup>	0,0	c	0,0	c	0,0	c	0,0	c	0,0	c	0,0	c
OE 1	3,8	c	1,3	c	1,8	c	1,3	c	1,3	c	0,0	c
OE 2	42,5	b	43,8	a	18,8	b	33,1	b	33,8	b	23,5	b
OE 3	38,0	b	38,8	a	31,3	a	60,0	a	55,0	a	37,5	b
OE 4	6,8	c	5,0	c	8,0	c	5,0	c	5,0	c	3,8	c
OE 5	35,5	b	35,0	a	28,8	a	17,8	c	19,5	b	12,5	c
OE 6	60,0	a	57,5	a	43,8	a	68,8	a	70,8	a	51,3	a
OE 7	37,5	b	38,5	a	38,8	a	36,3	b	39,0	b	22,5	b
OE 8	27,5	b	26,3	b	16,3	b	15,0	c	14,5	c	17,5	b
OE 9	16,3	c	16,3	b	18,8	b	27,0	b	28,8	b	22,6	b

Continua

Tabela 2. Continuação

Tratamento	% controle <i>Eleusine indica</i>			% controle <i>Digitaria insularis</i>		
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
OE 10	33,8 b	28,8 b	30,0 a	78,8 a	82,5 a	73,8 a
OE 11	3,8 c	1,3 c	3,8 c	8,3 c	6,8 c	6,3 c
OE 12	36,3 b	36,3 a	36,3 a	51,3 a	60,0 a	48,8 a
OE 13	6,8 c	5,3 c	10,0 c	10,0 c	10,0 c	5,0 c
OE 14	14,3 c	16,3 b	21,3 b	11,3 c	11,3 c	6,3 c
OE 15	28,8 b	32,5 a	28,8 a	64,3 a	67,8 a	56,3 a
OE 16	0,0 c	0,0 c	0,0 c	7,5 c	7,5 c	8,8 c

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (5%).

## Conclusão

Os resultados observados indicaram que, apesar de nenhum dos tratamentos atingir um nível de controle estável, determinados OEs possuem potencial para utilização como bioherbicidas no manejo sustentável de plantas daninhas, especialmente para *D. insularis*. Além disso, os dados reforçam a importância da prospecção de compostos naturais como alternativa complementar aos herbicidas químicos tradicionais, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para o manejo de populações resistentes. Apesar dos resultados promissores, novos estudos são necessários para identificar maiores doses e a associação de dois ou mais

## Referências

ALANO, R. de J. M.; KASEKER, J. F.; ROSA, E. de F. F. da; ANDRADE, C. N. de; LUZ, S.; NOHATTO, M. A. Extratos de buva à base de vinagre no controle de plantas daninhas na beterraba. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 21, n. 2, p. 69-75, 2023.

HEAP, I. **International Herbicide-Resistant Weed Database**. 2026. Disponível em: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org). Acesso em: 29 maio 2026.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century: fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, n. 1, p. 233-249, 2020.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v. 33, p. 622-623, 2015.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2009. p. 64-81.

SILVA, G. G.; RODRIGUES, J. R. S.; ZARATE, R. M. L. Efeito do extrato solúvel de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) na germinação de capim-colonião (*Panicum maximum*), feijão (*Phaseolus vulgaris* Pinto Group) e rúcula (*Eruca vesicaria*). In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 10., 2024, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/113608>. Acesso em: 29 maio 2026.

## Silenciamento dos genes *GmDRIP* sob estresse salino em soja

Maria Eduarda Silva Osco<sup>(1)</sup>, Suéllen Rosa de Almeida Polizeli<sup>(2)</sup>, Rodrigo Thibes Hoshino<sup>(3)</sup>, Silvana Regina Rockenbach Marin<sup>(4)</sup>, Liliâne Marcia Mertz-Henning<sup>(5)</sup>, Alexandre Lima Nepomuceno<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Centro Universitário Filadélfia, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Doutoranda, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Bolsista Faped/Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Analista, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(5)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a oleaginosa de maior relevância no cenário agrícola global, e desempenha um papel central na segurança alimentar e na economia do Brasil (Andrade Neto; Raiher, 2024). Sua versatilidade abrange desde a produção de farelo para proteína animal até a extração de óleo para indústrias alimentícias e de biocombustíveis (Colen et al., 2019). No entanto, a manutenção de patamares elevados de produtividade enfrenta desafios crescentes, como a expansão em áreas com condições edafoclimáticas marginais e a pressão por sistemas de cultivo mais sustentáveis (Balbinot Junior et al., 2022).

Apesar do alto potencial genético das cultivares modernas, a expressão desse potencial é frequentemente limitada por estresses abióticos. Estima-se que fatores como seca, temperaturas extremas e salinidade sejam responsáveis por reduções superiores a 50% no rendimento médio (Wang et al., 2003; Kopecká et al., 2023). Esses estresses desencadeiam uma cascata de respostas negativas, incluindo o fechamento estomático, a redução da taxa fotossintética e a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que comprometem a integridade das membranas celulares e o desenvolvimento morfológico da planta (Munns; Tester, 2008; Van Zelm et al., 2020).

Dentre os estresses abióticos, a salinidade destaca-se por sua natureza bifásica. Em um primeiro momento, o acúmulo de sais no solo reduz o potencial osmótico da solução, dificultando a absorção de água pelas raízes, fenômeno fisiologicamente análogo ao estresse hídrico. Em seguida, ocorre efeito citotóxico pelo acúmulo específico de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que interferem no metabolismo enzimático e na

homeostase iônica (Munns; Tester, 2008). Em razão dessa correlação com o estresse hídrico, o uso de cloreto de sódio (NaCl) em ensaios controlados é uma estratégia amplamente aceita para simular condições de déficit osmótico de forma reprodutível e quantificável (Munns; Rajaona, 2010).

Nesse contexto, proteínas DRIP (*DREB-Interacting Proteins*) emergem como reguladoras relevantes da resposta ao estresse osmótico em plantas. Identificadas originalmente em *Arabidopsis thaliana*, as proteínas DRIP1 e DRIP2 são *ligases E3 ubiquitina* contendo domínio RING do tipo C3HC4, capazes de interagir com o fator de transcrição DREB2A no núcleo, promovendo sua ubiquitinação e degradação via proteossoma 26S, atuando como reguladores negativos da resposta a déficit hídrico (Qin et al., 2008). Em soja, ortólogos desse sistema foram identificados e associados à modulação da resposta ao déficit hídrico (Marcolino-Gomes et al., 2013).

A avaliação funcional de plantas com esses genes DRIPs silenciados por edição gênica (editado) é fundamental para compreender sua contribuição à tolerância a condições adversas. A identificação e validação de genes relacionados à tolerância a estresses osmóticos são vitais para o melhoramento genético de precisão, fundamentando a geração de cultivares de elite mais resilientes frente às adversidades climáticas contemporâneas.

O presente estudo objetivou avaliar o efeito do estresse salino em plântulas de soja editadas para os genes *GmDRIP03* e *GmDRIP19*, em comparação à cultivar convencional usada como *background* BRS 573, analisando parâmetros morfológicos e fisiológicos relacionados à tolerância osmótica.

## Material e Métodos

Sementes da cultivar BRS 573 foram semeadas em copos de polipropileno (180 mL) contendo mistura de areia e vermiculita (1:1 v/v) como substrato. Os copos foram mantidos em câmara de crescimento com fotoperíodo de 16:8h (L/D), temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) de  $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , provida por LEDs (4000K, 650nm e 450nm).

As plantas foram cultivadas até o estágio V1 (unifólios expandidos), na escala de Fehr e Caviness (1977), momento em que se iniciou a

aplicação dos tratamentos salinos. O delineamento foi inteiramente casualizado com 6 tratamentos, sendo 3 concentrações de NaCl (0, 120 e 180 mM) e 2 genótipos, Cultivar BRS 573 e Cultivar BRS 573 editada (DRIP), com 7 repetições por tratamento. Os tratamentos salinos foram preparados pela adição de NaCl à solução nutritiva base. Para evitar choque osmótico, a salinização foi gradual. Foram aplicados no primeiro dia 60 mM, e nos dias seguintes as concentrações respectivas dos tratamentos salinos (120 e 180 mM).

O monitoramento da salinidade no substrato foi realizado via análise do lixiviado. Diariamente, aplicou-se em cada tratamento um volume de 50 mL de solução por copo; caso a condutividade elétrica (CE) do lixiviado divergisse da CE da solução de tratamento, realizou-se a aplicação de outros 50 mL de solução, até a estabilização da CE no substrato. Nos finais de semana, as plantas receberam apenas água deionizada via capilaridade (pratos coletores).

Após 15 dias de estresse, avaliaram-se: altura da parte aérea (APA), comprimento radicular (CR), área foliar (AF), massas frescas e secas de folha, caule e raiz (MFF, MSF, MFC, MSC, MFR e MSR). A área foliar (AF) foi estimada por análise de imagem utilizando o software Siscob. O comprimento médio das raízes (CMR) e altura de parte aérea (ALT), foram determinados por análises de imagem pelo software ImageJ. O índice SPAD foi determinado com auxílio de um medidor portátil, as medições foram realizadas a partir do ponteiro na primeira e segunda folha completamente expandida, cada repetição foi composta pela média das duas aferições.

Foram calculados a massa foliar específica (MFE = MSF/AF) e o índice de estabilidade de membranas (IEM). Para o IEM, discos foliares de 1,33 cm<sup>2</sup> foram imersos em 5 mL de água deionizada por 24h para leitura da CE inicial (CE1). Posteriormente, as amostras foram submetidas à fervura em banho-maria por 30 min, seguidas de resfriamento para leitura da CE final (CE2). O índice foi calculado por:  $IEM = [1 - (CE1/CE2)] * 100$ .

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett), seguidos de análise de variância (ANOVA), e as médias das variáveis analisadas por teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) em esquema fatorial 2x3 (genótipo e salinidade) através do software R (pacote AgroR).

## Resultados e Discussão

### Efeito Geral da Salinidade e Desempenho dos Genótipos

De maneira geral, a salinidade atuou como o principal fator de variação, com reduções acentuadas em todos os parâmetros de crescimento à medida que as doses de NaCl foram incrementadas ( $p < 0,01$ ). O genótipo editado (DRIP) apresentou um desempenho superior a cultivar não editada (BRS 573) ( $p < 0,05$ ), embora sem interação significativa para a maioria das variáveis.

### Desenvolvimento Vegetativo e Partição de Biomassa

O nocaute do gene *GmDRIP* resultou em um incremento no acúmulo de fitomassa, independentemente do nível de estresse. O genótipo DRIP foi significativamente superior a cultivar BRS 573 em massa fresca e seca de folha, bem como em massa fresca de raiz. Curiosamente, a planta editada apresentou menor altura (ALT) em relação ao *background* não editado, porém foi acompanhada por um aumento significativo no comprimento médio de raiz (CMR). Para as variáveis de caule (MFC e MSC), não foram observadas diferenças entre genótipos. Este padrão sugere que a edição alterou a arquitetura da planta, priorizando o investimento em sistema radicular e densidade foliar em detrimento do estiramento do caule (Tabela1).

### Área Foliar e Plasticidade Estrutural da Folha

Houve interação significativa (Genótipo x Salinidade) para a Área Foliar (AF) e Massa Foliar Específica (MFE). O DRIP manteve uma AF superior a BRS 573 tanto na condição controle quanto sob estresse severo (180 mM). Em relação à MFE, o genótipo editado apresentou um aumento significativo sob 180 mM de NaCl, comportamento não observado no genótipo selvagem. No controle (0 mM), o DRIP possuía menor MFE, indicando que a edição permite uma maior plasticidade foliar: as folhas são mais expandidas em condições ideais e tornam-se mais espessas/densas sob estresse salino severo, uma estratégia adaptativa importante para a conservação de água (Tabela 1).

### Integridade Celular e Índices Fisiológicos

Os índices SPAD e de Estabilidade de Membranas (IEM) foram afetados pela dose de NaCl, com reduções significativas no estresse.

Embora o índice SPAD não tenha divergido entre genótipos, o IEM do DRIP foi significativamente inferior ao BRS 573. Esse resultado sugere uma resposta fisiológica complexa. O incremento constitutivo na área foliar e no sistema radicular do DRIP, embora vantajoso para o arranque inicial, pode ter induzido taxas transpiratórias e de absorção mais elevadas. Consequentemente, houve um provável acúmulo de íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos tecidos foliares, resultando em maior injúria às membranas celulares. Assim, a maior sensibilidade iônica observada no DRIP é interpretada não como uma falha na via de tolerância, mas como um efeito colateral do seu vigor vegetativo superior, que acelera a exposição dos tecidos ao estresse salino (Tabela1).

**Tabela 1.** Médias das variáveis: altura da parte aérea (APA), comprimento médio radicular (CMR), área foliar (AF), massa foliar específica (MFE), índice SPAD, índice de estabilidade de membranas (IEM), massas frescas e secas de folha, caule e raiz (MFF, MSF, MFC, MSC, MFR e MSR), de genótipos de soja editado (DRIP) e genótipo selvagem (BRS 573), submetidas a estresse salino (0, 120 e 180 mM de NaCl).

ALT					MFF				
	0	120	180	GERAL		0	120	180	GERAL
BRS 573	17.0	14.0	13.9	14.9 A <sup>1</sup>	BRS 573	3.67	2.28	1.30	2.42 B
DRIP	15.1	11.6	11.1	12.6 B	DRIP	3.98	2.51	1.87	2.79 A
GERAL	16.0 A	12.8 B	12.5 B		GERAL	3.82 A	2.40 B	1.59 C	
CMR					MSF				
	0	120	180	GERAL		0	120	180	GERAL
BRS 573	7.30	7.90	6.65	7.28 B	BRS 573	0.65	0.41	0.23	0.43 B
DRIP	8.92	8.41	7.68	8.34 A	DRIP	0.70	0.41	0.32	0.48 A
GERAL	8.11 A	8.15 A	7.16 B		GERAL	0.68 A	0.41 B	0.27 C	
AF					MFC				
	0	120	180	GERAL		0	120	180	GERAL
BRS 573	196.2 aB <sup>2</sup>	121.1 bA	65.7 cB	127.7	BRS 573	2.65	1.25	0.84	1.58
DRIP	242.7 aA	128.7 bA	87.2 cA	152.9	DRIP	2.67	1.28	0.92	1.62
GERAL	219.5	124.9	76.5		GERAL	2.66 A	1.27 B	0.88 C	
MFE					MSC				
	0	120	180	GERAL		0	120	180	GERAL
BRS 573	3.3 aA	3.3 aA	3.5 aA	3.4	BRS 573	0.37	0.16	0.11	0.22
DRIP	2.9 bB	3.2 bA	3.7 aA	3.3	DRIP	0.36	0.16	0.12	0.21
GERAL	3.1	3.3	3.6		GERAL	0.36 A	0.16 B	0.12 C	
SPAD					MFR				
	0	120	180	GERAL		0	120	180	GERAL
BRS 573	33.1	29.8	28.8	30.6	BRS 573	4.80	3.20	1.79	3.26 B
DRIP	32.9	28.6	28.2	29.9	DRIP	5.30	3.59	2.47	3.78 A
GERAL	33.0 A	29.2 B	28.5 B		GERAL	5.05 A	3.39 B	2.13 C	
IEM					MSR				
	0	120	180	GERAL		0	120	180	GERAL
BRS 573	86.6	83.3	77.4	82.4 A	BRS 573	0.57	0.28	0.17	0.34
DRIP	87.4	76.9	69.4	77.9 B	DRIP	0.56	0.31	0.25	0.37
GERAL	87 A	80.1 B	73.4 C		GERAL	0.56 A	0.30 B	0.21 C	

<sup>1</sup>Letras iguais nas bordas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância (interação não significativa). <sup>2</sup>Médias iguais maiúsculas entre genótipos e minúsculas entre salinidades não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância (interação significativa).

De modo geral, o aumento da concentração salina resulta em efeitos negativos significativos sobre os parâmetros morfológicos e fisiológicos (Phang et al., 2008; Kokebie et al., 2024). Em soja o estresse osmótico limita a expansão celular e a alongação dos entrenós, resultando em redução da altura (Hasanuzzaman et al., 2022; Kokebie et al., 2024). É conhecido na literatura que perturbações na via DREB, seja por superexpressão ou silenciamento de seus reguladores, podem interferir na biossíntese de giberelinas e, conseqüentemente, no porte da planta (Suo et al., 2012).

Em condições de déficit osmótico a planta apresenta diversas estratégias adaptativas, atuando sob o sistema radicular e também na espessura foliar. O incremento do comprimento radicular está associado à exploração de maior volume de solo em condições de déficit osmótico (Zou et al., 2021). A MFE tipicamente aumenta sob estresse salino em razão do incremento no tamanho das células do mesófilo ou do número de camadas celulares, como estratégia de isolamento iônico (Poorter et al., 2009).

A redução de pigmentos fotossintéticos sob salinidade em soja é amplamente relatada, sendo associada à inibição da síntese de clorofila mediada pelo acúmulo de íons  $\text{Na}^+$  e ao comprometimento da integridade dos cloroplastos (Hasanuzzaman et al., 2022; Kokebie et al., 2024). Plantas do genótipo DRIP apresentaram sintomas visuais de clorose, coerentes com os valores de SPAD observados. A deterioração da integridade de membranas sob salinidade está associada à peroxidação lipídica mediada por EROs geradas em resposta ao acúmulo de  $\text{Na}^+$  (Hasanuzzaman et al., 2022).

Os resultados indicam que o silenciamento do DRIP atua promovendo um vigor constitutivo superior na cultivar BRS-573. A edição não mitigou diretamente os danos deletérios da salinidade, mas elevou o patamar de crescimento inicial da planta. Genes de resposta ao estresse, previamente ativados apenas em condições adversas, podem estar operando de maneira constitutiva no DRIP, favorecendo o crescimento inicial.

## Conclusão

A edição do gene *GmDRIP* é uma estratégia para obtenção de novos alelos que conferem as plantas maior arranque inicial e exploração radicular tanto em ambientes favoráveis quanto sob estresse.

## Referências

- ANDRADE NETO, A. O. de; RAIHER, A. P. Impacto socioeconômico da cultura da soja nas áreas mínimas comparáveis do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 1, e267567, 2024. DOI: 10.1590/1806-9479.2022.267567.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; NEPOMUCENO, A. L.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E. **Análise da produção, área cultivada, produtividade e estabilidade produtiva da soja nos estados brasileiros em 25 safras (1996/1997 a 2020/2021)**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 27).
- COLEN, A. G. N.; SILVA, F. M.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A. de; AMARAL, P. H. B. do. Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 326-363, 2019. DOI: 10.5380/rber.v8i1.57694.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special report, 80).
- HASANUZZAMAN, M.; PARVIN, K.; ANEE, T. I.; MASUD, A. A. C.; NOWROZ, F. Salt stress responses and tolerance in soybean. In: HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K. (ed.). **Plant Stress Physiology: Perspectives in Agriculture**. London: IntechOpen, 2022. DOI: 10.5772/intechopen.102835.
- KOKEBIE, D.; ENYEW, A.; MASRESHA, G.; FENTIE, T.; MULAT, E. Morphological, physiological, and biochemical responses of three different soybean (*Glycine max* L.) varieties under salinity stress conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1440445, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1440445.
- KOPECKÁ, R.; KAMENIAROVÁ, M.; ČERNÝ, M.; BRZOBOHATÝ, B.; NOVÁK, J. Abiotic stress in crop production. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, 6603, 2023. DOI: 10.3390/ijms24076603.
- MARCOLINO-GOMES, J.; RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; ABDELNOOR, R. V.; MARCELINO-

- GUIMARÃES, F. C.; NEPOMUCENO, A. L. Expression patterns of GmAP2/EREB-Like transcription factors involved in soybean responses to water deficit. **PLoS One**, v. 8, n. 5, p. 1-11, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0062294.
- MUNNS, R.; RAJAONA, A. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 13, p. 3499-3507, 2010. DOI: 10.1093/jxb/erq199.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- PHANG, T. H.; SHAO, G.; LAM, H. M. Salt tolerance in soybean. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 10, p. 1196-1212, 2008. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2008.00760.x.
- POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; VILLAR, R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytologist**, v. 182, n. 3, p. 565-588, 2009. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x.
- QIN, F.; SAKUMA, Y.; TRAN, L. S.; MARUYAMA, K.; KIDOKORO, S.; FUJITA, Y.; FUJITA, M.; UMEZAWA, T.; SAWANO, Y.; MIYAZONO, K.; TANOKURA, M.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. *Arabidopsis* DREB2A-interacting proteins function as RING E3 ligases and negatively regulate plant drought stress-responsive gene expression. **The Plant Cell**, v. 20, n. 6, p. 1693-1707, 2008. DOI: 10.1105/tpc.107.057380.
- SUO, H.; MA, Q.; YE, K.; YANG, C.; TANG, Y.; HAO, J.; ZHANG, Z. J.; CHEN, M.; FENG, Y.; NIAN, H. Overexpression of *AtDREB1A* causes a severe dwarf phenotype by decreasing endogenous gibberellin levels in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **PLoS One**, v. 7, n. 9, e45568, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0045568.
- VAN ZELM, E.; ZHANG, Y.; TESTERINK, C. Salt tolerance mechanisms of plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 71, p. 403-433, 2020. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-100005.
- WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, n. 1, p. 1-14, 2003. DOI: 10.1007/s00425-003-1105-5.
- ZOU, Y.; ZHANG, Y.; TESTERINK, C. Root dynamic growth strategies in response to salinity. **Plant, Cell & Environment**, v. 45, n. 3, p. 695-704, 2021. DOI: 10.1111/pce.14205.

7

## Infecção de Noctuidae causada por espécies de *Metarhizium* alimentadas com diferentes genótipos de soja

Nathalye de França Santos<sup>(1)</sup>, Maria Eduarda Bono de Oliveira<sup>(1)</sup>, Agnes Izumi Nagashima<sup>(2)</sup>, Clara Beatriz Hoffmann-Campo<sup>(3)</sup>, Daniel Ricardo Sosa-Gómez<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Biotecnóloga, Mestre em Ciências de Alimentos, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

Produtos bioinseticidas à base dos fungos entomopatogênicos *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* e espécies de *Cordyceps* vêm sendo registrados comercialmente para o controle de pragas como percevejos, mosca-branca, cigarrinha-do-milho, cigarrinhas-das-pastagens, bicudos e lagartas, entre outras (Agrofit, 2003). Entretanto, o impacto desses fungos nas populações de lagartas ainda é pouco considerado pela pesquisa. Atualmente, as espécies de lepidópteros que ocorrem com maior frequência em culturas que expressam proteínas Bt são a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e a falsa-medideira (*Rachiplusia nu*), esta última com maior prevalência na cultura da soja. Ocasionalmente, outras espécies do gênero *Spodoptera* podem ocorrer de forma localizada, como *S. cosmioides*, que possui grande potencial de dano devido à sua elevada capacidade de consumo foliar (Bueno et al., 2011). Por esse motivo, este trabalho teve como finalidade verificar a interação dos fungos *M. robertsii* e *M. anisopliae* sobre lagartas alimentadas com diferentes genótipos de soja.

### Material e Métodos

Criação de *Spodoptera cosmioides*, *S. frugiperda* e *R. nu*: Os insetos foram provenientes da criação do laboratório de Patologia de Insetos, mantidos em condições controladas de temperatura ( $26 \pm 1$  °C), umidade ( $65 \pm 10\%$ ) e fotoperíodo (14 h fotofase: 10 h de escotofase). A dieta artificial utilizada foi a de Greene et al. (1976), modificada por Hoffmann-Campo et al. (1985). As lagartas utilizadas nos bioensaios apresentaram tamanhos entre 5 e 7 mm.

Genótipos de soja: As cultivares de soja ensaiadas com *S. cosmioi-des* e *R. nu* foram BMX Potência RR e Bragg (utilizada como testemunha não transgênica) com o isolado Mr12. *Spodoptera frugiperda* foi alimentada com DM66i68 RSF IPRO e BRS539 após o tratamento com os isolados Mr12 e Ma356. Os folíolos foram lavados e o excesso de umidade retirado com toalhas de papel. Discos de folhas foram extraídos com um vazador de 11 mm de diâmetro e colocados sobre uma camada de ágar (2%), que foi distribuída anteriormente no fundo das células (3,5 x 3,5 x 3 cm de profundidade) de bandejas plásticas contendo 32 células.

Bioensaios: Os conídios foram obtidos por raspagem superficial de colônias com duas semanas de idade e suspensos em água com Tween 80 0,05%. As suspensões foram filtradas através de tecido musseline para reter os agregados e os conídios quantificados em câmara de Neubauer espelhada. Em cada disco foliar distribuíram-se 40 µL da suspensão de conídios. Uma vez inoculadas, as lagartas foram mantidas em câmaras climatizadas ( $28 \pm 2$  °C) e fotoperíodo de 14/10 h (Luz/Escuro). As testemunhas foram inoculadas com a diluição de Tween 0,05% aplicada sobre os discos de cada genótipo de soja. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado estruturado em arranjo Fatorial 2 x 2 com testemunhas e 4 repetições, em cada repetição foram utilizadas 16 lagartas, totalizando 64 lagartas por tratamento. O número de lagartas mortas foi registrado diariamente e os cadáveres mantidos em câmara úmida para confirmar as causas de mortalidade. Os dados foram analisados aplicando análise de sobrevivência; a estimativa das curvas foi realizada pelo teste de Log-Rank. As comparações múltiplas par a par foram realizadas pelo método de Holm-Sidak (Šidák, 1967; Holm, 1979) utilizando o programa (Systat Software, 2017).

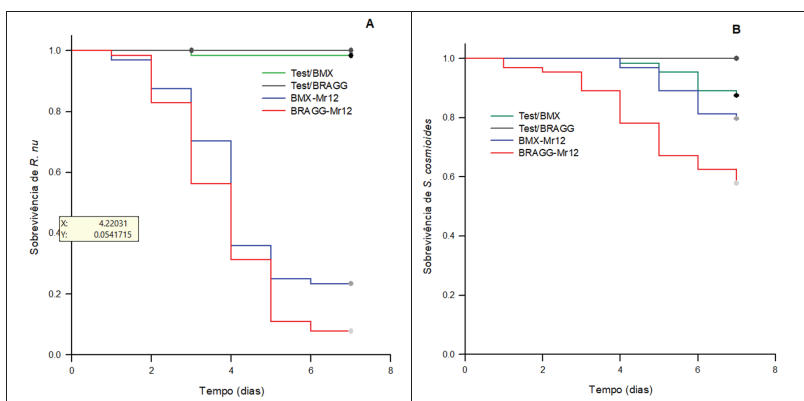
## Resultados e Discussão

O declínio mais acelerado da sobrevivência de *S. cosmioi-des* foi observado sobre a cultivar Bragg do que em BMX Potência, quando as lagartas foram inoculadas com *M. robertsii*. Todas as curvas de probabilidade de sobrevivência diferiram das testemunhas (Figura 1). A sobrevivência de *R. nu* com sinais de *M. robertsii* foi semelhante na cultivar Bragg e BMX Potência. Entretanto, *S. cosmioi-des* apresentou maior sobrevivência, após a infecção com Mr12, em BMX Potência

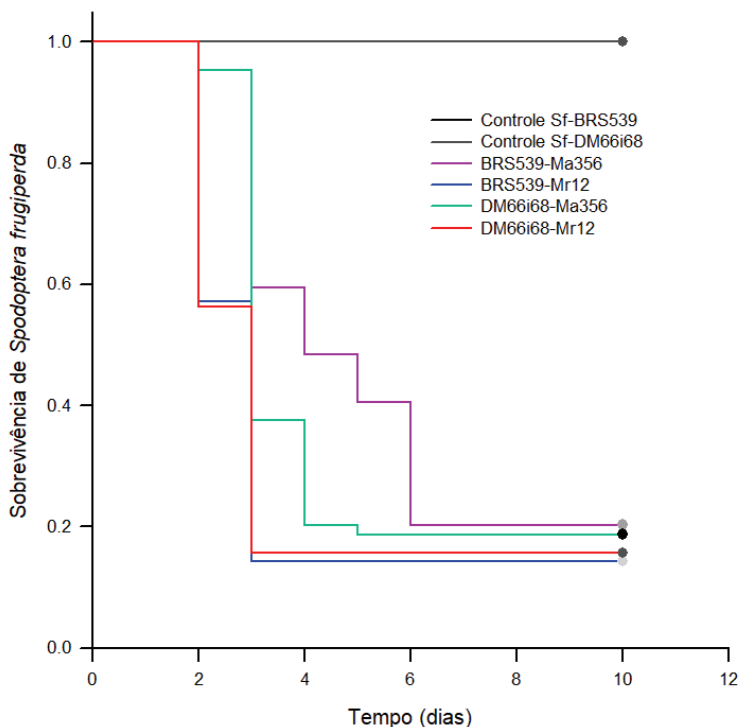
que em Bragg (método Holm-Sidak,  $Pr = 0,007$ ). Assim como os insetos sem tratamento que desenvolveram em BMX Potência apresentaram menos mortalidade. A suscetibilidade da BMX Potência ao ataque de lepidópteros e percevejos já foi relatada por Fernandes et al. (2020).

As lagartas de *S. frugiperda* inoculadas com o isolado Mr12 apresentaram as menores sobrevivências, independente do genótipo de soja sobre o qual desenvolveram (Figura 2) (método Holm-Sidak,  $Pr = 0,006$ ). Apesar de ter sido utilizada uma dose aproximadamente três vezes menor que a do isolado Ma356; o isolado Mr12 foi mais virulento para *S. frugiperda*.

O tempo mediano de mortalidade nos tratamentos BRS539-Mr12, M66i68-Ma356 e DM66i68-Ma12 foi de três dias, já no tratamento BRS539-Ma356 foi de quatro dias.



**Figura 1.** Curvas de sobrevivência de (A) *Rachiplusia nu* e (B) *Spodoptera cosmioides* após tratamento com conídios de *Metarhizium robertsii* (CNPSo-Mr12) distribuídos sobre disco de folhas das cultivares BMX Potência e Bragg (30.000 conídios.  $mm^{-1}$ ). As curvas representam os cadáveres das lagartas com sinais do fungo.



**Figura 2.** Curvas de sobrevivência de *Spodoptera frugiperda* após tratamento com conídios de *Metarhizium robertsii* (CNPSo-Mr12, 6.063 conídios.mm<sup>-2</sup>) e *M. anisopliae* (CNPSo-Ma356, 17.178.mm<sup>-2</sup>) distribuídos em 40 μL sobre discos de folhas (95 mm<sup>2</sup>). As curvas de sobrevivência representam os cadáveres das lagartas com sinais do fungo.

Comparativamente a cultivar Bragg proporcionou melhores condições de sobrevivência para *Anticarsia gemmatilis* que Davis e IS4 (Heineck; Corseuil, 1991). Da mesma maneira, a cv. Bragg ficou como um dos mais adequados entre diversos ensaios por Castiglione e Vendramin (1996). Entretanto, nos ensaios realizados por Brier e Rogers (1991), foi determinada uma posição intermediária de Bragg com respeito a outras cultivares de soja em espécies de Noctuidae da Austrália. Portanto, haveria necessidade de novos ensaios com esses materiais para verificar se a cultivar apresenta interações com o fungo que possam favorecer ou dificultar o processo de infecção.

As lagartas alimentadas com a cultivar DM66i68 RSF IPRO e inoculadas com o fungo menos virulento, Ma356, pode ter permitido a diferenciação do efeito dos genótipos na dinâmica da doença, uma vez que o tratamento DM66i68 RSF IPRO-Mr12 causou maior mortalidade que o DM66i68 RSF IPRO-Ma356 (método Holm-Sidak,  $P = 0,006$ )

## Conclusão

O isolado de *M. robertsii* foi virulento para *S. frugiperda* quando comparado com o isolado de *M. anisopliae*. A cultivar BMX Potência permitiu maior sobrevivência das lagartas de *S. cosmioides* inoculadas com Mr12, que em Bragg.

## Referências

- AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, DF: MAPA, c2003. Disponível em: [https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 19 maio 2025.
- BRIER, H. B.; ROGERS, D. J. Leaf-feeding resistance to six Australian noctuids in soybean. **Crop Protection**, v. 10, n. 4, p. 320-324, 1991.
- BUENO, R. C. O. de F.; BUENO, A. de F.; MOSCARDI, F.; PARRA, J. R. P.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 2, p. 170-174, 2011.
- CASTIGLIONE, E. A.; VENDRAMIN, J. D. Efeito de genótipos de soja no desenvolvimento de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 25, n. 3, p. 411-416, 1996.
- FERNANDES, F. O.; ROSA, A. P. S. A. da; ABREU, J. A. de; CHRIST, L. M.; BELARMINO, L. C.; MARTINS, J. F. da S. Performance of soybean cultivars in integrated pest management in lowland agroecosystem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, e5726, 2020. 6 p. DOI: 10.5039/agraria.v15i1a5726.

- GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487-488, 1976.
- HEINECK, M. A.; CORSEUIL, E. Influência de três cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sobre o desenvolvimento e a fecundidade de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 20, n. 1, p. 119-131, 1991.
- HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, E. B. de; MOSCARDI, F. **Criação massal da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*)**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1985. 23 p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 10).
- HOLM, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. **Scandinavian Journal of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 65-70, 1979.
- ŠIDÁK, Z. Rectangular confidence regions for the means of multivariate normal distributions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, n. 318, p. 626-633, 1967.
- SYSTAT SOFTWARE, Inc. **Sigmaplot**: version 14. 2017.

# Impacto das tecnologias de soja *Bt* e intensidade do manejo de inseticidas na dinâmica das comunidades de artrópodes sob condições de campo

Emanuel Antônio Toloi Fróio<sup>(1)</sup>, Leonardo Roswadoski<sup>(2)</sup>, Érica Caroline Braz Zini<sup>(3)</sup>, Weidson Plauter Sutil<sup>(2)</sup>, Adeney de Freitas Bueno<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Universidade do Norte do Paraná, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Estudante de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. <sup>(3)</sup> Estudante de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

Dentre os principais cultivos agrícolas de importância para a economia brasileira, destaca-se a soja, amplamente cultivada em diferentes regiões do território nacional. A cultura ocupa mais da metade da área destinada à produção de grãos no país, com produção recorde na safra 2024/2025 com 171,5 milhões de toneladas produzidas em cerca de 47,6 milhões de hectares (Conab, 2025). Além de sua importância econômica, a soja exerce papel estratégico na segurança alimentar, na produção de proteína vegetal e no abastecimento das cadeias produtivas de óleo e ração animal (Mondal et al., 2023).

Apesar do expressivo aumento da produção nas últimas décadas, a produtividade da soja pode ser severamente afetada por surtos de diversas espécies de pragas, especialmente lagartas (Lepidoptera) e percevejos (Hemiptera) (Gaur; Mogalapu, 2018). Esses insetos podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura, enquanto as lagartas causam desfolha reduzindo a capacidade fotossintética ou danos diretos às vagens, os percevejos sugam os grãos, comprometendo diretamente a qualidade dos grãos e a produtividade (Ávila; Grigolli, 2014; Mondal et al., 2023).

Tradicionalmente, o principal método utilizado para o controle desses insetos é a aplicação intensiva de inseticidas químicos (Bueno et al., 2013; Onstad et al., 2019). Embora eficientes em curto prazo, aplicações sucessivas podem promover desequilíbrios ecológicos, reduzindo populações de inimigos naturais, favorecendo surtos de pragas secundárias e selecionando populações resistentes (Ullah et

al., 2025). Nesse contexto, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) surge como estratégia essencial para racionalizar o uso de inseticidas e integrar diferentes táticas de manejo de forma sustentável.

Entre as principais ferramentas do MIP destacam-se as culturas *Bt*, que expressam proteínas inseticidas derivadas de *Bacillus thuringiensis* e são amplamente utilizadas no manejo de lepidópteros-praga na soja. Essas tecnologias têm contribuído para a supressão de pragas-alvo e para a redução do uso de inseticidas de amplo espectro (Bale et al., 2008; Naranjo, 2014; Naranjo et al., 2015). No entanto, ainda existem preocupações sobre possíveis efeitos diretos e indiretos dessas culturas sobre organismos não alvo, especialmente predadores e parasitoides importantes na regulação natural das populações de pragas (Romeis et al., 2019).

Além disso, alterações no manejo fitossanitário em áreas *Bt*, principalmente relacionadas ao uso de inseticidas, podem influenciar a diversidade e abundância de inimigos naturais no agroecossistema. Nesse sentido, o controle biológico conservativo destaca-se como importante componente do MIP, envolvendo práticas capazes de favorecer a sobrevivência e eficiência de artrópodes benéficos (Landis et al., 2000; Bueno et al., 2012). Assim, compreender como diferentes sistemas de manejo influenciam as comunidades de inimigos naturais é fundamental para o desenvolvimento de programas de manejo mais sustentáveis. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência de inimigos naturais em áreas cultivadas com soja *Bt* e não *Bt*, submetidas a manejos com e sem adoção do MIP, visando compreender a influência dessas estratégias sobre organismos não alvo da tecnologia.

## Material e Métodos

Foram conduzidas duas áreas independentes em condições de campo na cultura da soja, ambos compostos por três tratamentos correspondentes às tecnologias: INTACTA2 XTEND® (i2X), INTACTA IPRO® (IPRO) e ROUNDUP READY® (RR). As mesmas tecnologias foram avaliadas nas duas áreas experimentais.

O primeiro experimento foi conduzido no município de Sabáudia, Paraná (23°23'22.84"S; 51°34'36.31"O), em área total de 45 ha, sendo 15 ha destinados a cada tecnologia avaliada. Nessa área, o manejo

de insetos-praga foi realizado com base nos critérios do Manejo Integrado de Pragas (MIP), com aplicações sendo realizadas somente quando atingir o nível de ação do respectivo inseto-praga. Apenas uma aplicação de inseticida durante o estágio reprodutivo da cultura (R5) foi realizada.

O segundo experimento foi implantado no município de Bela Vista do Paraíso, Paraná, na Fazenda Horizonte (22°59'12.37"S; 51°11'1.92"O), também em área total de 45 ha subdividida igualmente entre os tratamentos. O manejo fitossanitário seguiu o padrão adotado rotineiramente pelo produtor (que não adotava o MIP). Foram realizadas quatro aplicações de inseticidas ao longo do ciclo da cultura: uma em pré-emergência, uma no estágio vegetativo e duas no estágio reprodutivo, realizadas em R2 e R6.

As avaliações foram realizadas semanalmente por meio do monitoramento de insetos-praga e inimigos naturais presentes nas áreas experimentais. Para a amostragem dos insetos-praga foi utilizado o método do pano-de-batida, empregando estrutura com dimensões de 1,0 × 1,2 m, posicionada entre as linhas de cultivo, conforme adaptação da metodologia proposta por Bueno et al. (2012).

Paralelamente, foram instaladas armadilhas de interceptação de voo do tipo Malaise, com uma unidade por tratamento, para amostragem de artrópodes benéficos. Os espécimes coletados foram armazenados em álcool 70% e posteriormente triados em laboratório. A identificação foi realizada com auxílio de caracteres morfológicos e chaves taxonômicas até o nível de família.

As análises foram realizadas separadamente para abundância total de inimigos naturais, predadores, parasitoides, total de pragas, agrupadas em lagartas (Lepidoptera), percevejos (Hemiptera: Pentatomidae) e vaquinhas (Coleoptera: Chrysomelidae). Os dados de abundância de inimigos naturais e pragas foram analisados por meio de Modelos Lineares Generalizados Mistos (GLMM), utilizando distribuição binomial negativa para dados de contagem. As tecnologias de soja foram consideradas como efeito fixo, enquanto as datas de coleta foram incluídas como efeito aleatório para controlar a variação temporal entre as amostragens semanais. Os modelos foram ajustados utilizando a função `glmmTMB` do pacote `glmmTMB`. Quando observadas diferenças significativas, comparações múltiplas pareadas

(pairwise comparisons) entre tratamentos foram realizadas com ajuste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o pacote emmeans. Todas as análises foram realizadas no software RStudio (versão 3.4.4).

## Resultados e Discussão

A abundância total de inimigos naturais não diferiu entre as tecnologias de soja em nenhuma das localidades avaliadas. Em Sabáudia, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ( $\chi^2 = 0,16$ ; gl = 2;  $p = 0,9232$ ) (Tabela 1), enquanto em Bela Vista do Paraíso também não houve efeito significativo das tecnologias ( $\chi^2 = 4,75$ ; gl = 2;  $p = 0,0929$ ) (Tabela 2), embora IPRO tenha apresentado tendência de maior abundância em relação à RR. Da mesma forma, a abundância de predadores permaneceu estável entre as tecnologias nas duas localidades, sem diferenças significativas em Sabáudia ( $\chi^2 = 3,63$ ; gl = 2;  $p = 0,1626$ ) e em Bela Vista do Paraíso ( $\chi^2 = 0,43$ ; gl = 2;  $p = 0,8073$ ).

**Tabela 1.** Médias  $\pm$  Erro Padrão estimadas de inimigos naturais e pragas em diferentes tecnologias de soja em Sabáudia, PR.

Variável	IPRO	i2X	RR
Total de inimigos naturais	34,3 $\pm$ 7,77 <sup>ns</sup>	36,1 $\pm$ 8,18	37,7 $\pm$ 9,10
Predadores	8,6 $\pm$ 2,11a	7,1 $\pm$ 1,66a	4,6 $\pm$ 1,35b
Parasitoides	24,7 $\pm$ 6,75 <sup>ns</sup>	27,4 $\pm$ 7,51	31,1 $\pm$ 9,07
Total de pragas	9,8 $\pm$ 4,06 <sup>ns</sup>	9,2 $\pm$ 3,83	11,5 $\pm$ 4,79
Lagartas*	1,00, $\pm$ 0,40 b	0,0 $\pm$ 0,00 b	5,2 $\pm$ 2,07 a
Percevejos*	1,4 $\pm$ 0,78 ab	0,8 $\pm$ 0,45 b	2,4 $\pm$ 1,39 a
Vaquinhas*	5,8 $\pm$ 2,49 ab	7,2 $\pm$ 3,06 a	3,2 $\pm$ 1,41 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). ns = não significativo.

\*Valores médias observados.

**Tabela 2.** Médias  $\pm$  Erro padrão estimadas de inimigos naturais e pragas em diferentes tecnologias de soja em Bela Vista do Paraíso, PR.

Variável	IPRO	i2X	RR
Total de inimigos naturais	37,2 $\pm$ 6,63	31,5 $\pm$ 5,66	24,0 $\pm$ 4,26
Predadores	8,6 $\pm$ 2,19 ns	9,5 $\pm$ 2,39	8,0 $\pm$ 1,98
Parasitoides	27,4 $\pm$ 5,77 a	20,0 $\pm$ 4,29 ab	14,1 $\pm$ 3,01 b
Lagartas*	2,14ns	0,93	4,93
Percevejos*	1,64ns	1,36	0,87
Vaquinhas*	2,14ns	2,86	3,73

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). ns = não significativo na linha. \*Valores médios observados.

Esses resultados indicam relativa estabilidade da comunidade de inimigos naturais independentemente da tecnologia utilizada, sugerindo compatibilidade ecológica das tecnologias *Bt* com artrópodes benéficos presentes no agroecossistema da soja. Resultados semelhantes foram relatados por Marques et al. (2018), que observaram redução de pragas-alvo em cultivares *Bt* sem alterações significativas na comunidade de artrópodes não alvo associados à cultura da soja. Da mesma forma, Wolfenbarger et al. (2008), em uma meta-análise envolvendo diferentes culturas *Bt*, verificaram que os efeitos sobre organismos benéficos geralmente são limitados e frequentemente associados a alterações indiretas na disponibilidade de presas e hospedeiros.

A ocorrência de parasitoides apresentou resposta distinta entre as localidades. Em Sabáudia, não houve diferença significativa entre as tecnologias ( $\chi^2 = 0,68$ ; gl = 2;  $p = 0,7130$ ), embora RR tenha apresentado numericamente maior abundância desse grupo. Em contraste, em Bela Vista do Paraíso, a abundância de parasitoides foi significativamente influenciada pelas tecnologias de soja ( $\chi^2 = 8,29$ ; gl = 2;  $p = 0,0158$ ), com maior abundância em IPRO em comparação à RR ( $p = 0,0112$ ). Esse comportamento reforça que parasitoides tendem a responder de forma mais sensível às alterações ecológicas promovidas no sistema de cultivo, uma vez que possuem dependência da disponibilidade de hospedeiros. Wolfenbarger et al. (2008) relatam que parasitoides frequentemente apresentam respostas indiretas em

sistemas *Bt* devido à redução de hospedeiros-alvo, comportamento semelhante ao observado neste estudo. Além disso, as diferenças observadas entre Sabáudia e Bela Vista do Paraíso evidenciam a importância de fatores ambientais, da paisagem agrícola e da dinâmica populacional regional na estruturação das comunidades de inimigos naturais. Fatores ambientais e a composição da paisagem podem exercer influência significativa sobre a abundância de artrópodes predadores e herbívoros, muitas vezes superando os efeitos diretos das tecnologias *Bt* (Abbate et al., 2022).

Com relação a pragas, a abundância total de pragas não diferiu significativamente entre as tecnologias em nenhuma das localidades avaliadas, tanto em Sabáudia ( $\chi^2 = 1,84$ ; gl = 2;  $p = 0,3994$ ) quanto em Bela Vista do Paraíso ( $\chi^2 = 4,03$ ; gl = 2;  $p = 0,1330$ ). As lagartas foram o grupo mais influenciado pelas tecnologias *Bt* nas duas localidades, pois são o alvo da tecnologia. Em Sabáudia, houve maior abundância em RR e ocorrência praticamente nula em i2X, que é a tecnologia mais recente. Em Bela Vista do Paraíso, i2X também apresentou menor abundância de lagartas em comparação a IPRO e RR. Esses resultados demonstram elevada eficiência da tecnologia i2X no controle de lepidópteros-praga, reforçando o potencial das tecnologias *Bt* no manejo de lagartas em sistemas de produção de soja, bem como a adoção de táticas que visam manter a tecnologia viável por mais tempo.

Para percevejos, os resultados variaram entre as localidades. Em Sabáudia, houve diferença significativa entre as tecnologias ( $\chi^2 = 7,12$ ; gl = 2;  $p = 0,0285$ ), com maior abundância em RR em comparação a i2X ( $p = 0,0209$ ), enquanto em Bela Vista do Paraíso não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ( $\chi^2 = 1,04$ ; gl = 2;  $p = 0,5935$ ). Considerando que as proteínas *Bt* avaliadas não apresentam ação direta sobre percevejos, os resultados sugerem que a ocorrência desse grupo esteve mais associada à dinâmica populacional regional e às condições ambientais locais do que propriamente às tecnologias de soja utilizadas. A ausência de um padrão consistente entre localidades reforça essa interpretação e evidencia a complexidade das interações ecológicas envolvidas na dinâmica de percevejos em sistemas de produção de soja. Alterações observadas em organismos não alvo de culturas *Bt* podem estar associadas a efei-

tos ecológicos indiretos e não à ação direta das proteínas inseticidas como menciona por Fernandes et al. (2007).

Dentre as espécies-pragas, as vaquinhas apresentaram comportamento distinto em relação aos demais grupos de pragas, sendo um dos grupos mais abundantes ao longo do experimento nas duas localidades. Em Sabáudia, as maiores médias de ocorrência de vaquinhas foram em i2X e IPRO em comparação à RR. Em Bela Vista do Paraíso, apesar da ausência de diferença significativa, RR e i2X também apresentaram tendência de maior abundância em relação à IPRO. Esse padrão sugere que a dinâmica populacional das vaquinhas não esteve diretamente relacionada aos efeitos das proteínas *Bt*, podendo estar mais associada à disponibilidade de alimento, fatores ambientais e características ecológicas específicas do grupo.

De maneira geral, os resultados demonstram que as tecnologias *Bt* exerceram maior efeito sobre lagartas, enquanto os inimigos naturais permaneceram relativamente estáveis entre os tratamentos. Além disso, as diferenças observadas entre Sabáudia e Bela Vista do Paraíso indicam que fatores ambientais e regionais podem modular as respostas ecológicas das comunidades de pragas e inimigos naturais em sistemas de produção de soja. Esses resultados reforçam a importância de avaliações em condições de campo e da análise simultânea entre pragas e organismos benéficos para melhor compreensão das interações ecológicas associadas às tecnologias de soja.

## Conclusão

As tecnologias *Bt* influenciaram principalmente a abundância de lagartas, com destaque para a tecnologia i2X, que apresentou maior eficiência na supressão de lepidópteros-praga nas duas localidades avaliadas. Em contrapartida, não foram observadas reduções consistentes na abundância de inimigos naturais, indicando baixa interferência das tecnologias *Bt* sobre organismos benéficos no agroecossistema da soja. Além disso, as diferenças observadas entre Sabáudia e Bela Vista do Paraíso demonstram que fatores ambientais e regionais podem influenciar a dinâmica de pragas e inimigos naturais em condições de campo. Dessa forma, os resultados reforçam o potencial das tecnologias *Bt* como ferramentas compatíveis com programas de MIP na cultura da soja.

## Referências

ABBATE, S.; MADEIRA, F.; SILVA, H.; ALTIER, N.; PONS, X. Association between landscape composition and the abundance of predator and herbivore arthropods in Bt and non-Bt soybean crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 336, 108027, 2022. DOI: 10.1016/j.agee.2022.108027.

ÁVILA, C. J.; GRIGOLLI, J. F. J. Pragas da soja e seu controle. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; MELOTTO, A. M.; PITOL, C.; GITTI, D. de C.; ROSCOE, R. (ed.). **Tecnologia e produção: Soja 2013/2014**. Maracaju, MS: Fundação MS, 2014. cap. 6, p. 109-168.

BALE, J. S.; VAN LENTEREN, J. C.; BIGLER, F. Biological control and sustainable food production. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1492, p. 761-776, 2008.

BUENO, A. de F.; ROGGIA, S.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BUENO, R. C. O. F.; MOSCARDI, F. Inimigos naturais das pragas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (ed.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 493-629.

BUENO, A. F.; PAULA-MORAES, S. V.; GAZZONI, D. L.; POMARI, A. F. Economic thresholds in soybean-integrated pest management: old concepts, current adoption, and adequacy. **Neotropical Entomology**, v. 42, n. 5, p. 439-447, 2013.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v. 2, safra 2024/25, 7º levantamento. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 12 jun. 2026.

FERNANDES, O. A.; FARIA, M.; MARTINELLI, S.; SCHMIDT, F.; CARVALHO, V. F.; MORO, G. Short-term assessment of Bt maize on non-target arthropods in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 3, p. 249-255, 2007.

GAUR, N.; MOGALAPU, S. Pests of soybean. In: GAUR, N.; MOGALAPU, S. (ed.). **Pests and their management**. Singapore: Springer, 2018. p. 137-162.

LANDIS, D. A.; WRATTEN, S. D.; GURR, G. M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. **Annual Review of Entomology**, v. 45, n. 1, p. 175-201, 2000.

MARQUES, L. H.; SANTOS, A. C.; CASTRO, B. A.; MOSCARDINI, V. F.; ROSSI, M. L.; BORTOLOTTO, O. C.; GUIDOLOTTI, A.; CORRÊA, A. S.; OMOTO, C. Impact of transgenic soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins on the non-target arthropod community associated with soybean in Brazil. **PLoS One**, v. 13, n. 2, e0191567, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0191567.

MONDAL, S.; ANOKHE, A.; DURAIMURUGAN, P. A brief overview of pest complex in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] and their management. **Journal of Oilseeds Research**, v. 40, n. 3, p. 105-116, 2023.

NARANJO, S. E. Effects of GM crops on non-target organisms. In: RICHROCH, A.; CHOPRA, S.; FLEISCHER, S. J. (ed.). **Plant Biotechnology: Experience and Future Prospects**. Cham: Springer, 2014. p. 129-142. DOI: 10.1007/978-3-319-06892-3\_11.

NARANJO, S. E.; ELLSWORTH, P. C.; FRISVOLD, G. B. Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. **Annual Review of Entomology**, v. 60, n. 1, p. 621-645, 2015.

ONSTAD, D. W.; BUENO, A. de F.; FAVETTI, B. M. Economic thresholds and sampling in integrated pest management. In: ONSTAD, D. W.; CRAIN, P. R. (ed.). **The economics of integrated pest management of insects**. Wallingford: CABI, 2019. v. 1. p. 122-139.

ROMEIS, J.; NARANJO, S. E.; MEISSE, M.; SHELTON, A. M. Genetically engineered crops help support conservation biological control. **Biological Control**, v. 130, p. 136-154, 2019.

ULLAH, F.; GURU-PIRASANNA-PANDI, G.; MURTAZA, G.; SARANGI, S.; GUL, H.; LI, X.; LU, Y. Evolving strategies in agroecosystem pest control: transitioning from chemical to green management. **Journal of Pest Science**, v. 98, n. 4, p. 2307-2324, 2025.

WOLFENBARGER, L. L.; NARANJO, S. E.; LUNDRGREN, J. G.; BITZER, R. J.; WATRUD, L. S. Bt crop effects on functional guilds of non-target arthropods: a meta-analysis. **PLoS One**, v. 3, n. 5, e2118, 2008. DOI: 10.1371/journal.pone.0002118.

## O papel da temperatura e de infecções mistas causadas por fungos entomopatogênicos em percevejo

Caetano Furlaneto Turquino Vezozzo<sup>(1)</sup>, Maria Eduarda Bono de Oliveira<sup>(2)</sup>, Nathalye de França Santos<sup>(2)</sup>, Agnes Izumi Nagashima<sup>(3)</sup>, Guilherme Yudi Hashitani Kodama<sup>(1)</sup>, Daniel Ricardo Sosa-Gómez<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Filadelfia (UNIFIL), Londrina-PR. <sup>(2)</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Biotecnóloga, Mestre em Ciências de Alimentos, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

A cultura da soja (*Glycine max*) e do milho (*Zea mays*) representam pilares fundamentais do agronegócio brasileiro, com o país consolidado como um dos maiores produtores e exportadores globais de ambos os grãos (Conab, 2025). O Brasil, com seus 150 milhões de toneladas produzidas, é o maior produtor e exportador de soja, o que impulsiona significativamente a balança comercial e o PIB do agronegócio (Barros; Castro, 2025). A extensa área cultivada torna-se um ambiente propício para o desenvolvimento de pragas, sobretudo com o atual aumento da sucessão de ambas as culturas e o clima tropical.

O percevejo-marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798), e o percevejo barriga-verde, *Diceraeus melacanthus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae), representam uma ameaça direta à produtividade e à rentabilidade dos cultivos de soja e milho. Nativos da região neotropical, esses insetos demonstram elevada adaptabilidade às condições agrícolas brasileiras, consolidando-se como pragas-chave para ambas as culturas (Panizzi et al., 2022). De acordo com a Embrapa e o IDR-Paraná, infestações severas de barriga-verde no milho e de percevejo-marrom na soja podem resultar em perdas de 10 a 30% (Villas Boas et al., 1990).

O controle químico do percevejo barriga-verde tem gerado preocupações crescentes devido ao potencial desenvolvimento de resistência nos insetos e aos impactos ambientais adversos (Lima et al., 2024). Diante desse cenário, o controle biológico sustentável apresenta-se como uma alternativa promissora para reduzir a dependência de in-

seticidas sintéticos. A utilização de fungos entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, destaca-se como uma opção para a substituição de produtos químicos tradicionais. A integração dessas ferramentas biológicas no Manejo Integrado de Pragas (MIP) é fundamental para garantir a eficiência, longevidade do controle e sustentabilidade do sistema produtivo.

Os fungos entomopatogênicos atuam por contato e infecção, promovendo a redução populacional da praga sem deixar resíduos tóxicos no ambiente. O presente trabalho visa verificar as condições de temperatura que favorecem a infecção de *D. melacanthus* por *B. bassiana* e o potencial da infecção simultânea de *E. heros* por *B. bassiana* e *M. anisopliae*.

## Material e Métodos

Adultos de *Euschistus heros* e *Diceraeus melacanthus* foram coletados na Embrapa Soja e mantidos em gaiolas plásticas com aberturas revestidas de arame e alimentados com vagens de feijão.

Os isolados de *M. anisopliae* (CNPSO-356) e *B. bassiana* (CNP-So-479) eram provenientes da coleção do Laboratório de Patologia de artrópodes da Embrapa Soja. O fungo CNPSO-356 (=Cenargen CG 144) foi isolado de *Piezodorus guildinii* em 6 de dezembro de 2005, em Goiânia, GO, já o CNPSO-479 foi isolado em 3 janeiro de 2005, de uma epizootia em ninfas de *Nezara viridula*, em casa de vegetação da Embrapa Soja.

Suspensões de conídios dos fungos entomopatogênicos foram preparadas inicialmente em água mais Tween 80 0,05%, posteriormente dividida em duas séries (A e B) de diluições seriadas. Ambas as séries foram centrifugadas a 12,000 g durante 4 min, o sobrenadante descartado, na série "A" foi ressuspensa em óleo de soja com Tenso-oil® 2,5% e a série "B" foi ressuspensa em água para quantificação em câmara de Neubauer. Os insetos mortos foram acondicionados em câmara úmida e o número dos insetos com os sinais dos fungos entomopatogênicos registrados. Aos dados de mortalidade diária causada pelos fungos e a mortalidade no tratamento testemunha foram aplicados à análise de sobrevivência (Systat Software, 2026).

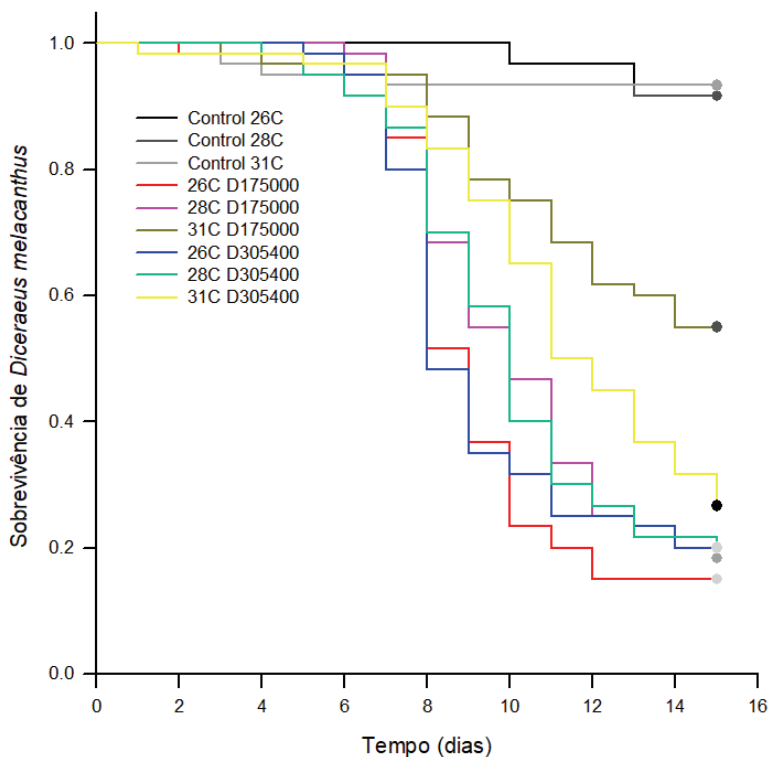
O delineamento experimental considerado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (duas doses e três temperaturas) com testemunhas. As temperaturas (26°C, 28°C e 31°C) foram controladas em cada câmara climatizada com quatro repetições. A avaliação dos resultados foi baseada na análise de sobrevivência (Systat Software, 2017) e as curvas de sobrevivência comparadas par a par pelo método de Holm-Šidák (Šidák, 1967; Holm, 1979).

Um segundo experimento foi realizado para determinar se a aplicação simultânea de *B. bassiana* e *M. anisopliae* e comparativamente com os fungos isolados teria algum benefício na eficiência do fungo para infectar e matar *E. heros* adultos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo unifatorial com testemunha.

## Resultados e Discussão

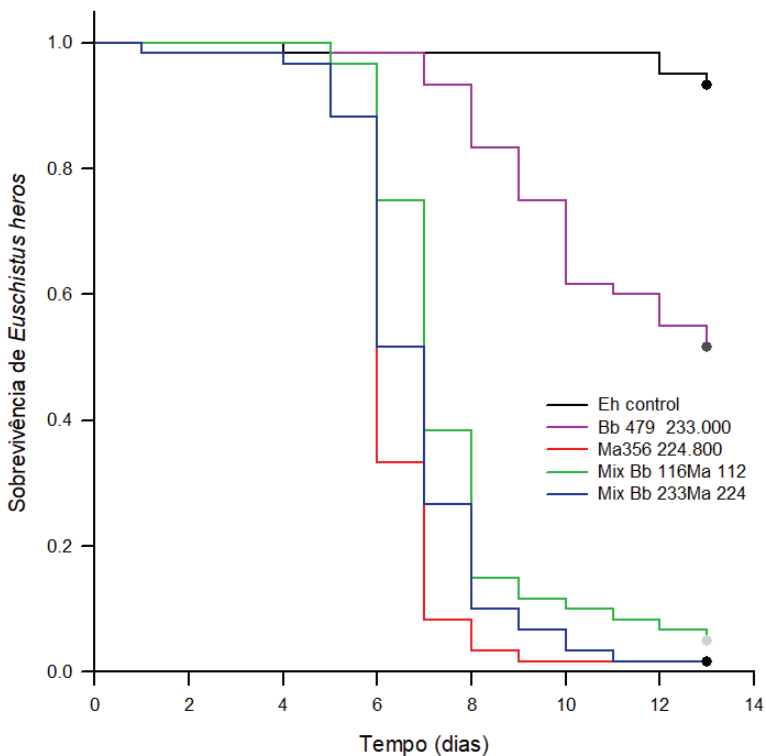
A temperatura de  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , nas duas doses aplicadas, foi a mais favorável para *B. bassiana* provocar a infecção e mortalidade mais rápida em *D. melacanthus* (Figura 1). Entre todas as temperaturas testadas a sobrevivência foi maior nos insetos expostos a  $31 \pm 1,2^\circ\text{C}$ , independente da dose aplicada. Não foram observadas diferenças de mortalidade entre 26 e 28 °C, seja considerando a dose de 175.000 conídios ou 350.000 conídios por percevejo adulto.

Os menores tempos medianos de mortalidade foram constatados nos tratamentos a 26°C, na dose de 350.000 conídios, com oito dias e na dose de 175.000 conídios com nove dias. O tempo mediano de mortalidade foi de 10 dias para ambas as doses a 28°C e 11 dias na dose de 350.000 conídios.



**Figura 1.** Curvas de sobrevivência de *Diceræus melacanthus* após a inoculação tóxica de 2  $\mu$ L de suspensões em água contendo 175.000 e 350.000 conídios viáveis de *Beauveria bassiana* (CNPSo-Bb479) por percevejo adulto expostos a diferentes temperaturas.

No experimento da aplicação isolada e combinada dos conídios de CNPSoBb479 e CNPSo-Ma356e foi possível constatar que o isolado de *M. anisopliae* foi mais virulento que *B. bassiana* (método Holm-Šidák,  $Pr < 0,05$ ) (Figura 2). Já *M. anisopliae* na maior dose (224.800 conídios viáveis por adulto) causou maior mortalidade (método Holm-Šidák,  $Pr < 0,001$ ) que a combinação de ambas as espécies nas doses menos elevadas, de 116.000 conídios de *B. bassiana* e 112.400 conídios de *M. anisopliae*.



**Figura 2.** Curvas de sobrevivência de *Euschistus heros* com sinais da infecção após a inoculação tópica de 2  $\mu$ L de suspensões em óleo de soja e tenso-oil 2,5% contendo conídios viáveis de *Metarhizium anisopliae* (CNPSo-Ma356) e ou *Beauveria bassiana* (CNPSo- Bb479) por percevejo adulto expostos a  $28 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$  e 70% UR. Bb 479: 233.600 conídios; Ma 356: 224.800 conídios; Mix Bb 116Ma112: 116.000 e 112.400 conídios, respectivamente e Mix bb 233Ma 224: 233.600 e 224.800 conídios, respectivamente.

## Conclusão

A performance do isolado de *B. bassiana* para causar mortalidade em *D. melacanthus* foi melhor quando os percevejos foram mantidos a  $26^{\circ}\text{C}$  após a inoculação. O uso simultâneo dos isolados de *B. bassiana* e *M. anisopliae* não realçou a virulência quando comparados com o fungo mais virulento aplicado isoladamente.

## Referências

- BARROS, G. S. de C.; CASTRO, N. R. (coord.). **Cadeia da soja e do biodiesel**: PIB, empregos e comércio exterior - 3º trimestre de 2025. Cepea; Abiove, 2025. Disponível em: [https://abiove.org.br/abiove\\_content/Abiove/Relatorio-Cadeia-da-Soja-e-biodiesel-3T2025\\_1.pdf](https://abiove.org.br/abiove_content/Abiove/Relatorio-Cadeia-da-Soja-e-biodiesel-3T2025_1.pdf). Acesso em: 26 maio 2026.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, safra 2024/25, 9º levantamento. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atualizacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/>. Acesso em: 26 maio 2026.
- HOLM, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. **Scandinavian Journal of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 65-70, 1979.
- LIMA, M. H. F.; MELO NETO, A. J. de; PEREIRA, F. A. de S.; CARDOSO, P. L. E. R.; SANTIAGO, C. M.; ABREU, G. B.; SOUZA, J. R. de. Diversity of phytophagous stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) associated with rice crop in Itapecuru-Mirim, Maranhão, Brazil. **Revista Chilena de Entomología**, v. 50, n. 1, p. 165-169, 2024.
- PANIZZI, A. R.; LUCINI, T.; ALDRICH, J. R. Dynamics in pest status of phytophagous stink bugs in the Neotropics. **Neotropical Entomology**, v. 51, n. 1, p. 18-31, 2022.
- ŠIDÁK, Z. Rectangular confidence regions for the means of multivariate normal distributions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, n. 318, p. 626-633, 1967.
- SYSTAT SOFTWARE, Inc. **Sigmaplot**, version 14. 2017.
- VILLAS BOAS, G. L.; GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, M. C. N. de; COSTA, N. P. da; ROESSING, A. C.; FRANCA NETO, J. de B.; HENNING, A. A. **Efeito de diferentes populações de percevejos sobre o rendimento e seus componentes, características agronômicas e qualidade de semente de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1990. 43 p. (EMBRAPA-CNPSO. Boletim de Pesquisa, 1).

## Otimizações dos métodos de produção e extração de dsRNA em *Escherichia coli* HT115 (DE3)

Giovana Zanella Gusmão<sup>(1)</sup>, Juliana da Rosa<sup>(2)</sup>, Leonardo Adabo Cintra<sup>(3)</sup>, Júlia Sebben<sup>(4)</sup>, Alexandre Lima Nepomuceno<sup>(5)</sup>, Liliane Márcia Mertz-Henning<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Biotecnologia, Universidade Estadual de Londrina, Bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED), Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Bióloga, doutora, bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED), Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Biólogo, doutor, bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED), Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Bióloga, mestre, bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED), Londrina, PR. <sup>(5)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

O controle de plantas daninhas, insetos-praga e patógenos enfrenta desafios crescentes, incluindo a evolução de resistência aos métodos convencionais de manejo, além de preocupações com contaminação ambiental e de efeitos sobre organismos não alvo. Nesse contexto, o uso de tecnologias de controle alvo-específicas, eficientes e ambientalmente sustentáveis têm recebido crescente atenção. Entre essas abordagens destaca-se o RNA de interferência (RNAi), uma ferramenta baseada em silenciamento gênico pós-transcricional que apresenta potencial para o desenvolvimento de princípios ativos seletivos e amigáveis ao meio ambiente (He et al., 2022; Li et al., 2026).

RNAi é um sistema de defesa presente em células eucariontes descoberto por Fire et al. (1998). Esse mecanismo é desencadeado pela entrada de moléculas de *double-stranded RNA* (dsRNA) no citoplasma da célula. Uma vez dentro do citoplasma das células os dsRNAs são clivados por uma Ribonuclease III ou Dicer, em pequenos siRNAs de 21 a 24 pb. Esses siRNAs são incorporados a um complexo enzimático, *RNA induced silencing complexes* (RISC), que utiliza uma das fitas do siRNA como guia para clivar os mRNAs complementares degradando-os (Dalakouras et al., 2020).

Um dos gargalos no desenvolvimento de pesticidas baseados em RNAi é a produção em quantidade e qualidade das moléculas de dsRNA. A produção da molécula pode ser realizada utilizando transcri-

ção *in vitro* por meio de kits comerciais ou *in vivo* utilizando bactérias ou leveduras em fermentações líquidas (Voloudakis et al., 2015). O processo de extração e purificação da molécula também representa uma etapa crítica que limita sua aplicação em larga escala (Nwokeoji et al., 2019). Nesse contexto, a otimização das etapas de *downstream processing* é considerada um dos principais desafios para a consolidação do uso do dsRNA em aplicações agrícolas (Ahn et al., 2019).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo otimizar o meio de cultivo de *Escherichia coli* HT115 (DE3) e avaliar a eficiência de recuperação de dsRNA utilizando os métodos de extração fenólica e extração etanólica, visando identificar alternativas mais eficientes e economicamente viáveis para aplicações em RNAi.

## Material e Métodos

### Vetor, sequências e bactérias

Os ensaios de produção de dsRNA foram realizados utilizando o vetor de expressão pCloneEZ, que possui dois promotores T7 flanqueando a região de Múltiplos Sítios de Clonagem (MSC) e dois terminadores T7 posicionados após cada promotor. Sequências dos genes *phytoene desaturase* (*PDS*) e *5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase* (*EPSPS*) de *Digitaria insularis* (capim-amargoso) foram inseridas no vetor por clonagem molecular utilizando enzimas de restrição (*BsmBI*) para a produção dos respectivos dsRNAs. Os vetores recombinantes foram posteriormente inseridos na bactéria *E. coli* HT115 via choque térmico.

### Produção das moléculas de dsRNA

Para os ensaios de otimização da produção de dsRNA foram testados dois meios de cultura: Luria-Bertani (LB) e Terrific Broth (TB). Foram produzidos pré-inóculos em 5 mL de meio LB líquido com os antibióticos tetraciclina (12,5 µg/mL) e ampicilina (100 µg/mL) e incubação por 16 h a 37°C sob agitação de 180 rpm.

Para a produção de dsRNA foram inoculados 5 mL de cada pré-inóculo em 100 mL de meio LB ou TB para os ensaios de otimização de meios para produção de dsRNA. Ao atingir a OD<sub>600</sub> nm de 0,4 iniciou-se a indução da expressão por adição do indutor Lactose a 16mM. Após o início da indução os frascos foram alimentados com meio

contendo lactose e antibióticos por duas vezes com 1h de intervalo, e mantidos por 4 h nas mesmas condições supracitadas. Em seguida, a suspensão bacteriana foi coletada por centrifugação a 4000 xg por 5 min, o sobrenadante foi descartado e o pellet de bactérias foi mantido em freezer  $-80^{\circ}\text{C}$  até o momento da extração.

### **Extração e purificação das amostras**

Foram avaliados dois métodos de extração de dsRNA: Trizol e etanol. No método com Trizol, os *pellets* bacterianos foram ressuspensos em SDS 0,1% em PBS 1X, submetidos a aquecimento a  $100^{\circ}\text{C}$  por 2 min e incubados com Trizol. Após adição de clorofórmio e centrifugação, o sobrenadante foi precipitado com isopropanol. O *pellet* obtido foi lavado duas vezes com etanol 75%, seco e ressuspensado em água livre de nucleases.

No método de extração por etanol, os pellets bacterianos foram ressuspensos em etanol 70% contendo PBS 1X, incubados a  $4^{\circ}\text{C}$  e centrifugados. O pellet foi então ressuspensado em NaCl 150 mM, incubado a  $4^{\circ}\text{C}$  por 3 h e novamente centrifugado. O sobrenadante foi precipitado com isopropanol, seguido de lavagem com etanol 70%, secagem e ressuspensão em água livre de nucleases.

Após a extração, as amostras de ambas extrações foram tratadas com TURBO™ DNase (Ambion) e RNase A (Invitrogen) para remoção de DNA e RNA fita simples, conforme descrito por Ahn et al. (2019). Em seguida, os dsRNAs foram purificados com fenol:clorofórmio:álcool isoamílico (25:24:1), precipitados com  $\text{NH}_4\text{OAc}$  e isopropanol, lavados duas vezes com etanol 70%, secos e ressuspensos em água livre de nucleases.

### **Análise da produtividade e da qualidade do dsRNA**

A análise de produtividade foi determinada por uma razão entre a quantidade de dsRNA produzido em  $\mu\text{g}$  pelo volume total de fermentação bacteriana utilizada no processo de extração. As amostras foram quantificadas em espectrofotômetro Nanodrop e sua qualidade foi verificada por eletroforese em gel de agarose 1%.

### **Análise estatística**

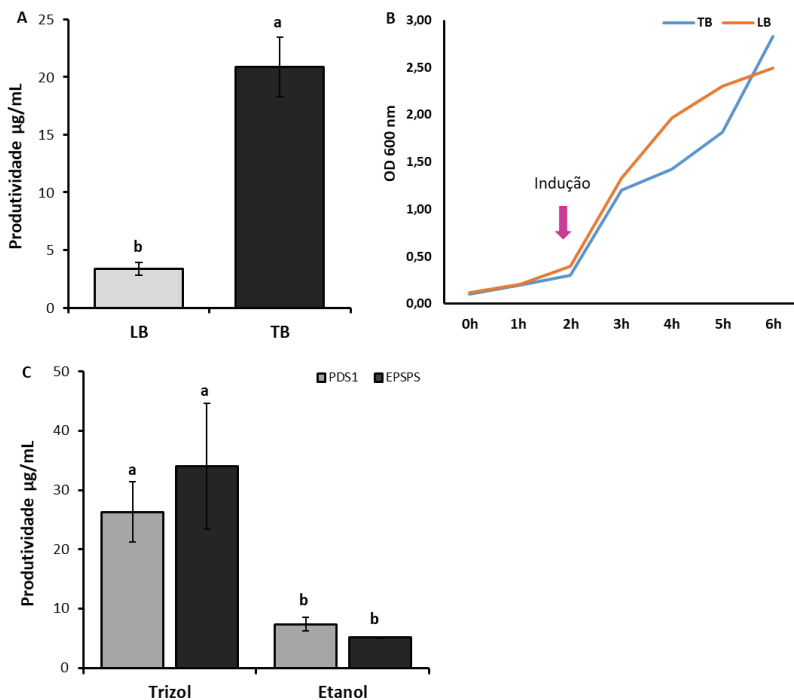
Os dados de produtividade de dsRNA dos meios de cultivo testados e dos métodos de extração foram analisados utilizando o teste t de

Student. Os métodos de extração (Trizol vs. Etanol) foram comparados de forma independente para cada alvo gênico (PDS e EPSPS). As análises foram conduzidas adotando-se o nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

A produção de dsRNAs com qualidade adequada é um dos primeiros passos para a consolidação da tecnologia de RNAi para produção de biopesticidas (Ahn et al., 2019). A otimização da produção de dsRNA envolve tanto o incremento da biomassa celular durante a fase de fermentação quanto a escolha de um método de extração que garanta a integridade e a máxima recuperação das moléculas de dsRNA.

O meio de cultura é um dos pontos cruciais para o aumento da produtividade de dsRNA por bactérias *E. coli* HT115 (Papic et al., 2018). Nesse estudo foram testados os meios de cultura LB e TB. Utilizando TB a produtividade de dsRNA do gene *PDS* foi de 20,8  $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ , enquanto que a produtividade do meio LB foi de 3,4  $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ , sob as mesmas condições de cultivo e método de extração (Figura 1A). Esse incremento representa um rendimento aproximadamente seis vezes maior no meio TB. A produtividade de dsRNA está relacionada ao crescimento bacteriano, desse modo meios mais nutritivos podem fornecer condições favoráveis para o crescimento bacteriano e consequentemente maior produção de dsRNA (Papic et al., 2018). Essa diferença drástica na produtividade pode ser atribuída à composição nutricional de ambos os meios. O meio LB contém uma quantidade reduzida de nutrientes quando comparado ao meio TB, o que leva à saturação do crescimento celular devido à rápida elevação do pH e esgotamento dos nutrientes. O meio TB, ao contrário, contém maior concentração de peptona e extrato de levedura, além de glicerol como fonte de carbono de transição mais lenta, além de um sistema tampão fosfato (Thammasorn et al., 2015).



**Figura 1.** Otimização da produção de dsRNA ( $\mu\text{g/mL}$ ) em bactérias *E. coli* HT115 (DE3) frente a diferentes meios de cultura e métodos de extração. (A) Rendimento de dsRNA em função do meio de cultura utilizado: Luria-Bertani (LB) e Terrific Broth (TB). (B) Perfil de crescimento de *E. coli* HT115 ao longo de 6 horas nos meios LB e TB. (C) Eficiência da extração de dsRNA para os alvos PDS e EPSPS comparando os protocolos de extração com Trizol e Etanol. As barras representam a média e as barras de erro indicam o erro-padrão da média ( $n = 3$ ). Letras diferentes sobre as barras indicam diferenças estatisticamente significativas pelo teste *t* de Student ( $p < 0,05$ ).

O perfil de crescimento de *E. coli* HT115 (DE3) nos meios TB e LB é demonstrado na Figura 1B. Após a indução da expressão após o atingimento da  $\text{OD}_{600\text{nm}}$  de 0,4 com o meio LB, apresentou crescimento até a 4<sup>o</sup> hora de indução onde iniciou uma desaceleração de crescimento atingindo um platô característico do esgotamento de nutrientes e início da fase estacionária. Enquanto que a fermentação utilizando meio TB ainda exibe um crescimento exponencial na 4<sup>a</sup> hora de indução, atingindo valores superiores de densidade óptica e consequentemente maior número de células. O aporte nutricional

estendido fornecido pelo meio TB permite que a cepa *E. coli* HT115 atinja altas densidades celulares, sem sofrer com a acidificação precoce do meio de cultivo (Thammasorn et al., 2015).

Em relação à etapa de extração do dsRNA, o método de extração com TRIzol apresentou um rendimento superior à extração por etanol (Figura 1C). Para o dsRNA PDS, a extração com TRIzol alcançou a produtividade de 26,34 µg/mL, enquanto que a extração por etanol recuperou 7,40 µg/mL. Dados semelhantes foram observados na extração do dsRNA EPSPS, onde a extração por TRIzol alcançou a produtividade de 34,04 µg/mL enquanto que a por Etanol 5,14 µg/mL. Esses dados indicam que a extração com TRIzol foi mais eficiente na recuperação das moléculas de dsRNA. Apesar do baixo rendimento, comparado a extração por TRIzol, dados da literatura mostram que o protocolo de extração por etanol desenvolvido neste trabalho mostrou-se superior aos descritos na literatura. Posiri et al. (2013), por exemplo, reportaram uma produtividade média de aproximadamente 0,15 µg/mL via extração etanólica. Desse modo, as otimizações do protocolo de extração por etanol implementadas neste trabalho permitiram um incremento na eficiência desse método de baixo custo.

A análise de viabilidade econômica dos dois métodos demonstrou que o custo de produção de dsRNA pela extração por etanol é de R\$ 22,43/mg de dsRNA, enquanto que o protocolo por TRIzol é de R\$34,77/mg. Apesar da extração utilizando TRIzol ser cerca de 1,6 vezes mais cara, compensa financeiramente a adoção desse método devido ao ganho expressivo em produtividade (30,0 µg/mL). Para aplicações spray de dsRNA que exigem concentrações altas do ativo, a extração por etanol torna-se inviável, devido ao baixo rendimento, tornando a extração por TRIzol uma opção mais adequada para escala laboratorial (Cintra et al., 2025). Apesar disso, novas otimizações no protocolo podem aumentar o rendimento e tornar a extração por etanol viável.

## Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a escolha do meio de cultura e do método de extração são fatores determinantes para a produtividade e a qualidade do dsRNA produzido em *E. coli* HT115. O meio TB mostrou-se significativamente superior ao meio

LB, proporcionando rendimento, aproximadamente, seis vezes maior na produção de dsRNA. Com relação aos métodos de extração, o protocolo de extração por TRIzol apresenta maior rendimento que o protocolo de extração por etanol, e apesar de ser mais custoso ainda é a melhor opção para utilização em bioensaios em escala laboratorial. Em conjunto, os dados obtidos contribuem para o avanço do desenvolvimento de um protocolo de produção de dsRNA mais eficiente e economicamente viável, representando um passo importante para a consolidação do uso do RNAi como ferramenta em aplicações agrícolas.

## Referências

- AHN, S.-J.; DONAHUE, K.; KOH, Y.; MARTIN, R. R.; CHOI, M.-Y. Microbial-based double-stranded RNA production to develop cost-effective RNA interference application for insect pest management. **International Journal of Insect Science**, v. 11, p. 1-8, 2019. DOI: 10.1177/1179543319840323.
- CINTRA, L. A.; ROSA, J. da; ASSIS, R. de; MARIN, S. R. R.; ADEGAS, F. S.; RECH, E. L.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M. RNAi spray-induced gene silencing of EPSPS by topical application of dsRNA in the weed *Digitaria insularis*. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 1688755, 2025. 10 p. DOI: 10.3389/fpls.2025.1688755.
- DALAKOURAS, A.; WASSENEGGER, M.; DADAMI, E.; GANOPOULOS, I.; PAPPAS, M. L.; PAPADOPOULOU, K. Genetically modified organism-free RNA interference: Exogenous application of RNA molecules in plants. **Plant Physiology**, v. 182, n. 1, p. 38-50, 2020. DOI: 10.1104/pp.19.00570.
- FIRE, A.; XU, S.; MONTGOMERY, M. K.; KOSTAS, S. A.; DRIVER, S. E.; MELLO, C. C. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. **Nature**, v. 391, n. 6669, p. 806-811, 1998. DOI: 10.1038/35888.
- HE, L.; HUANG, Y.; TANG, X. RNAi-based pest control: Production, application and the fate of dsRNA. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, 1080576, 2022. DOI: 10.3389/fbioe.2022.1080576.
- LI, X.; LU, H.; ZHAO, C.; TANG, Q. Spray-applied RNA interference biopesticides: mechanisms, technological advances, and challenges toward sustainable pest management. **Horticulturae**, v. 12, n. 2, 137, 2026. DOI: 10.3390/horticulturae12020137.

NWOKEOJI, A. O.; KUMAR, S.; KILBY, P. M.; PORTWOOD, D. E.; HOBBS, J. K.; DICKMAN, M. J. Analysis of long dsRNA produced in vitro and in vivo using atomic force microscopy in conjunction with ion-pair reverse-phase HPLC. **Analyst**, v. 144, n. 16, p. 4985-4994, 2019. DOI: 10.1039/c9an00954j.

PAPIĆ, L.; RIVAS, J.; TOLEDO, S.; ROMERO, J. Double-stranded RNA production and the kinetics of recombinant *Escherichia coli* HT115 in fed-batch culture. **Biotechnology Reports**, v. 20, e00292, 2018. DOI: 10.1016/j.btre.2018.e00292.

POSIRI, P.; ONGVARRASOPONE, C.; PANYIM, S. A simple and eco-friendly method for large-scale production of double-stranded RNA in *Escherichia coli*. **Journal of Virological Methods**, v. 193, n. 2, p. 438-444, 2013. DOI: 10.1016/j.jviromet.2013.04.011.

THAMMASORN, T.; SRIBENJARAT, P.; SANEVAS, N.; KIRDMANEE, C.; PROMMEENATE, P. High-yield production of double-stranded RNA in *Escherichia coli* using a nutrient-rich medium and an optimized induction strategy. **Biotechnology Progress**, v. 31, n. 4, p. 912-920, 2015. DOI: 10.1002/btpr.2114.

VOLOUDAKIS, A. E.; HOLEVA, M. C.; PETER SARIN, L.; BAMFORD, D. H.; VARGAS, M.; PORANEN, M. M.; TENLLADO, F. Efficient double-stranded RNA production methods for utilization in plant virus control. **Methods in Molecular Biology**, v. 1236, p. 255-274, 2015. DOI: 10.1007/978-1-4939-1743-3\_19.

## Temperatura como fator modulador de viroses de noctuideos praga da cultura da soja

Maria Eduarda Bono de Oliveira<sup>(1)</sup>, Nathalye de França Santos<sup>(1)</sup>, Agnes Izumi Nagashima<sup>(2)</sup>, Maria Cristina Neves de Oliveira<sup>(3)</sup>, Vanessa Ferreira Sehaber<sup>(4)</sup>, Daniel Ricardo Sosa-Gómez<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Biotecnóloga, Mestre em Ciências de Alimentos, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Professora, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR.

### Introdução

A produção agrícola constitui um dos pilares da economia global, sendo responsável por suprir as demandas alimentares de uma população em constante crescimento. Entretanto, a intensificação do aquecimento global tem imposto desafios significativos à adaptação dos cultivos, especialmente em relação à ocorrência de períodos de seca e à substituição e/ou aumento de problemas fitossanitários causados por pragas em culturas de grande importância econômica, como soja, milho e algodão.

Atualmente a lagarta-do-cartucho-do-milho, *Spodoptera frugiperda*, adquiriu renovada relevância nas culturas do milho e do algodão após a seleção de populações resistentes às tecnologias *Bt* (Farias et al., 2014; Omoto et al., 2016). Paralelamente, *Rachiplusia nu* tem apresentado aumento em sua frequência em lavouras de soja contendo o evento transgênico Cry1Ac (Nardon et al., 2021), embora suas populações ainda não tenham causado danos generalizados nessa cultura.

O crescimento do registro e do uso de agentes de controle microbiano para o manejo dessas pragas demanda maior compreensão acerca do destino e da eficiência desses produtos em cenários agrícolas sujeitos a temperaturas mais elevadas. Assim, este estudo busca, inicialmente em condições controladas, verificar quais parâmetros do processo infeccioso causado por baculovírus são alterados em ambientes com temperaturas elevadas.

## Material e Métodos

**Criação dos insetos:** Mariposas de *S. frugiperda* e *R. nu* foram coletadas na fazenda experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR e acondicionadas em gaiolas de oviposição para iniciar a criação de forma contínua. Os insetos foram mantidos em câmaras climatizadas a  $26 \pm 1,0$  °C e 14 h de luz e os ovos provenientes desses adultos foram acondicionados em copos com dieta artificial Greene et al. (1976) modificada por Hoffmann-Campo et al. (1985) para alimentação das lagartas recém emergidas.

**Inóculo viral:** O vírus *Alphabaculovirus spofrugiperdae* foi proveniente de uma formulação comercial (Cartuchovit®), adquirido da empresa Vitae Rural. O *Alphabaculovirus ranus* de *Rachiplusia nu* foi previamente caracterizado por Trentin et al. (2019) e está depositado na coleção de vírus da Embrapa Soja sob a codificação CNPSo-54. O preparo dos inóculos foi realizado suspendendo 33 mg da formulação comercial de *A. spofrugiperdae* em 10 mL de água, o que resultou em  $1,98 \times 10^8$  corpos de oclusão (OBs).mL<sup>-1</sup>; *A. ranus*, também foi suspenso em água na concentração  $1,68 \times 10^6$  OBs.mL<sup>-1</sup>. Destas suspensões foram aplicados 40 µL ( $7,92 \times 10^5$  OBs de *A. spofrugiperdae* e  $6,72 \times 10^4$  OBs de *A. ranus*) sobre a superfície de blocos de dieta de 10 mm<sup>2</sup> x 4 mm de altura. A dieta artificial foi preparada isenta de todos os anticontaminantes (formol, metilparabeno e cloridrato de tetracilina). Posteriormente os blocos de dieta tratados foram disponibilizados para as respectivas espécies de lagartas.

**Bioensaios a diferentes temperaturas:** As lagartas neonatas (n=40) foram individualizadas em copos plásticos de 50 mL e fechados com tampas de papelão, para evitar a ocorrência de canibalismo. Grupos (n=4) de 40 copos com lagartas foram colocadas em câmaras climatizadas B.O.D. (Eletrolab, [www.eletrolab.com](http://www.eletrolab.com)) reguladas a diferentes temperaturas: 25°C, 28°C, 31°C e 34°C. As temperaturas foram registradas com um data logger (AK174, empresa Akso). Os blocos de dieta artificial tratados com os respectivos vírus foram substituídos depois das 24 h e posteriormente com dieta livre de vírus, diariamente, para evitar a proliferação de contaminantes e o ressecamento da dieta.

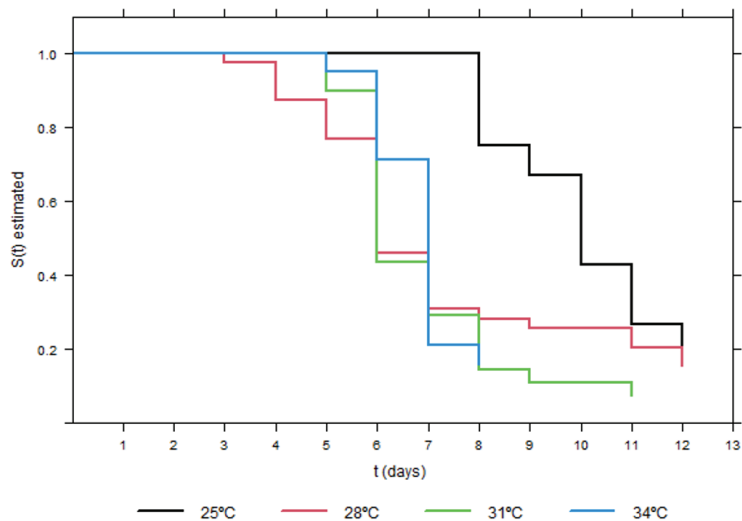
O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições (grupos). A avaliação dos resultados foi baseada na

análise de sobrevivência (Colosimo; Giolo, 2006). O tempo de sobrevivência foi avaliado pelo estimador não paramétrico de Kaplan-Meier (1958) e a comparação das curvas de sobrevivência devido às temperaturas e ao vírus pelo método de Holm-Sidak (Šidák, 1967; Holm, 1979).

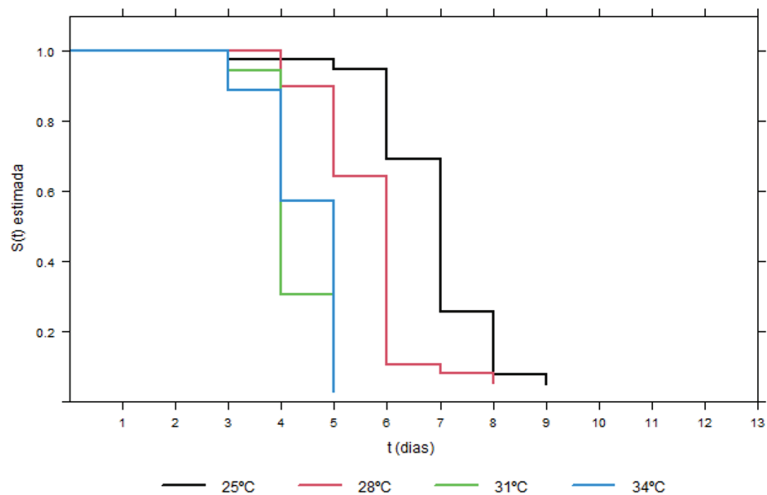
## Resultados e Discussão

As menores sobrevivências causadas por *Alphabaculovirus spofrugiperdae* foram observadas nas temperaturas 31 e 34 °C (Figura 1). A mortalidade de *S. frugiperda* devida ao vírus teve início no terceiro dia aos 28°C, no quinto dia aos 31 e 34 °C, e ao sexto dia de avaliação aos 25 °C. Os últimos casos de mortalidade ocorreram no 12º dia nas temperaturas de 25 e 28°C, ao 11º dia a 31°C e no oitavo dia a 34°C e a probabilidade de sobrevivência foi significativamente maior a 25°C em comparação com 34°C (Holm-Sidak, Pr = 0,003). A mínima probabilidade de sobrevivência ocorreu nas temperaturas de 31 e 34°C.

O início da mortalidade causada por *Alphabaculovirus ranus* a 31°C e 34°C ocorreu ao 3º dia, a 28 °C no 4º dia e a 26°C no 5º dia (Figura 2). As reduções das taxas de sobrevivência foram maiores aos quatro e cinco dias a 31 e 34°C, pelo método de Holm-Šidák (Pr <0,05) a temperatura de 34 °C favoreceu a rápida redução da sobrevivência pelo vírus quando comparado com 26 e 28°C. Os tempos medianos de mortalidade foram, 7, 6, 4 e 5 dias nos tratamentos a 25, 28, 31 e 34°C, respectivamente. A redução do tempo letal médio com incrementos de temperatura também foi observada por Ribeiro e Pavan (1994) em *Diatraea saccharalis* em infecções com vírus de *Anticarsia gemmatalis* e *Trichoplusia ni*.



**Figura 1.** Curvas de sobrevivência de lagartas de *Spodoptera frugiperda* mantidas em diferentes temperaturas e tratadas com *Alphabaculovirus spofrugiperdae* (Cartuchovit®) na concentração de 7920 OBs x mm<sup>2</sup> de superfície de dieta artificial.



**Figura 2.** Curvas de sobrevivência de lagartas de *Rachiplusia nu* mantidas em diferentes temperaturas e tratadas com *Alphabaculovirus ranus* (CNPSo-54) na concentração de 672 OBs x mm<sup>2</sup> de superfície de dieta artificial.

## Conclusão

O aumento de temperatura entre 25 e 34°C reduziram os tempos medianos de mortalidade causada pelos respectivos vírus em *S. frugiperda* e *R. nu*. A mortalidade foi maior nas temperaturas de 31 e 34°C para ambas as espécies.

## Referências

- COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. **Análise de sobrevivência aplicada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 369 p.
- FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C. dos; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, v. 64, p. 150-158, 2014.
- GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, p. 487-488, 1976.
- HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, E. B. de; MOSCARDI, F. **Criação massal da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*)**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1985. 23 p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 10).
- HOLM, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. **Scandinavian Journal of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 65-70, 1979.
- NARDON, A. C.; MATHIONI, S. M.; SANTOS, L. V. dos; ROSA, D. D. Primeiro registro de *Rachiplusia nu* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae) sobrevivendo em soja Bt no Brasil. **Entomological Communications**, v. 3, ec03028, 2021. 3 p. DOI: 10.37486/2675-1305.ec03028.
- OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, v. 72, n. 9, p. 1727-1736, 2016.
- RIBEIRO, H. C. T.; PAVAN, O. H. O. Effect of temperature on the development of baculoviruses. **Journal of Applied Entomology**, v. 118, n. 1-5, p. 316-332, 1994.
- ŠIDÁK, Z. Rectangular confidence regions for the means of multivariate normal distributions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, n. 318, p. 626-633, 1967.

TRENTIN, L. B.; SANTOS, E. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. G.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; RIBEIRO, B. M.; ARDISSON-ARAÚJO, D. M. The complete genome of *Rachiplusia nu* nucleopolyhedrovirus (RanuNPV) and the identification of a baculoviral CPD-photolyase homolog. **Virology**, v. 534, p. 64-71, 2019.

# Potencial dos Carbon Dots no aumento da eficiência da adubação foliar com zinco no girassol

Arieti da Rocha Florentino<sup>(1)</sup>, Larissa Alexandra Cardoso Moraes<sup>(2)</sup>, Adônis Moreira<sup>(2,3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, UNOPAR, Bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1C do CNPq.

## Introdução

O girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se entre as principais oleaginosas cultivadas no mundo em razão de sua elevada qualidade nutricional, ampla adaptação edafoclimática e múltiplas possibilidades de utilização, incluindo a produção de óleo comestível, biodiesel, ração animal e alimentos funcionais. Embora o Brasil apresente condições ambientais favoráveis para a expansão do cultivo, sua produção ainda é insuficiente para atender à demanda interna, resultando na necessidade de importação de grãos e derivados, principalmente da Argentina. Nesse contexto, o aumento da produtividade e da eficiência no uso de nutrientes constitui uma estratégia importante para ampliar a competitividade da cultura no país.

Entre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento do girassol, o zinco (Zn) merece destaque por participar de diversos processos fisiológicos e metabólicos relacionados ao crescimento vegetal. Esse micronutriente atua como componente estrutural ou ativador de inúmeras enzimas, estando envolvido na síntese de proteínas, no metabolismo dos carboidratos, na manutenção da integridade das membranas celulares e na biossíntese de triptofano, precursor do ácido indolacético (AIA), uma das principais auxinas responsáveis pelo crescimento das plantas (Moreira et al., 2018). A deficiência de Zn pode comprometer o desenvolvimento radicular, a expansão foliar, a atividade fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Nesse sentido, a aplicação foliar tem sido utilizada como estratégia complementar para o fornecimento de Zn, especialmente em situações nas quais a disponibilidade do nutriente no solo é limitada. Entretanto, a eficiência dessa prática depende de fatores relacionados à retenção, absorção e translocação do nutriente nos tecidos vegetais. Dessa

forma, tecnologias capazes de aumentar a absorção foliar e a utilização do Zn pelas plantas têm despertado crescente interesse da comunidade científica e produtores.

Nesse cenário, os Carbon Dots (CDs) surgem como uma alternativa promissora, visto ser nanomateriais carbonáceos fluorescentes com dimensões inferiores a 10 nm, caracterizados por elevada área superficial, baixa toxicidade, alta estabilidade química e excelente biocompatibilidade. Além disso, apresentam grupos funcionais hidrofílicos, como hidroxila (-OH) e carboxila (-COOH), que favorecem sua interação com moléculas de água, nutrientes e estruturas celulares, potencializando a absorção e a mobilidade de compostos aplicados via foliar (Li et al., 2020). Estudos demonstram que os CDs podem atuar não apenas como carreadores de nutrientes, mas também como bioestimulantes do metabolismo vegetal. Chen et al. (2020) verificaram que esses nanomateriais promovem a regulação positiva da expressão de genes relacionados às aquaporinas, proteínas de membrana responsáveis pelo transporte de água, nutrientes e gases, favorecendo a absorção de íons minerais e o crescimento das plantas. Adicionalmente, diversos trabalhos têm relatado incrementos na atividade fotossintética decorrentes da aplicação de CDs. Sai et al. (2018) observaram aumento de aproximadamente 18% na taxa fotossintética de folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), atribuindo esse efeito à capacidade dos CDs de converter radiação ultravioleta em comprimentos de onda da faixa do azul do espectro visível, mais eficientemente utilizados na fase fotoquímica da fotossíntese (Li et al., 2021).

Apesar dos avanços no entendimento dos efeitos fisiológicos dos CDs em diferentes espécies vegetais, ainda são escassos os estudos avaliando sua interação com micronutrientes, especialmente o Zn, e seus reflexos sobre a nutrição mineral e a produtividade do girassol. Dessa forma, a hipótese deste trabalho é que a associação entre CDs e Zn possa aumentar a eficiência de absorção e utilização desse micronutriente pelas plantas, promovendo melhorias no estado nutricional e no desempenho agrônomico da cultura. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação foliar de zinco associada ou não aos CDs sobre a absorção de Zn, o teor foliar do nutriente, os componentes de produção e a produtividade do girassol.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial  $2 \times 5$ , com seis repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fatores: a) 0 e 75 mL ha<sup>-1</sup> de CDs (arbolina) e b) cinco doses de Zn (0, 2, 4, 8 e 16 kg ha<sup>-1</sup>), fonte ZnCl<sub>2</sub>.

O solo foi acondicionado em vasos de plástico com capacidade de três litros, sendo avaliadas duas plantas por vaso. Na correção da acidez do solo, foi utilizado CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> (3:1) para elevar a saturação por bases a 70%. Após 30 dias da incorporação da calagem, exceto o Zn, a adubação com os demais nutrientes foi realizada conforme recomendação indicada por Moreira et al. (2017) para experimentos conduzidos em condições de casa-de-vegetação. As doses de Zn foram aplicadas durante o desenvolvimento das plantas (30 dias após o plantio). As variáveis analisadas foram altura, diâmetro do caule, diâmetro do capítulo, matéria seca da arte aérea (MSPA), peso do capítulo, peso de grão (PG), teor de óleo, peso de 1000 grãos e teor foliar de Zn. Foram plantadas oito sementes por vaso da cultivar BRS 321 e após o desbaste deixada duas plantas uniformes.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e posteriormente comparadas pelo teste de médias por Scott-Knott a 5% de probabilidade (Scott; Knott, 1974). As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software Sisvar (Ferreira, 2019).

## Resultados e Discussão

Os resultados referentes a componentes de produção do girassol em função das doses de Carbon Dots (CDs) e Zn estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que o diâmetro do caule e o teor de óleo nos grãos não foram significativamente influenciados pelos tratamentos. Em contrapartida, a ausência de Zn resultou em menor altura das plantas, independentemente da aplicação de CDs.

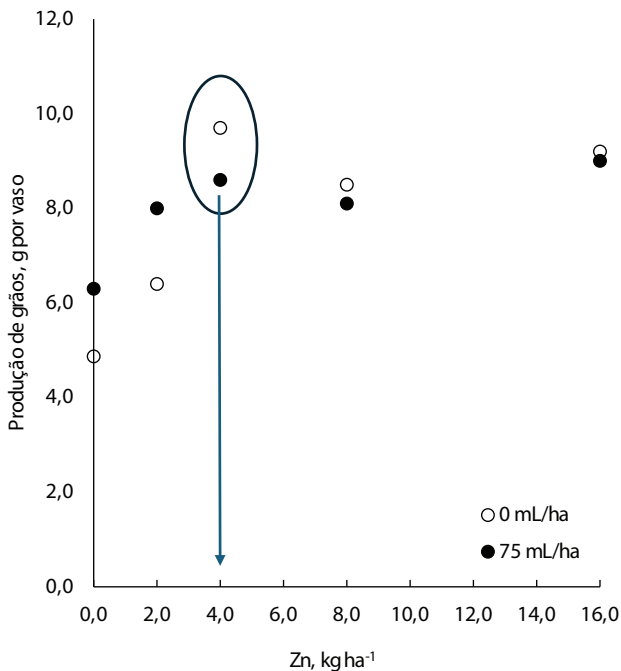
Comportamento semelhante foi observado para o peso e o diâmetro do capítulo (Tabela 1), bem como para a produção de grãos (PG),

não sendo observado efeito dos CDs. No entanto, os maiores valores dessas variáveis foram obtidos com a aplicação de 4,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (Figura 1). Além disso, não foram observados sintomas visuais de fitotoxicidade por Zn, mesmo nas maiores doses aplicadas, evidenciado pela estabilidade da PG. De acordo com Moreira et al. (2018), o Zn atua diretamente em diversos processos metabólicos das plantas, e sua adequada disponibilidade interfere positivamente na PG.

**Tabela 1.** Efeito da aplicação foliar de doses de zinco (Zn) com e sem Carbon Dots (CDs) sobre componentes de produção do girassol.

Tratamentos		H	Ø	Ø	Capítulo	MSPA	Óleo	1000	Zn
CDs	Zn	Caule		Capítulo	Grãos				
mL ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	cm	mm	mm	g/vaso	g/vaso	%	g	mg kg <sup>-1</sup>
0	0	132,6b	9,4a	136,1b	18,6c	69,1c	40,1a	17,4b	30,0d
75	0	136,8b	9,7a	139,4b	16,1c	82,6b	37,4a	16,2b	34,8d
0	2	148,8a	9,7a	140,0b	20,3b	75,1c	39,0a	23,3a	43,2c
75	2	162,8a	9,9a	140,6b	21,9b	79,0b	38,9a	25,2a	46,0c
0	4	153,6a	9,5a	149,6a	29,3a	81,6b	38,1a	17,8b	48,2c
75	4	159,3a	9,9a	156,7a	23,4a	81,7b	36,7a	15,8b	47,5c
0	8	158,0a	10,2a	138,9b	17,5c	75,5c	38,6a	25,1a	55,0b
75	8	150,8a	9,5a	137,9b	16,5c	71,3c	38,4a	21,2a	55,5b
0	16	160,9a	10,7a	140,9b	20,9b	102,9a	39,2a	20,6a	62,8a
75	16	147,8a	9,4a	133,3b	21,1b	65,8c	38,6a	22,0a	63,5a
Média		151,1	9,8	141,3	20,6	78,5	38,5	20,4	48,7

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.



**Figura 1.** Efeito das adubações foliares de Zn sobre a produção de grãos (PG) do girassol na presença e ausência da aplicação de Carbon Dots ( $p \leq 0,05$ ).

Embora os teores foliares de Zn tenham aumentado linearmente em função das doses aplicadas, os incrementos observados não resultaram em aumentos adicionais na PG. Esse comportamento sugere a ocorrência de um possível consumo de luxo, condição em que a planta absorve e acumula o nutriente em quantidades superiores às necessárias para maximizar o crescimento e a produtividade. Nessa situação, o aumento da concentração do nutriente nos tecidos vegetais não se traduz em ganhos agrônômicos, uma vez que os requerimentos metabólicos da cultura já foram atendidos. Resultados semelhantes foram reportados por Moreira et al. (2018), que observaram incremento nos teores de Zn nos tecidos vegetais sem reflexos proporcionais na produtividade, evidenciando que a resposta produtiva depende não apenas da absorção do nutriente, mas também do nível de suficiência nutricional previamente alcançado pela cultura.

Embora a aplicação de Zn tenha aumentado a concentração foliar do micronutriente, não houve aumento de produtividade após o suprimento das necessidades nutricionais da planta. Nessa fase, a aplicação dos CDs não influenciou a produtividade (PG) e exceto o diâmetro do caule e o teor de óleo nos grãos, houve efeito dos tratamentos sobre as outras variáveis analisadas (Figura 1 e Tabela 1).

## Conclusão

Nas condições estudadas, os Carbon Dots (CDs) combinado com aplicação de Zn não influenciaram os componentes de produção. A dose 4,0 kg ha<sup>-1</sup> foi a mais efetiva no aumento da produção de grãos (PG). O incremento linear do teor foliar de Zn não se refletiu em aumento na PG.

## Agradecimentos

Ao Laboratório de Genética da Embrapa Soja pela determinação dos teores de óleo, o Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina (UEL) pelas análises e ao CNPq pelo suporte financeiro.

## Referências

CHEN, Q.; CHEN, L.; NIE, X.; MAN, H.; GUO, Z.; WANG, X.; TU, J.; JIN, G.; CI, L. Impacts of surface chemistry of functional carbon nanodots on the plant growth. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 206, 111220, 2020. 8 p. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111220.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.

LI, Y.; PAN, X.; XU, X.; WU, Y.; ZHUANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, H.; LEI, B.; HU, C.; LIU, Y. Carbon dots as light converter for plant photosynthesis: Augmenting light coverage and quantum yield effect. **Journal of Hazardous Materials**, v. 410, 124534, 2021. 11 p. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124534.

LI, Y.; XU, X.; WU, Y.; ZHUANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, H.; LEI, B.; HU, C.; LIU, Y. A review on the effects of carbon dots in plant systems. **Materials Chemistry Frontiers**, v. 4, n. 2, p. 437-448, 2020.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Yield, nutritional status and soil fertility cultivated with common bean in response to amino-acids foliar application. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, p. 344-351, 2017.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; REIS, A. R. The molecular genetics of zinc uptake and utilization efficiency in crop plants. In: HOSSAIN, M. A.; KAMIYA, T.; BURRITT, D. J.; TRAN, L. S. P.; FUJIWARA, T. (org.). **Plant Micronutrient Use Efficiency: Molecular and Genomic Perspectives in Crop Plants**. London: Elsevier/Academic Press, 2018. p. 87-108.

SAI, L.; LIU, S.; QIAN, X.; YU, Y.; XU, X. Nontoxic fluorescent carbon nanodot serving as a light conversion material in plant for UV light utilization. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 169, p. 422-428, 2018.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.

## Agressividade e caracterização cultural de isolados de *Corynespora cassiicola* obtidos de soja e algodão

Maria Eduarda Prado Borges<sup>(1)</sup>, Pedro Ricardo Rossi Marques Barreiros<sup>(2)</sup>, Márcia Kamogae Kuwahara<sup>(3)</sup>, Maurício Conrado Meyer<sup>(4)</sup>, Ivani de Oliveira Negrão Lopes<sup>(4)</sup>, João Vitor Maldonado dos Santos<sup>(2)</sup>, Claudine Dinali Santos Seixas<sup>(4)</sup>, Francismar Corrêa Marcelino-Guimarães<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Engenheira-agrônoma, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, bolsista FAPED, Londrina, PR. <sup>(2)</sup>Pesquisador Associado, TMG, Cambé, PR. <sup>(3)</sup>Analista, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(4)</sup>Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

*Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) é o agente etiológico da mancha-alvo, doença de ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais com elevado impacto agrônomo. O patógeno infecta diversas culturas de relevância econômica, incluindo a soja (*Glycine max*) e o algodão (*Gossypium* spp.), sendo estimada a sua capacidade de infectar mais de 400 espécies vegetais, o que evidencia seu caráter polífago e sua capacidade adaptativa (Rondon; Lawrence, 2021; Toulet et al., 2022). Trata-se de um fungo necrotrófico, caracterizado por promover a morte celular no tecido hospedeiro, seguido pela utilização dos tecidos necrosados como fonte nutricional. Sua patogenicidade é mediada pela produção de toxinas, sendo a cassiicolina uma das mais investigadas por seu papel na indução de necrose e na desorganização celular (Rondon; Lawrence, 2021).

O patógeno sobrevive principalmente em resto culturais na entressafragem, em forma de micélio e de estruturas de resistência, os clamidósporos (Teramoto et al., 2013). No Brasil, surtos da doença podem se agravar devido à capacidade do patógeno de sobreviver em restos culturais e infectar diferentes espécies que são cultivadas em regime de sucessão, como é o caso da soja e do algodão em algumas regiões do Centro-Oeste (Barreiros, 2025). Além disso, a adoção de cultivares de soja suscetíveis à mancha-alvo também tem contribuído para o agravamento da doença (Godoy et al., 2025).

Este estudo teve como objetivo caracterizar 18 isolados de *C. cassiicola* obtidos de amostras de plantas de soja (13 isolados) e de algo-

dão (5 isolados), ao longo de diferentes décadas e diferentes regiões brasileiras, quanto a sua agressividade quando inoculadas em diferentes genótipos de soja e às suas características culturais.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado nos Laboratórios de Fitopatologia e de Genética Molecular e Seleção Assistida da Embrapa Soja, localizada no distrito de Warta, Londrina, PR. Os isolados e as sementes foram fornecidos pela Embrapa Soja e pela Tropical Melhoramento & Genética (TMG), em cooperação.

### Caracterização cultural dos isolados

Foram avaliados 18 isolados de *C. cassiicola* obtidos de plantas de soja e algodão, abrangendo os anos de 1992-2022, de diferentes regiões brasileiras (Tabela 1). Os isolados conservados pelo método de Castellani, foram repicados em placas de Petri contendo o meio BDA (decocto de 200 g de batata, 20 g de dextrose e 20 g de ágar), utilizando discos miceliais de 8 mm posicionados no centro das placas. As placas foram incubadas em BOD a 25 °C, com fotoperíodo de 12 h por 30 dias. A repicagem de cada isolado foi realizada em três repetições, sendo avaliados os seguintes parâmetros – cor das colônias, índice de crescimento micelial (ICM), formação de clamidósporos e esporulação. Os isolados foram crescidos sob luz branca e luz negra. A presença de clamidósporos foi avaliada por meio de lâminas observadas em microscópio óptico aos 10 dias de incubação, assim como o índice de crescimento micelial (ICM) e a coloração das colônias. O ICM foi calculado conforme Oliveira (1991), dividindo o diâmetro da colônia pelo número de dias de incubação. Aos 30 dias de incubação, realizou-se a mensuração do comprimento dos esporos, com o auxílio de microscópio óptico e régua micrométrica.

**Tabela 1.** Isolados de *C. cassiicola*, hospedeiro, ano de coleta, estado que foi coletado e tecido de origem.

Isol. <sup>1</sup>	Hosp. <sup>2</sup>	A. col. <sup>3</sup>	UF	Tec. orig. <sup>4</sup>	Isol. <sup>1</sup>	Hosp. <sup>2</sup>	Ano. <sup>3</sup>	UF	Tecido <sup>4</sup>
CMES 309	Soja	1992	PR	Raiz	CMES 1525	Soja	2014	TO	Folha
CMES 305	Soja	1996	PR	Raiz	CMES 2338	Soja	2021	MS	Folha
CMES 320	Soja	2000	PR	Raiz	TMG 1001	Soja	2021	MT	Folha
CMES 313	Soja	1998	MT	Folha	TMG 1012	Soja	2021	PR	Folha
CMES 951	Soja	1998	GO	Folha	TMG 545	Algodão	2018	MT	Folha
CMES 651	Soja	2005	MT	Folha	TMG 556	Algodão	2018	MT	Folha
CMES 950	Soja	2011	GO	Folha	TMG 579	Algodão	2020	MT	Folha
CMES 1328	Soja	2012	MT	Folha	TMG 1000	Algodão	2020	MT	Folha
CMES 1327	Soja	2012	MT	Folha	TMG 560	Algodão	2021	MT	Folha

<sup>1</sup>. Isol. = Isolado; <sup>2</sup>. Hosp. = Hospedeiro; <sup>3</sup>. A. col. = Ano de coleta; <sup>4</sup>. Tec. orig. = Tecido de origem.

## Agressividade dos isolados

Dez isolados (CMES 313, CMES 1525, CMES 2338, CMES 950, TMG 560, TMG 579, TMG 1000, TMG 1012, TMG 1001 e TMG 545) tiveram sua agressividade mensurada utilizando seis genótipos de soja (BRS 295 RR, BMX Potência RR, NA 5909 RG, M-SOY 8866, BRS 1061 IPRO e TMG 2379 IPRO). Estes genótipos foram selecionados por apresentarem diferentes níveis de resistência a *C. cassiicola* com base em dados da literatura, sendo os três primeiros mais suscetíveis e os três últimos mais resistentes (Albertoni et al., 2009; Teramoto et al., 2013). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três repetições biológicas, utilizando três folíolos por isolado como unidade experimental. As plantas encontravam-se no estágio fenológico V3. O experimento foi repetido três vezes, de forma escalonada, em três períodos espaçados por aproximadamente 15 dias.

Os isolados foram repicados com 27 dias de antecedência, seguindo a mesma metodologia utilizada na caracterização cultural. Após sete dias do crescimento micelial, partes do micélio foram cortadas, com o auxílio de um furador metálico estéril, e transferidas para outra placa para multiplicação dos esporos. Após 20 dias de incubação foi conduzida a coleta dos esporos para preparo do inóculo. As suspensões foram preparadas com solução de Tween 20 0,04%, utilizando-se um

pincel para a remoção da parte aérea da colônia, seguida de filtração em tecido tipo voil. A contagem de esporos foi feita em câmara de Neubauer. As concentrações dos inóculos variaram ao longo dos três experimentos entre 20 mil a 30 mil esporos por mililitro (grupo com maior nível de esporulação – isolados CMES 1525, CMES 2238, CMES 1001, CMES 950) ou entre 1.000 a 6.000 esporos por mililitro (grupo com menor nível de esporulação – TMG 545, TMG 560, TMG 579, TMG 1012 e CMES 313). Os isolados TMG 1000, TMG 545, CMES 313 e TMG 1012; TMG 1000, TMG 1012 e CMES 313; e TMG 1012 não apresentaram esporulação nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente, no entanto foram mantidos em razão da capacidade infectiva das hifas que são obtidas durante o preparo do inóculo.

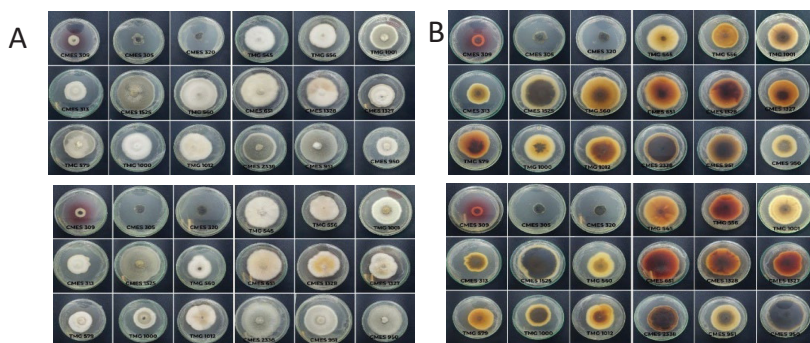
A fenotipagem foi conduzida em folha destacada, utilizando o trifólio expandido V3. Após a coleta, as folhas foram lavadas e mantidas em água por 1 hora. As folhas foram levemente secas com papel toalha e pulverizadas na face abaxial com a suspensão de esporos com auxílio de um aerógrafo. Os folíolos foram transferidos para placas contendo ágar 1%, que permaneceram incubadas em câmara de crescimento a 25 °C e fotoperíodo de 12 h. Em cada repetição, um controle (testemunha), com folhas com ausência de inoculação foi mantido.

A agressividade dos isolados foi avaliada visualmente por meio da escala diagramática proposta por Soares et al. (2009). Para avaliação quantitativa, as folhas foram fotografadas com câmera NIKON, e as imagens processadas com remoção do fundo e marcação manual das lesões, permitindo calcular a porcentagem de área lesionada em relação à área foliar total utilizando um pipeline interno (Bioarea). As avaliações foram realizadas aos 7, 11 e 14 dias após a inoculação (DAI). Os dados foram analisados por modelos lineares generalizados mistos (GLMM), considerando genótipo e isolado como efeitos fixos e distribuição gama devido à ausência de normalidade dos resíduos. As variâncias residuais foram ajustadas por genótipo para acomodar a heterogeneidade de variâncias. As médias estimadas pelos modelos foram utilizadas em análises combinadas para verificar a consistência dos resultados entre os experimentos. Como houve não convergência dos modelos mistos, os experimentos foram considerados como efeito fixo nas análises finais. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa SAS versão 9.4 (SAS, 2016).

## Resultados e Discussão

### Caracterização cultural dos isolados

Os isolados apresentaram variação na coloração das colônias, predominando a coloração branca a branco-acinzentada sob luz branca, ou coloração verde a verde-acinzentada (Figura 1A). Variações similares já foram relatadas em populações do patógeno, evidenciando variabilidade na produção de pigmentos (Abreu et al., 2017; Toulet et al., 2022). Sob luz negra, parte dos isolados apresentou alteração na coloração (Figura 1B), o que pode estar relacionado à produção diferencial de melaninas e compostos fenólicos envolvidos na proteção celular e na resistência a condições ambientais adversas (Hollomon; Wheeler, 2007).



**Figura 1.** Coloração da colônia de isolados de *Corynespora cassiicola* sob luz branca (A) e luz negra (B). A superfície e o reverso das colônias foram fotografados, aos 10 dias após a repicagem.

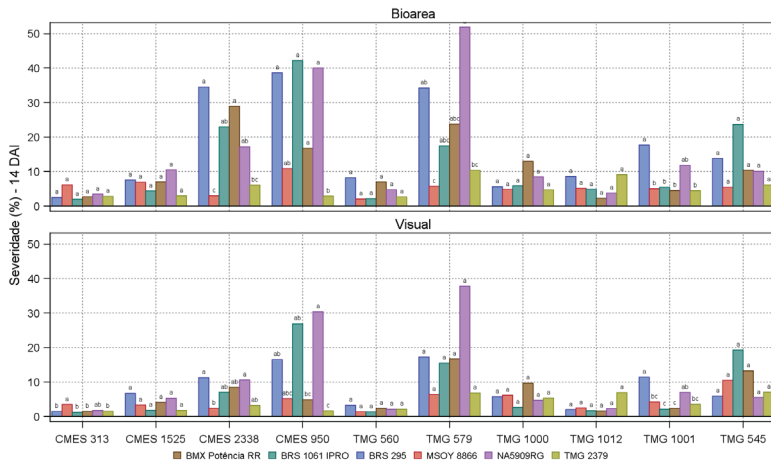
Quanto a presença de clamidósporos, cinco isolados (CMES 313, CMES 1328, CMES 1525, TMG 560 e TMG 1001) não apresentaram a estrutura tanto na luz branca quanto na luz negra, sendo quatro coletados na soja e pelo menos um no algodão. Os demais isolados apresentaram a estrutura de resistência, sendo que, sete isolados (TMG 579, TMG 1012, TMG 556, CMES 651, CMES 2338, CMES 951 e CMES 950) apresentaram em ambas as condições de crescimento. Os demais isolados alternaram entre presença e ausência (CMES 309, CMES 1327 e TMG 1000), ou ausência e presença (CMES 305, CMES 320 e TMG 545) quando foram crescidos na luz branca ou negra, respectivamente.

O índice de crescimento micelial (ICM) apresentou variação entre os isolados, bem como respostas diferentes às condições de luminosidade. Embora isolados com maior ICM indique maior crescimento *in vitro*, é importante ressaltar que o crescimento micelial não se correlaciona, necessariamente, de forma direta com a agressividade do patógeno ao hospedeiro (Abreu et al., 2017; Silvestre, 2023). Os menores ICM foram observados para os isolados coletados em raízes de soja (CMES 309 e 305) e para o coletado em folha CMES 313, enquanto os demais isolados apresentaram níveis similares entre 0,2 mm/dia e 0,8 mm/dia.

Apenas cinco isolados apresentaram esporulação mensurável sob luz branca, sendo quatro isolados da soja e um do algodão (CMES 305, CMES 950, CMES 2338, CMES 320 e TMG 560), que variou entre 77 micrômetros e 131 micrômetros. Sob luz negra, apenas quatro isolados obtidos de soja apresentaram esporulação mensurável, os isolados CMES 305, CMES 950, CMES 320 e CMES 309. A ausência de esporulação na maioria dos isolados, reforça o caráter altamente dependente de fatores múltiplos, como intensidade e qualidade da luz, composição do meio de cultura, idade da colônia e condição de estresse fisiológico (Teramoto et al., 2013; Rondon; Lawrence, 2021).

### **Perfil de Agressividade**

Os isolados apresentaram diferenças significativas na sua agressividade quando inoculados nos diferentes genótipos de soja. Os isolados mais agressivos na maioria das cultivares avaliadas foram CMES 950, CMES 2238 coletados na soja e TMG 545 e TMG 579 coletados no algodão, enquanto os menos agressivos foram os isolados CMES 313 e CMES 560 (Figura 2). Esses resultados corroboram estudos anteriores que relatam que isolados de soja e algodão no Brasil apresentam similaridade e capacidade de infectar ambas as culturas (Galbieri et al., 2014). As cultivares NA 5909 RG, BRS 295 RR e BRS 1061 IPRO foram as mais suscetíveis ao fungo, enquanto os genótipos TMG 2379 IPRO e M-SOY 8866 apresentaram menores níveis de severidade para a maior parte dos isolados (Figura 2).



**Figura 2.** Severidade média de mancha-alvo obtidas por avaliação visual e por bioarea aos 14 DAI em genótipos de soja inoculados com diferentes isolados de *Corynespora cassiicola*. Para cada isolado, letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## Conclusão

Os isolados de *C. cassiicola* apresentam alta variabilidade cultural e agressividade, sendo que isolados provenientes do algodão apresentaram níveis de severidade similar aos coletados na soja, o que demonstra a adaptabilidade destes isolados a cultura da soja. Os isolados de soja CMES 950 e 2238 apresentaram altos ICM, esporulação tanto em luz branca quanto UV, capacidade de formação de clamidósporos. Além disso, a elevada contagem de esporos em alguns isolados como o CMES 950 observada ao longo dos experimentos pode corroborar com os maiores níveis de agressividade desses isolados na maioria das cultivares testadas. Em contrapartida, os isolados de algodão TMG 545 e TMG 579 apresentaram níveis similares de agressividade mesmo quando na ausência ou baixa contagem de esporos ao longo dos experimentos, o que indica que apenas a presença das hifas foi suficiente para infecção e desenvolvimento do patógeno.

## Referências

- ABREU, L. M.; FERREIRA, M. A.; SANTOS, L. A. Caracterização morfológica e patogênica de isolados de *Corynespora cassiicola* em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 3, p. 230-236, 2017.
- ALBERTONI, T. T.; JANEGITS, T.; SOARES, R. M. Avaliação da severidade da mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*) em cultivares de soja. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 4., 2009, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2009. p. 107-110. (Embrapa Soja. Documentos, 312).
- BARREIROS, P. R. R. M. **Diversidade genética de *Corynespora cassiicola* associada aos hospedeiros soja e algodão**. 2025. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio.
- GALBIERI, R.; ARAÚJO, D. C. E. B.; KOBAYASTI, L.; GIROTTO, L.; MATOS, J. N.; MARANGONI, M. S.; ALMEIDA, W. P.; MEHTA, Y. R. *Corynespora* leaf blight of cotton in Brazil and its management. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 26, p. 3805-3811, 2014.
- GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; TOMEN, A.; MOCHKO, A. C. R.; DIAS, A. R.; ALVES, A. F.; MOREIRA, E. N.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; SIQUERI, F. V.; CACIQUE, I. S.; GALDINO, J. V.; CONSTANTINO, E. J.; SANTOS, J. dos; GOMES, L. M. M. R.; BELUFI, L. M. de R.; SILVA, L. H. C. P. da; ARAÚJO JÚNIOR, I. P.; GOUSSAIN JÚNIOR, M. M.; STEFANELO, M. S.; MÜLLER, M. A.; SENGER, M.; TORMEN, N. R.; KONAGESKI, T. F. **Eficácia de fungicidas para o controle da mancha-alvo, *Corynespora cassiicola*, na cultura da soja, na safra 2024/2025**: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 11 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 213).
- HOLLOMON, D. W.; WHEELER, M. H. Melanin biosynthesis in fungi and its role in pathogenesis. **Annual Review of Phytopathology**, v. 45, p. 47-67, 2007.
- OLIVEIRA, J. A. **Efeito do tratamento fungicida em sementes e no controle de tombamento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) e pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 1991. 111 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- RONDON, M. N.; LAWRENCE, K. The fungal pathogen *Corynespora cassiicola*: a review and insights for target spot management on cotton and soya bean. **Journal of Phytopathology**, v. 169, n. 6, p. 329-338, 2021.

SAS. **SAS/STAT software**: version 9.4. Cary: SAS Institute Inc., c2016.

SILVESTRE, K. C. **Métodos de inoculação para seleção de genótipos de soja resistentes à mancha-alvo e agressividade de isolados de *Corynespora cassiicola***. 2023. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha-alvo da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 5, p. 333-338, 2009.

TERAMOTO, A.; MACHADO, T. A.; SANTOS, L. M. dos; VOLF, M. R.; MEYER, M. C.; CUNHA, M. G. da. Reação de cultivares de soja a *Corynespora cassiicola*. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 68-71, 2013.

TOULET, M. L.; NEIRA, D. A.; ESCOBAR, M.; PARDO, E. M.; ARIAS, M. E.; PLOPER, L. D.; WELIN, B.; CASTANARO, A. P.; CHALFOUN, N. R. Morphological and pathogenic characterization of *Corynespora cassiicola* isolates reveals specific genotypic interactions in soybean. **Plant Pathology**, v. 71, n. 4, p. 843-859, 2022.

## Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de girassol para os mercados de óleo e alimentação de pássaros na safrinha brasileira

Karen Victoria de Souza<sup>(1)</sup>, Claudio Guilherme Portela de Carvalho<sup>(2)</sup>, Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite<sup>(2)</sup>, Vicente de Paulo Campos Godinho<sup>(3)</sup>, Renato Fernando Amabile<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Anhanguera Piza, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Rondônia, Vilhena, RO. <sup>(4)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

### Introdução

O óleo de girassol (*Helianthus annuus* L.) apresenta elevada qualidade nutricional, devido aos altos teores de ácidos graxos linoleico e oleico, que contribuem para a redução do colesterol plasmático e, conseqüentemente, para a diminuição do risco de doenças cardiovasculares (Carvalho et al., 2019). Além da extração de óleo, os aquênios de girassol podem ser utilizados na alimentação de pássaros domésticos, sendo, nesse caso, caracterizados predominantemente pela coloração branca com listras pretas.

Para melhor aceitação no mercado de sementes, um híbrido destinado à alimentação de pássaros deve apresentar duplo propósito, podendo ser utilizado tanto para a produção de óleo quanto para esse segmento. Contudo, atualmente, não há disponibilidade, no Brasil, de híbridos que atendam simultaneamente a esses dois mercados.

Neste contexto, o programa de melhoramento da Embrapa tem desenvolvido híbridos de duplo propósito. Devido à ocorrência de interação genótipo × ambiente, a avaliação desses híbridos é realizada em diversos ambientes, a fim de melhor caracterizar seus comportamentos agrônômicos em diferentes regiões potenciais ou produtoras de girassol. A identificação de genótipos com comportamento previsível e responsivos às variações ambientais, seja em condições específicas (ambientes favoráveis ou desfavoráveis) ou amplas, pode ser realizada por meio de estudo de adaptabilidade e estabilidade. No Brasil, essa identificação é realizada pela Rede de Ensaio de Com-

petição de Genótipos de Girassol, na qual os híbridos são avaliados por dois anos consecutivos, nos Ensaios Finais de Primeiro Ano e de Segundo Ano.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de duplo propósito desenvolvidos no programa de melhoramento da Embrapa, nas condições de safrinha dos anos de 2024 e 2025.

## **Material e Métodos**

Os dados experimentais foram obtidos a partir de ensaios conduzidos em Vilhena (RO) e Santo Antonio do Leverger (MT), em 2024 e em Vilhena (RO) e Planaltina (DF), em 2025.

A semeadura dos ensaios foi realizada nos meses de fevereiro ou março. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela foi composta por quatro fileiras de 6 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m. Na colheita, apenas as duas fileiras centrais foram utilizadas para a coleta de dados, sendo descartados 0,5 m de cada extremidade. A adubação e os demais tratamentos culturais foram realizados de modo a proporcionar o adequado desenvolvimento das plantas (Castro; Leite, 2018).

Os híbridos BRS G87, BRS G88 e BRS G89 foram avaliados nos Ensaios Finais de Primeiro Ano (2024) e nos Ensaios Finais de Segundo Ano (2025). As cultivares testemunhas utilizadas foram BRS 323 e Helio 250.

Os caracteres avaliados incluíram: rendimento de aquênios, teor de óleo, rendimento de óleo, altura de planta, floração inicial e maturação fisiológica. O rendimento de aquênios foi corrigido para 11% de umidade. O teor de óleo foi determinado em sementes intactas por espectroscopia no infravermelho Próximo (NIR), utilizando o equipamento Thermo Scientific Antaris II (Grunvald et al., 2014).

As análises de variância foram realizadas individualmente para cada local e ano, considerando todos os caracteres avaliados. Posteriormente, procedeu-se à análise conjunta por ambiente (combinação específica de local e ano), uma vez que os locais de avaliação nos Ensaios Finais de Primeiro Ano nem sempre coincidiram com aqueles dos Ensaios Finais de Segundo Ano.

Na análise conjunta, foram incluídos apenas os ambientes que apresentaram homogeneidade de variâncias residuais, conforme verificado nas análises individuais. Considerou-se haver homogeneidade quando a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual foi inferior a sete. Adicionalmente, somente foram considerados os ensaios com coeficiente de variação inferior a 20%. A comparação entre os híbridos foi realizada por meio do teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Os efeitos de híbridos foram considerados fixos, enquanto os efeitos de ambientes foram considerados aleatórios.

O estudo de adaptabilidade e estabilidade foi realizado utilizando a metodologia de Eberhart e Russell (1966), na qual o genótipo ideal é aquele que apresenta alto rendimento, adaptabilidade geral ( $\beta_{1i} = 1$ ), estimada pelos coeficientes de regressão, e alta estabilidade ( $\sigma_{2d} = 0$  ou alto  $R^2$ ), mensurada pelos desvios da regressão.

## Resultados e Discussão

As sementes dos híbridos BRS G87, BRS G88 e BRS G90 apresentam coloração branca com listras pretas, característica adequada para a sua comercialização no mercado de pássaros. Foram avaliados ainda os componentes de rendimento desses híbridos de modo a verificar a adaptabilidades e a estabilidade do rendimento de grãos e de óleo desses híbridos na safrinha brasileira (Tabela 1).

O rendimento médio de grãos dos híbridos avaliados foi de 2.606 kg ha<sup>-1</sup>, valor superior à produtividade média nacional observada em 2025, que foi de 1.622 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2024/2025 (Conab, 2025). Coeficientes de variação inferiores a 20% nos ensaios, precipitação pluviométrica superior a 500 mm na maioria das áreas experimentais e a adequada condução dos tratos culturais, conforme descrito por Castro e Leite (2018), contribuíram para a obtenção de uma maior produtividade nos ensaios.

Os teores médios de óleo dos híbridos variaram entre 38,3% e 42,5%, situando-se próximos a 40%, valor considerado adequado pela indústria esmagadora do grão (Grunvald et al., 2014). A maturação fisiológica e a altura de plantas dos híbridos BRS G87, BRS G88 e BRS G90 variaram de 80 a 82 dias e de 168 a 179 cm, respectivamente, valores semelhantes ou inferiores aos observados para a cultivar precoce Helio 250.

**Tabela 1.** Análise de variância conjunta de características agronômicas de híbridos de girassol, nos Ensaios Finais de Primeiro Ano - safrinha 2024, conduzidos em Vilhena (RO) e Santo Antônio de Leverger (MT) e nos Ensaios Finais de Segundo Ano - safrinha 2025, conduzidos em Planaltina (DF) e Vilhena - Ensaio A, Vilhena - Ensaio B e Vilhena - Ensaio C (RO).

Híbridos	Rendimento de grãos (kg/ha)	Teor de óleo (%)	Rendimento de óleo (kg/ha)	Floração inicial (dias)	Maturação fisiológica (dias)	Altura de Planta (cm)
BRS 323 <sup>1</sup>	3.045 a <sup>3</sup>	39,4 b	1.154 b	49 c	78 c	179 a
BRS G87	2.469 bc	38,3 b	952 b	51 b	81 ab	168 b
BRS G88	2.758 ab	41,5 a	1.149 a	51 ab	82 a	179 a
BRS G90	2.481 bc	42,5 a	1.078 ab	50 c	80 b	167 b
Helio 250 <sup>1</sup>	2.282 c	41,9 a	1.008 ab	52 a	82 a	177 a
Média Geral	2.606	40,7	1.068	51	81	174
C.V. (%) <sup>2</sup>	13,3	5,9	15,7	2,1	1,6	4,5

<sup>1</sup> Testemunha do ensaio. <sup>2</sup> C.V. (%): coeficiente de variação. <sup>3</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

O híbrido BRS G88 apresentou rendimento de grãos de 2.758 kg ha<sup>-1</sup> e rendimento médio de óleo de 1.149 kg ha<sup>-1</sup>, resultados comparáveis aos da melhor testemunha BRS 323 (Tabela 1). De acordo com a metodologia de Eberhart e Russell (1966), esse híbrido apresentou adaptabilidade geral ( $\beta_{11} = 1$ ) e alta estabilidade ( $\sigma_2d = 0$ ), sendo, portanto, classificado como genótipo ideal quanto aos rendimentos de grãos e de óleo (Tabela 2).

Em função do elevado teor de óleo (42,5%), o híbrido BRS G90 apresentou rendimento de óleo de 1.078 kg ha<sup>-1</sup>, valor semelhante aos observados nas testemunhas BRS 323 (1.154 kg ha<sup>-1</sup>) e Helio 250 (1.008 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1). O híbrido BRS G90 demonstrou adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ( $\beta_{11} < 1$ ) e alta estabilidade ( $\sigma_2d = 0$ ) para rendimento de óleo (Tabela 2). Assim, a semeadura desse híbrido em ambientes desfavoráveis pode ser estratégica, especialmente quando a indústria bonifica lotes com teor de óleo superior a 40%. Nessa condição, a priorização de híbridos com maior rendimento de óleo, em detrimento do rendimento de grãos, mostra-se mais adequada.

## Referências

CARVALHO, C. G. P.; MAZZOLA, L. F.; CALDEIRA, A.; DALCHIAVON, F. C.; MANDARINO, J. M. G. Quality of sunflower oil obtained in the main producing region of Brazil: Adherence to the *Codex Alimentarius*. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 96, p. 789-794, 2019.

CASTRO, C. de; LEITE, R. M. V. B. de C. Main aspects of sunflower production in Brazil. **Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, D104, 2018. 11 p. DOI: 10.1051/ocl/2017056.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v. 2, safra 2024/25, 7º levantamento. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 12 mar. 2026.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, p. 36-40, 1966.

GRUNVALD, A. K.; CARVALHO, C. G. P. de; LEITE, R. S.; MANDARINO, J. M. G.; ANDRADE, C. A. de B.; SCAPIM, C. A. Predicting the oil contents in sunflower genotype seeds using near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 36, n. 2, p. 233-237, 2014.

**Tabela 2.** Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos e de óleo de híbridos de girassol, avaliados nos Ensaios Finais de Primeiro Ano - safrinha 2024, conduzidos em Vilhena (RO) e Santo Antônio de Leverger (MT) e nos Ensaios Finais de Segundo Ano - safrinha 2025, conduzidos em Planaltina (DF) e Vilhena - Ensaio A, Vilhena - Ensaio B e Vilhena - Ensaio C (RO).

Híbridos	Rendimento de grãos (kg/ha)			Rendimento de óleo (kg/ha)		
	Média	$\beta_{11}$	$\sigma_2^d$	Média	$\beta_{11}$	$\sigma_2^d$
BRS 323 <sup>1</sup>	3.045	a <sup>2</sup>	119.983,1**	1.154	a <sup>2</sup>	4.243,2 <sup>ns</sup>
BRS G87	2.469	bc	7.435,9 <sup>ns</sup>	952	b	921,9 <sup>ns</sup>
BRS G88	2.758	ab	6.224,0 <sup>ns</sup>	1.149	a	1.497,7 <sup>ns</sup>
BRS G90	2.481	bc	3.895,1 <sup>ns</sup>	1.078	ab	6.268,4 <sup>ns</sup>
Helio 250 <sup>1</sup>	2.282	c	113.308,5**	1.008	ab	12.921,9**

<sup>1</sup> Testemunha do ensaio. <sup>2</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. # Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t. ns e \*\* Não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

## Cultivares de *Urochloa* spp. e *Megathyrsus maximus* utilizadas para cobertura do solo ou forragem e seus impactos na soja em sucessão

Lucca Crivelli Abujamra<sup>(1)</sup>, Henrique Debiasi<sup>(2)</sup>, Julio Cezar Franchini<sup>(2)</sup>, Roberta Aparecida Carnevalli<sup>(2)</sup>, Esmael Lopes do Santos<sup>(3)</sup>, Laura Alievi Tirelli<sup>(4)</sup>, Alison de Meira Ramos<sup>(5)</sup>, Alvadi Antonio Balbinot Junior<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Unifil, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Professor, Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG, Cascavel, PR. <sup>(4)</sup> Estudante de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, SC. <sup>(5)</sup> Estudante de mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. <sup>(6)</sup> Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### Introdução

A cultura comercial mais utilizada na entressafra da soja no Brasil é o milho segunda safra, em sistema de sucessão de culturas, intensificando o uso da terra, insumos e mão de obra (Mateus et al., 2020; Yokoyama et al., 2022) one of the primary difficulties in the sustainability of no-till systems is the maintenance of soil cover throughout the year. Intercropping corn (*Zea mays* L.. Na safra 2025/2026, foram cultivados cerca de 17,8 milhões de hectares com milho segunda safra no Brasil (Conab, 2026). Por outro lado, o uso continuado dessa sucessão de culturas tem aumentado alguns problemas, como a compactação do solo em sistema plantio direto (SPD), baixa cobertura do solo entre a colheita do milho e a semeadura da soja – geralmente entre junho a outubro, e aumento da infestação de plantas daninhas de difícil controle e de fitonematoides (Debiasi et al., 2016; Balbinot Junior et al., 2024).

Uma das opções para a diversificação dos sistemas de produção de grãos é a utilização de culturas de cobertura ou pastagens no outono/inverno, em substituição do milho segunda safra, e manutenção da soja na primavera/verão, pois é a cultura que possui maior relevância na composição da renda em sistemas de produção de grãos (Garbelini et al., 2020, 2022). Há várias espécies de cobertura de entressafra da soja já estudadas, mas há carência de informações sobre a utilização de cultivares de *Urochloa* spp. (braquiárias) e *Megathyrsus maximus* (panicum) para cobertura do solo ou para produção de forragem

na entressafra da soja. São espécies com alto crescimento de raízes e de parte aérea, adaptadas a uma ampla variação de tipos de solo e de clima. Nesse âmbito, é fundamental elucidar o impacto do cultivo dessas cultivares forrageiras no período de outono/inverno sobre a soja cultivada em sucessão, em SPD.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto do cultivo de cultivares de forrageiras tropicais dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*, para cobertura do solo ou produção de forragem no outono/inverno, sobre o desempenho da soja em sucessão, sob SPD.

## Material e Métodos

O experimento foi implantado em abril de 2024 em Londrina, PR (23°11'37" S, 51°11'03" W e 630 m de altitude), em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições e parcelas de 20 m<sup>2</sup> (4 x 5 m). No momento da implantação do experimento, o solo apresentava as seguintes características na camada de 0-20 cm: C (Walkley Black) 28,9 g dm<sup>-3</sup>; pH CaCl<sub>2</sub> 5,1; K (Mehlich 1) 0,59 cmolc dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich 1) 13,9 mg dm<sup>-3</sup>; Ca 4,2 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg 2,1 cmolc dm<sup>-3</sup>; argila 710 g kg<sup>-1</sup>; silte 82 g kg<sup>-1</sup>; e areia 208 g kg<sup>-1</sup>.

Foram avaliados os seguintes tratamentos: 1) Milho segunda safra para produção de grãos; 2) Pousio no outono/inverno, com controle total de plantas espontâneas; 3) *Urochloa ruziziensis* (ruziziensis) para cobertura do solo; 4) *U. ruziziensis* com cortes, simulando pastejo; 5) *U. ruziziensis* (BRS Integra) para cobertura; 6) *U. ruziziensis* (BRS Integra) com cortes; 7) *U. brizantha* (BRS Paiaguás) para cobertura; 8) *U. brizantha* (BRS Paiaguás) com cortes; 9) *U. brizantha* (BRS Piatã) para cobertura; 10) *U. brizantha* (BRS Piatã) com cortes; 11) *Megathyrsus maximus* (BRS Tamani) para cobertura; 12) *M. maximus* (BRS Tamani) com cortes; 13) *M. maximus* (BRS Quênia) para cobertura; e 14) *M. maximus* (BRS Quênia) com cortes.

As forrageiras foram implantadas em SPD a 0,17 m de espaçamento e 2 cm de profundidade de deposição das sementes. Foi utilizada a quantidade de sementes indicada para cada cultivar. Nas parcelas destinadas à produção de forragem de outono/inverno, os cortes foram realizados de acordo com a indicação de altura de manejo de cada cultivar, considerando informações do aplicativo "Pasto certo". Nas parcelas destinadas à cobertura do solo, a biomassa total acu-

mulada na entressafra da soja foi avaliada em outubro, previamente à semeadura da soja em sucessão, sendo determinados a biomassa seca total produzida.

No final de setembro, a biomassa remanescente nas parcelas foi dessecada com glifosato (1,8 kg i.a. ha<sup>-1</sup>) e a soja foi implantada em outubro, seguindo manejo focado em atingir 5 t ha<sup>-1</sup> de grãos. Na cultura da soja foi avaliada a produtividade de grãos a 13% de umidade.

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação da normalidade de resíduos e homogeneidade de variâncias. Após, foram submetidos à análise de variância de teste F. Quando constatados efeitos significativos dos tratamentos, os mesmos foram comparados pelo teste Scott-Knott. Em todas as análises foi considerado  $p < 0,05$ .

## Resultados e Discussão

Constatou-se elevada quantidade de palha oriunda das forrageiras quando utilizadas para cobertura do solo na entressafra da soja, ou seja, na ausência de cortes (Tabela 1). Nessa situação, a maior quantidade de palha foi proporcionada pela BRS Paiaguás e BRS Piatã, com valores superiores a 16 t ha<sup>-1</sup> de palha. Na presença de cortes, as seis forrageiras testadas aportaram quantidades similares de palha, média de 5 t ha<sup>-1</sup>, não diferindo da quantidade de palha aportada pelo milho segunda safra. Nesse sentido, mesmo com três cortes durante o outono/inverno, a quantidade de palha residual aportada pelas forrageiras foi elevada, adequada à semeadura da soja em SPD.

Na safra 2024/2025, as maiores produtividades de grãos de soja cultivada em sucessão aos tratamentos de entressafra foram observadas nas seis forrageiras conduzidas com cortes e na BRS Tamani e BRS Quênia utilizadas para cobertura do solo (Tabela 1). A produtividade da soja cultivada após BRS Integra, ruziziensis, BRS Paiaguás e BRS Piatã, utilizadas para cobertura do solo, não diferiu da produtividade da oleaginosa cultivada após o milho segunda safra e o pousio.

Na safra 2025/2026, as cultivares BRS Quênia, ruziziensis, BRS Paiaguás e BRS Piatã, destinadas à cobertura do solo e as cultivares BRS Quênia, BRS Integra, BRS Paiaguás e BRS Piatã, destinadas à produção de forragem, destacaram-se por conferir as maiores

produtividades de soja cultivada em sucessão, inclusive com médias superiores ao milho segunda safra (Tabela 1). Por outro lado, a menor produtividade da soja foi observada no tratamento pousio no outono/inverno. Os tratamentos que apresentaram as maiores médias de produtividade da soja nas duas safras foram: BRS Quênia para cobertura do solo e as cultivares BRS Quênia, BRS Integra, BRS Paiaguás e BRS Piatã para produção de forragem.

Os achados dessa pesquisa indicam a contribuição das forrageiras tropicais, cultivadas no outono/inverno, para a obtenção de maiores produtividades da soja, comparativamente ao milho segunda safra e ao pousio. Resultados similares foram encontrados por Yokoyama et al. (2022) e Balbinot Junior et al. (2024) com braquiária *ruzizensis*. Outro achado relevante da presente pesquisa é a possibilidade de utilização de parte da biomassa aérea das forrageiras tropicais como forragem, sem prejudicar o desempenho da soja em sucessão. Balbinot Junior et al. (2017) observaram que os efeitos benéficos de braquiárias cultivadas no outono/inverno sobre a soja em sucessão foram decorrentes em maior magnitude das raízes das forrageiras do que da palhada, em SPD. É importante salientar a necessidade da continuidade do experimento de campo para verificar os efeitos acumulados no tempo.

**Tabela 1.** Quantidade de palha residual na pré-semeadura da soja e produtividade de grãos de soja em sucessão às forrageiras tropicais em duas safras. Londrina, PR, 2026.

Forrageiras tropicais	Palha, outubro de 2024 (t ha <sup>-1</sup> )	Produtividade da soja, safra 2024/2025 (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade da soja, safra 2025/2026 (kg ha <sup>-1</sup> )
BRS Tamani cobertura	10,3 b <sup>1</sup>	3882 a	3005 b
BRS Quênia cobertura	13,0 b	4101 a	3579 a
BRS Integra cobertura	10,9 b	3134 b	2995 b
Ruziziensis cobertura	13,6 b	3262 b	3201 a
BRS Paiaguás cobertura	17,3 a	3030 b	3376 a
BRS Piatã cobertura	16,9 a	3215 b	3458 a
BRS Tamani com cortes	4,4 c	4139 a	2976 b
BRS Quênia com cortes	5,0 c	3644 a	3517 a
BRS Integra com cortes	5,7 c	4058 a	3280 a
Ruziziensis com cortes	5,7 c	3853 a	3077 b
BRS Paiaguás com cortes	4,4 c	3906 a	3413 a
BRS Piatã com cortes	4,7 c	3730 a	3479 a
Milho segunda safra	2,9 c	3183 b	3127 b
Pousio	-	2506 b	2413 c

<sup>1</sup> Médias comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

## Conclusão

As forrageiras tropicais cultivadas no outono/inverno para cobertura do solo ou para produção de forragem conferiram maiores produtividades à soja em sucessão, em relação ao pousio. As cultivares forrageiras que se destacaram nas duas safras por conferirem maiores produtividades à soja em sucessão foram a BRS Quênia para cobertura do solo e as cultivares: BRS Quênia, BRS Integra, BRS Paiaguás e BRS Piatã para forragem.

## Referências

BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. de; COELHO, A. E.; MORAES, M. T. de. Soybean yield, seed protein and oil concentration, and soil fertility affected by off-season crops. **European Journal of Agronomy**, v. 153, 127039, 2024. DOI: 10.1016/j.eja.2023.127039.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 592-598, 2017.

CONAB. **Série histórica das safras**: milho. 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas/graos/milho>. Acesso em: 25 maio 2026.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Cultural practices during the soybean off-season for the control of *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1720-1728, 2016.

GARBELINI, L. G.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; COELHO, A. E.; TELLES, T. S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v. 137, 126528, 2022. 13 p. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126528.

GARBELINI, L. G.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BETIOLI JUNIOR, E.; TELLES, T. S. Profitability of soybean production models with diversified crops in the autumn–winter. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 4092-4103, 2020.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; COSTA, N. R.; BORGHI, E.; COSTA, C.; MARTELLO, J. M.; CASTILHOS, A. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CANTARELLA, H. Corn intercropped with tropical perennial grasses as affected by sidedress nitrogen application rates. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 116, p. 223-244, 2020.

YOKOYAMA, A. H.; ZUCARELI, C.; COELHO, A. E.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Precrops and N-fertilizer impacts on soybean performance in tropical regions of Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 44, e54650, 2022. 11 p. DOI: 10.4025/actasciagron.v44i1.54650.

# Experimentação *on farm* em agricultura de precisão para ajuste da densidade de sementes e nitrogênio na cultura do milho no norte do Paraná

Rafael Agostinelli Gouvea<sup>(1)</sup>, Francisco Nogara Neto<sup>(2)</sup>, Julio Cezar Franchini<sup>(3)</sup>, Henrique Debiasi<sup>(3)</sup>, Esmael Lopes dos Santos<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Unifil, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Engenheiro Agrônomo, Agroevox Soluções Digitais, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Professor, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel, PR.

## Introdução

A agricultura de precisão tem possibilitado o uso da variabilidade espacial das lavouras de milho como ferramenta para tomada de decisão agrônômica e econômica em nível de propriedade (Franchini et al., 2024). Entre as principais ferramentas utilizadas destacam-se os mapas de colheita, índices de vegetação, sensores de solo e análises espaciais multissafras, que permitem identificar zonas de manejo com diferentes potenciais produtivos. No estado do Paraná, o milho representa a segunda cultura agrícola mais importante em área e valor econômico, atrás apenas da soja, sendo fundamental o desenvolvimento de estratégias que aumentem a eficiência do uso de insumos e reduzam os riscos produtivos associados à variabilidade climática. Nesse contexto, a experimentação *on farm* apresenta grande relevância por permitir a validação de práticas agrônômicas em condições reais de cultivo, utilizando o maquinário, o ambiente produtivo e o sistema de manejo da própria fazenda. O objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias de ajuste da densidade de sementes e doses de nitrogênio em milho, associadas à definição de zonas de manejo em agricultura de precisão, visando maximizar a rentabilidade e reduzir riscos técnicos e econômicos na Fazenda Cachoeira, localizada em Arapongas, PR.

## Material e Métodos

O estudo foi conduzido nas safras de 2023, 2024 e 2025 utilizando mapas de produtividade de milho. Em cada um dos anos foram conduzidos experimentos usando a metodologia de experimentação

on farm. Nos três anos foi utilizado o híbrido de milho AS 1800. Os dados dos experimentos conduzidos em 2023, 2024 e 2025 foram submetidos à análise de variância. O experimento de 2023 foi conduzido em delineamento em blocos completos casualizados com quatro densidades de semeadura (54, 62, 68 e 74 mil sementes ha<sup>-1</sup>) e oito repetições, totalizando 32 parcelas de 18 m de largura por 75 m de comprimento. Em 2024 foi utilizado esquema fatorial 4×3 [(doses de nitrogênio (30, 60, 90, 120 kg N ha<sup>-1</sup>) × densidades de semeadura (66, 70 e 74 mil sementes ha<sup>-1</sup>)] em delineamento em blocos completos casualizados com seis repetições. O experimento de 2025 foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com quatro doses de nitrogênio (30, 60, 90, 120 kg N ha<sup>-1</sup>) e 18 repetições. Em 2024 e 2025 as parcelas tinham 36 metros de largura e 60 metros de comprimento. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em 2023 e 2024 o nitrogênio foi aplicado na forma de ureia usando um distribuidor com largura de aplicação de 18 metros. O nitrogênio foi aplicado quando o milho estava no estágio V4. As avaliações foram realizadas por meio de mapas de colheita georreferenciados e análises econômicas considerando diferentes cenários de manejo e variabilidade climática. Os mapas de produtividade das safras de 2023, 2024 e 2025 foram interpolados, filtrados e padronizados para geração de um mapa de produtividade média multissafrá. A partir desse mapa foram definidas três classes de potencial produtivo (baixo, médio e alto) utilizando os valores correspondentes ao primeiro e terceiro quartis da distribuição espacial da produtividade média. A análise econômica foi realizada considerando o incremento de produtividade observado nos experimentos e os custos adicionais associados ao aumento da densidade de semeadura e das doses de nitrogênio. Foram considerados os custos de sementes e fertilizante nitrogenado, utilizando valores médios praticados na região durante o período de avaliação. Preços de referência utilizados na análise foram os seguintes; milho R\$ 62,50 sc<sup>-1</sup>; sementes: R\$ 1.200,00 por saco de 60 mil sementes e ureia R\$ 163,00 ha<sup>-1</sup> para cada 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. A margem econômica foi calculada pela diferença entre a receita adicional obtida com o incremento de produtividade e o custo adicional de implantação das estratégias de manejo. As simulações econômicas foram realizadas de forma espacializada utilizando o mapa de potencial produtivo do talhão. Dados diários de precipitação pluviométrica

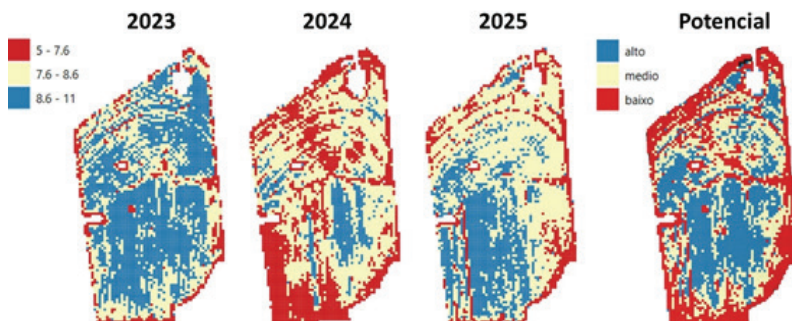
durante as safras de 2023, 2024 e 2025, foram obtidos a partir da estação do Instituto das Águas do Paraná localizada em Arapongas<sup>1</sup>. A partir dos dados diários foram calculados a precipitação total e o maior período de veranico durante o período da safra de milho.

## Resultados e Discussão

Os resultados evidenciaram elevada variabilidade espacial da produtividade entre os anos avaliados (Figura 1), associada principalmente às diferenças de disponibilidade hídrica (Tabela 1). A safra de 2023 apresentou precipitação acumulada de 832 mm entre fevereiro e julho, produtividade média de 8,53 t ha<sup>-1</sup> e menor impacto de déficit hídrico. Já as safras de 2024 e 2025 apresentaram menores volumes de chuva e maiores períodos de veranico, resultando em redução da produtividade média e aumento da variabilidade espacial. No experimento conduzido em 2023 houve efeito significativo da densidade de semeadura sobre a produtividade do milho, com incremento linear da produtividade até a densidade de 74 mil sementes ha<sup>-1</sup> (Figura 2A). Entretanto, as densidades de 68 e 74 mil sementes ha<sup>-1</sup> não diferiram estatisticamente entre si, indicando que populações intermediárias podem apresentar melhor relação entre resposta produtiva e custo adicional com sementes. Na safra 2024 houve efeito significativo das doses de nitrogênio sobre a produtividade, enquanto as densidades e a interação entre os fatores não apresentaram efeito significativo (Figura 2B). A dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou a maior produtividade média, evidenciando melhor equilíbrio entre resposta agrônômica e condições climáticas da safra. Já em 2025 houve incremento significativo da produtividade com o aumento das doses de nitrogênio, com maior produtividade observada na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 2C). Entretanto, os ganhos produtivos acima da dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> foram relativamente pequenos quando comparados ao incremento de investimento necessário.

---

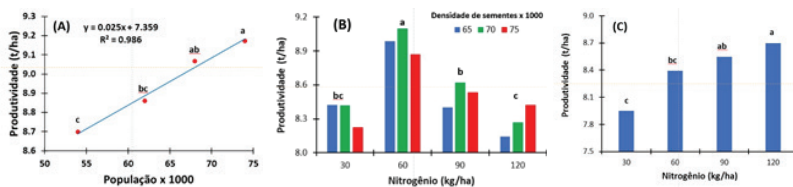
<sup>1</sup> <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/>



**Figura 1.** Mapas de produtividade de milho (ton/ha) e do potencial produtivo na Fazenda Cachoeira, Arapongas em três safras representativas.

**Tabela 1.** Resumo dos dados de precipitação pluviometria em Arapongas durante as safras de milho.

Ano	Chuva fev-jul (mm)	Maior Veranico (dias)	CV Espacial (%)	Produtividade média (t/ha)
2023	832	24	8,5	8,53
2024	368	41	10,3	7,73
2025	405	30	8,7	8,24



**Figura 2.** Produtividades do milho em função da densidade de semeadura na safra 2023 (A); densidade de semeadura e doses de nitrogênio na safra 2024 (B); e doses de nitrogênio na safra 2025 (C).

Os resultados demonstram forte dependência da resposta do milho ao nitrogênio em função das condições climáticas da safra. Em 2024, caracterizado por maior restrição hídrica, doses elevadas de nitrogênio não resultaram em incremento produtivo consistente. Em 2025, com condições menos restritivas, houve resposta positiva ao aumento das doses de N. Esse comportamento evidencia a importância da análise multissafras para definição de estratégias de manejo mais estáveis economicamente.

Com base nos resultados dos ensaios *on farm* realizados nas diferentes safras foram propostos cenários de estratégias de adoção das variáveis densidade de sementeira e doses de nitrogênio (Tabela 2). Foram simuladas diferentes combinações entre densidade de sementeira e doses de nitrogênio para as três classes de potencial produtivo. A Tabela 2 apresenta apenas os quatro cenários com melhor desempenho econômico acumulado ao longo das três safras, selecionados por apresentarem maior estabilidade econômica e operacional.

**Tabela 2.** Retorno econômico de cenários de adoção de configurações de densidade de sementeira e doses de nitrogênio para maximizar o retorno econômico no talhão da Fazenda Cachoeira, Arapongas.

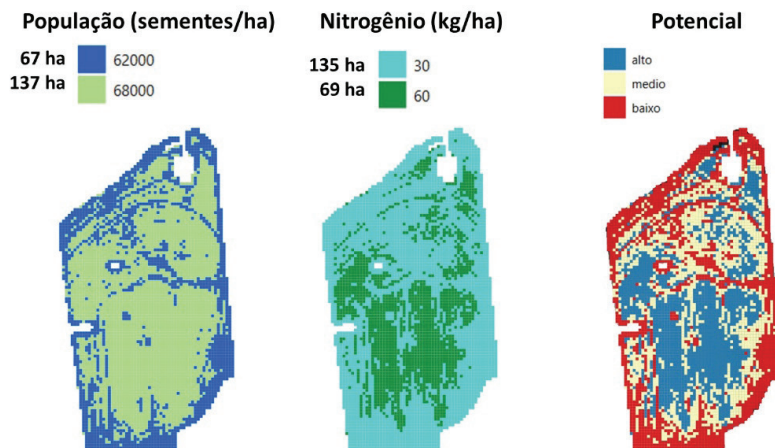
Baixo	Potencial Médio	Alto	Margem acumulada 3 anos
62+30	68+60	72+90	R\$ 14.447
62+30	68+60	68+90	R\$ 15.608
62+30	68+60	68+60	R\$ 29.603
<b>62+30</b>	<b>68+30</b>	<b>68+60</b>	<b>R\$ 38.267</b>

Valores expressos como densidade de sementeira (mil sementes ha<sup>-1</sup>) + dose de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>).

As combinações foram estruturadas considerando o princípio de proporcionalidade entre investimento e potencial produtivo do ambiente. Áreas de baixo potencial receberam menores densidades e doses de nitrogênio visando redução do risco econômico, enquanto áreas de maior potencial produtivo receberam maior aporte de insumos devido à maior capacidade de resposta produtiva.

A menor eficiência econômica das maiores doses de nitrogênio nas safras com restrição hídrica (2024 e 2025) evidencia a forte dependência da resposta do milho à disponibilidade de água, condição amplamente relatada para ambientes subtropicais de segunda safra.

Na Figura 3 são apresentados os mapas com a distribuição espacial da combinação de fatores que proporcionou o maior retorno econômico com base nas produtividades obtidas ao longo das três safras de milho.



**Figura 3.** Mapas de prescrição de sementes e nitrogênio para maximizar a rentabilidade do talhão na Fazenda Cachoeira, Araçongas.

A análise integrada das três safras indicou que a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou a melhor relação entre produtividade, custo de investimento e estabilidade econômica. Doses superiores mostraram potencial de incremento produtivo em anos favoráveis, porém com maior risco econômico em condições climáticas restritivas. Silva et al. (2009) observaram que a aplicação de nitrogênio aumenta a demanda de água da cultura do milho, sugerindo que sob condições de déficit hídrico a eficiência de uso do nutriente será reduzida. A estratégia mais eficiente consistiu na utilização de menor investimento em áreas de baixo potencial produtivo e incremento gradual de densidade de sementes e nitrogênio nas áreas de médio e alto potencial, permitindo maior margem acumulada ao longo das safras avaliadas. Os resultados reforçam a importância da integração entre agricultura de precisão, análise econômica, gestão de risco climático e experimentação *on farm* para construção de recomendações agrônomicas ajustadas à realidade operacional das propriedades agrícolas.

Os resultados demonstram que a agricultura de precisão não deve ser limitada à aplicação localizada de insumos, mas utilizada como ferramenta para gestão espacial do risco produtivo e econômico.

## Conclusão

A utilização integrada de mapas de produtividade multissafra, experimentação *on farm* e análise econômica espacializada permitiu transformar a variabilidade espacial da lavoura em estratégias práticas de manejo, aumentando a eficiência do uso de insumos e reduzindo o risco econômico associado à variabilidade climática.

## Referências

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; LOPES, I. de O. N.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Definição de zonas de manejo em área de produção de milho 2ª safra na região norte do Paraná. 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, 2024. seção 2, cap. 39, p. 360-367.

SILVA, M. M.; LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Nitrogen doses and water balance components at phenological stages of corn. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 4, p. 515-521, 2009.

## Teor de lignina e infecção por *Cercospora* spp. em sementes de soja: existe associação?

Ana Carolina Dias Balan<sup>(1)</sup>, Luigi Bertolaccini Scolin<sup>(2)</sup>, Danilo Gimenes Coutinho Zanluchi<sup>(1)</sup>, Cláudia Vieira Godoy<sup>(3)</sup>, José de Barros França-Neto<sup>(3)</sup>, Fernando Augusto Henning<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Centro Universitário Filadélfia, Centro de Ciências Agrárias, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Estudante de doutorado, Universidade Estadual de Londrina, UEL, Departamento de Agronomia, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) consolida-se como o principal pilar do agronegócio brasileiro, posicionando o país como o maior produtor e exportador mundial desta oleaginosa. Em 2023, a cultura foi responsável por aproximadamente 40,99% do valor total das exportações agrícolas do Brasil, evidenciando sua importância estratégica para a balança comercial e a segurança alimentar global (Instituto Escolhas, 2025; Embrapa Soja, 2026).

No entanto, a sustentabilidade da produção enfrenta desafios constantes impostos por fitopatógenos, dentre os quais se destaca o fungo *Cercospora* spp., agente causal do crestamento foliar de *Cercospora* e da mancha-púrpura da semente, com perdas de produtividade estimadas entre 18% e 30% sob condições severas (Sautua et al., 2024). Nas sementes, os sintomas manifestam-se predominantemente por meio de uma coloração púrpura típica no tegumento, variando de pequenos pontos isolados até a cobertura total, com manchas irregulares que oscilam do roxo claro ao castanho-avermelhado (Ward-Gauthier et al., 2015).

A lignina, um polímero fenólico complexo, é amplamente descrita na literatura como um componente essencial da barreira física contra a penetração de patógenos, conferindo rigidez mecânica e reduzindo a degradabilidade dos tecidos por enzimas fúngicas (Liu et al., 2018; Ma, 2024). Contudo, a efetividade da lignina na resistência varia conforme a cultivar e as condições ambientais (Brzezinski et al., 2022). Se, por um lado, a alta concentração desse composto reduz a incidência de determinados fungos de solo e de armazenamento, seus

efeitos específicos sobre o gênero *Cercospora* em sementes de soja ainda demandam esclarecimentos.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi determinar a influência do teor de lignina do tegumento na incidência de *Cercospora* spp. em sementes de diferentes cultivares de soja.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Núcleo Tecnológico de Sementes e Grãos Dr. Nilton Pereira da Costa, pertencente à Embrapa Soja, localizada em Londrina, PR. Foram utilizadas 26 amostras de sementes de soja com diferentes níveis de incidência natural de *Cercospora* spp., provenientes de quatro estados brasileiros: Mato Grosso (MT) (n = 19), Paraná (PR) (n = 4), Bahia (BA) (n = 2) e São Paulo (SP) (n = 1). As amostras contemplaram diversas cultivares comerciais selecionadas pela sua elevada representatividade no mercado nacional.

A determinação da incidência de *Cercospora* spp. nas sementes foi realizada por meio do teste de sanidade em papel de filtro (blotter test), utilizando-se 400 sementes por amostra (4 repetições de 100), distribuídas em gerbox, conforme Neergaard (1977).

Para a quantificação do teor de lignina, foram utilizados os tegumentos de 100 sementes por amostra (4 repetições de 25). Inicialmente, as sementes foram imersas em água destilada por um período de 12 horas para permitir a separação manual dos tegumentos e dos cotilédones. Em seguida, os tegumentos extraídos foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar a 105 °C por 24 horas. A matéria seca obtida foi devidamente triturada e homogeneizada em moinho de facas. Posteriormente, pesou-se 0,3 g de cada amostra para a etapa de extração das proteínas ligadas à parede celular. Com o material livre de frações proteicas, realizou-se a quantificação espectrofotométrica do teor de lignina pelo método do complexo do ácido litioglicólico (LTGA), seguindo o procedimento descrito por Ca-peleti et al. (2005).

A relação entre o teor de lignina no tegumento e a incidência do patógeno foi avaliada por meio de análise de correlação. Inicialmente, a normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Atendidos os pressupostos, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), e a significância estatística do ajuste foi determinada

pelo teste t de Student a 5% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ). Todas as análises estatísticas e a elaboração dos gráficos de dispersão foram realizadas no programa R (R Core Team, 2026).

## Resultado e Discussão

A análise estatística indicou a inexistência de uma relação linear significativa entre o acúmulo de lignina no tegumento e a presença de *Cercospora* spp. nas amostras de sementes avaliadas (Tabela 1, Figura 1). Esse resultado sugere que a resistência estrutural conferida por este polímero não atua como o principal mecanismo de defesa contra o patógeno no conjunto de cultivares analisado.

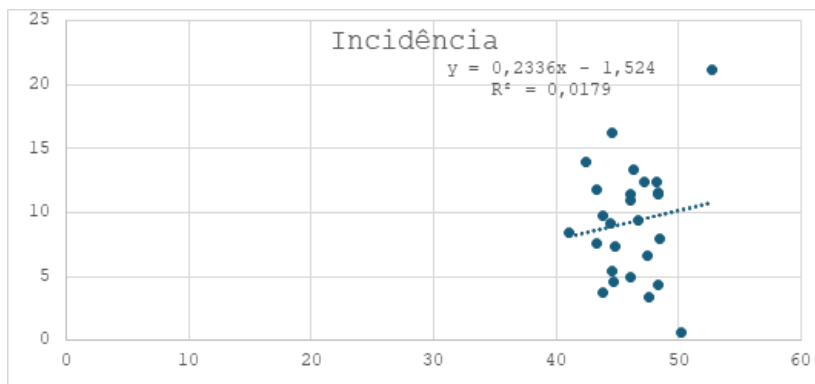
A infecção por *Cercospora* spp. ocorre por meio de aberturas naturais da semente, como poros do tegumento (Figura 2), o hilo e a micrópila (Singh; Sinclair, 1985). Nesses poros, a penetração das hifas dispensa a formação de apressórios, o que viabiliza o processo de infecção sem causar defeitos visíveis no tegumento da semente. Diante disso, o estudo da densidade e do tamanho desses poros tegumentares surge como uma possível ferramenta no melhoramento genético; uma vez que a probabilidade de infecção é diretamente proporcional à presença dessas vias de entrada na semente (Hill; West, 1982).

Como o fungo se utiliza dessas vias de acesso preexistentes, a deposição de lignina no tegumento acaba não representando um impedimento físico eficaz ao processo de infecção inicial. A literatura destaca que o patógeno utiliza o tegumento como sítio de colonização e de síntese de cercosporina, composto fotodinâmico responsável pela característica mancha púrpura (Kunwar et al., 1985), evidenciando que a lignina não obstrui o estabelecimento do fungo quando este penetra via aberturas naturais.

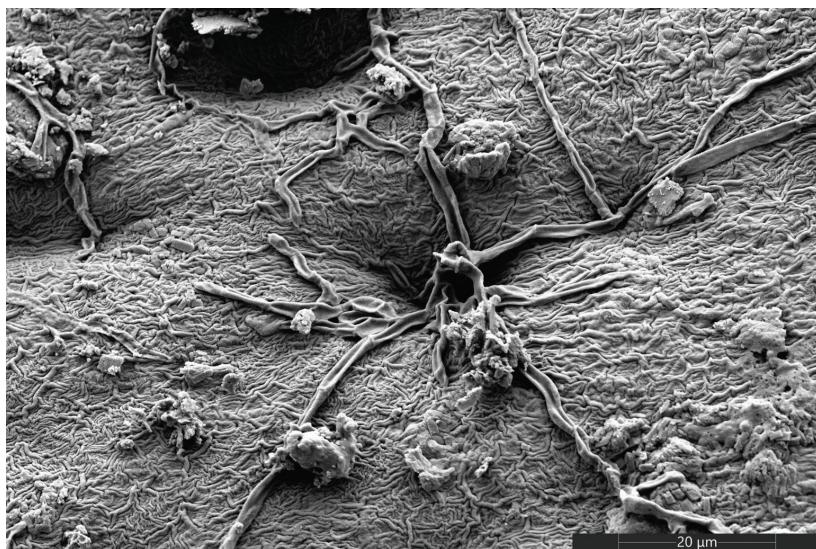
Apesar do sucesso na colonização inicial e da manifestação visual dos sintomas, cabe ressaltar que o fungo se restringe quase que exclusivamente à região do tegumento. Raramente atingindo os tecidos embrionários, a presença do patógeno acaba não afetando o potencial fisiológico do lote, de modo que não são registrados prejuízos na germinação, emergência ou vigor da soja (França-Neto; West, 1989).

**Tabela 1.** Teor de lignina no tegumento (%) e incidência (%) de *Cercospora* spp. identificados em 26 amostras de sementes comerciais de soja.

<b>Amostra</b>	<b>Lignina</b>	<b>Incidência</b>
1	4,25	14
2	4,75	6,6
3	5,02	0,6
4	4,84	8
5	4,61	11,4
6	4,11	8,4
7	4,46	16,2
8	4,64	13,4
9	4,46	5,4
10	4,66	9,4
11	4,38	3,8
12	4,33	7,6
13	5,27	21,2
14	4,83	11,4
15	4,38	9,8
16	4,82	12,4
17	4,72	12,4
18	4,47	4,6
19	4,61	11
20	4,76	3,4
21	4,33	11,8
22	4,83	4,4
23	4,61	5
24	4,49	7,4
25	4,45	9,2
26	4,84	11,6



**Figura 1.** Diagrama de dispersão e linha de tendência linear entre o teor de lignina no tegumento e a incidência percentual de *Cercospora* spp. em sementes de cultivares de soja.



**Figura 2.** Eletromicrografia de varredura (MEV) evidenciando o crescimento e a colonização de hifas de *Cercospora* spp. sobre a superfície do tegumento de sementes de soja, destacando a proximidade e penetração ativa através de fendas e aberturas naturais da parede celular (Barra de escala = 20 μm).

## Conclusão

Os resultados demonstraram a ausência de correlação linear entre o teor de lignina no tegumento das sementes e a incidência de *Cercospora* spp. nas cultivares de soja analisadas. A oscilação nos níveis desse polímero não constitui uma barreira determinante contra o fungo, indicando que o patógeno coloniza o tegumento da semente independentemente de sua concentração, utilizando as aberturas naturais como principal via de penetração.

## Referências

- BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; ZUCARELI, C.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A. Quality and chemical composition of soybean seeds with different lignin contents in the pod and seed coat subjected to weathering deterioration in pre-harvest. **Journal of Seed Science**, v. 44, e202244024, 2022. 13 p. DOI: 10.1590/2317-1545v44257665.
- CAPELETI, I.; FERRARESE, M. L. L.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FERRARESE FILHO, O. A new procedure for quantification of lignin in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed coat and their relationship with resistance to mechanical damage. **Seed Science and Technology**, v. 33, n. 2, p. 511-515, 2005.
- EMBRAPA SOJA. **Soja em números (safra 2025/26)**. Londrina, 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 26 maio 2026.
- FRANÇA-NETO, J. B.; WEST, S. H. Effects of *Colletotrichum truncatum* and *Cercospora kikuchii* on viability and quality of soybean seed. **Journal of Seed Technology**, v. 13, n. 2, p. 136-149, 1989.
- HILL, H. J.; WEST, S. H. Fungal penetration of soybean seed through pores. **Crop Science**, v. 22, n. 3, p. 602-605, 1982.
- INSTITUTO ESCOLHAS. **Brasil como líder mundial em produção de soja: até quando e a que custo?** Relatório Técnico. São Paulo, 2025. 118 p. Disponível em: [https://escolhas.org/wp-content/uploads/2025/06/Relatorio-Tecnico\\_Brasil-como-lider-mundial-em-producao-de-soja.pdf](https://escolhas.org/wp-content/uploads/2025/06/Relatorio-Tecnico_Brasil-como-lider-mundial-em-producao-de-soja.pdf). Acesso em: 26 maio 2026.

KUNWAR, I. K.; SINGH, T.; SINCLAIR, J. B. Histopathology of mixed infections by *Colletotrichum truncatum* and *Cercospora sojina* or *Phomopsis* spp. in soybean seeds. **Phytopathology**, v. 75, n. 4, p. 489-492, 1985.

LIU, Q.; LUO, L.; ZHENG, L. Lignins: biosynthesis and biological functions in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 2, 335, 2018. DOI: 10.3390/ijms19020335.

MA, Q. H. Lignin biosynthesis and its diversified roles in disease resistance. **Genes**, v. 15, n. 3, 295, 2024. DOI: 10.3390/genes15030295.

NEERGAARD, P. **Seed pathology**. London: Macmillan Press, 1977. 1187 p.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2026. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 26 maio 2026.

SAUTUA, F. J.; PIZÁ, M. C. P.; SCANDIANI, M. M.; CARMONA, M. A. *Cercospora* leaf blight and purple seed stain of soybean: a permanent challenge. **Plant Pathology**, v. 73, n. 4, p. 511-525, 2024.

SINGH, T.; SINCLAIR, J. B. Histopathology of *Cercospora sojina* in soybean seeds. **Phytopathology**, v. 75, n. 2, p. 185-189, 1985.

WARD-GAUTHIER, N. A.; SCHNEIDER, R. W.; CHANDA, A.; SILVA, E. C.; PRICE III, P. P.; CAI, G. *Cercospora* leaf blight and purple seed stain. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (ed.). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5<sup>th</sup> ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 37-41.

## Variabilidade do índice de acidez do solo avaliado por soluções salinas

Marcos Roberto Paulino<sup>(1)</sup>, Maria Teresa Magnani Coppo<sup>(2)</sup>, Matheus Corrêa Bodnariuc<sup>(2)</sup>, Sofia dos Santos Xavier<sup>(2)</sup>, Mariana Gomes Germano<sup>(3)</sup>, Fernanda Ramos de Andrade<sup>(4)</sup>, Joviano Jackson Kleinert<sup>(4)</sup>, César de Castro<sup>(5)</sup>, Adilson de Oliveira Junior<sup>(5)</sup>, Fábio Alvares de Oliveira<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de graduação em Química, Universidade Estadual de Londrina, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Estudante de Agronomia, UNOPAR, bolsista Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(3)</sup> Graduada em Química, doutora, analista da Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(4)</sup> Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(5)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

### Introdução

A acidez do solo é um dos principais problemas para a produtividade agrícola em regiões tropicais e subtropicais. Isso ocorre pela elevada concentração de íons de hidrogênio ( $H^+$ ) e alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ) na solução do solo, condição que interfere na disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, como fósforo, cálcio e magnésio (Bönecke et al., 2021).

Para fins de manejo e correção, a avaliação da acidez do solo é realizada rotineiramente por meio da determinação do pH. No entanto, o método laboratorial utilizado é fortemente influenciado pelo meio extrator utilizado na análise. A solução de referência para a determinação do pH do solo varia nas diferentes regiões do país, predominando o uso de água destilada (pH em  $H_2O$ ) ou soluções salinas diluídas, de cloreto de cálcio (pH em  $CaCl_2$  0,01M) e de cloreto de potássio (pH em KCl 1,0 M).

As soluções salinas reduzem o valor de pH determinado, devido ao processo de troca catiônica ( $Ca^{2+}/Mg^{2+}:H^+$ ), porém a magnitude da variação é dependente da mineralogia do solo e da condição de acidez atual. Outro fator de influência no efeito dos corretivos é a densidade variável dos solos, que determina relações de doses aplicadas distintas por unidade de área.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de calcário em dois solos do Estado do Paraná com propriedades mineralógicas distintas, utilizando soluções extratoras salinas e qualificar o efeito

das relações de quantidades aplicadas com base na massa ou no volume de solo sobre a magnitude da correção.

## Material e Métodos

Foram coletadas amostras de solo da camada superficial (0-10 cm) de um Argissolo Vermelho Amarelo (Solo PVAd) com  $128 \text{ g dm}^{-3}$  de argila (textura arenosa), e de um Latossolo Vermelho (Solo LVd), com  $464 \text{ g dm}^{-3}$  (textura argilosa). As amostras foram secas e peneiradas para homogeneização e, em seguida, foram acondicionadas em potes plásticos e distribuídas ao acaso em casa de vegetação. Foi realizada uma amostragem inicial para caracterização química do solo (tempo zero).

Para cada tipo de solo, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições, para avaliação de tratamentos em esquema fatorial  $2 \times 6$ , variando-se a relação de quantidade de corretivo aplicada por unidade de grandeza de solo (dose:100 mL e dose:100 g) e as doses de calcário dolomítico em partículas menores que 100 mesh (0,15 mm), aplicadas para determinar a curva de neutralização da acidez (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dosagens de calcário por tipo de solo

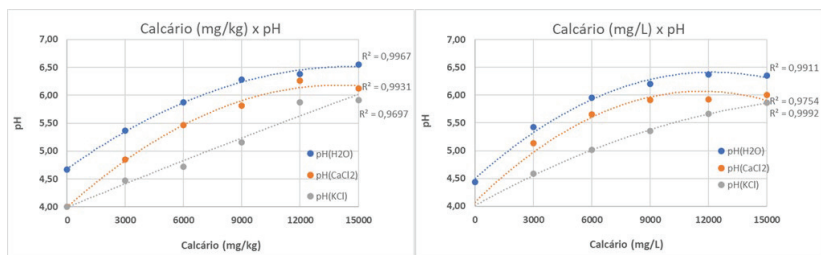
<b>Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso</b>	<b>Argissolo Vermelho, arenosa/ média</b>
$d = 1,19 \text{ g cm}^{-3}$	$d = 1,36 \text{ g cm}^{-3}$
<b>DOSES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO (mg)</b>	<b>DOSES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO (mg)</b>
0	0
3000	750
6000	1500
9000	3000
12000	6000
15000	12000

Posteriormente à aplicação dos tratamentos, o solo foi mantido com umidade próximo a 70% da capacidade de campo por 30 dias. Ao final deste período, amostras de solo de cada unidade experimental foram coletadas para a determinação de parâmetros da acidez do solo,

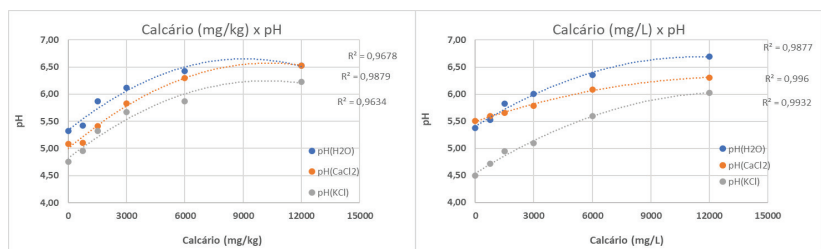
conforme as metodologias descritas por Pavan e Miyazawa (1996) e Teixeira et al. (2017). Neste estudo foram avaliados o pH em extratos de água destilada, de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M e de  $\text{KCl}$  1,0 M. Para cada determinação, foram cachimbados  $8 \text{ cm}^3$  de cada amostra de solo e transferidas para um copo plástico de 50 mL. A seguir, adicionou-se 20 mL dos extratores (relação 2:5), agitando-se as amostras por 15 minutos a 200 rpm e decantando-se por 30 minutos. Finalmente, os valores de pH das extrações foram determinados utilizando-se um pHmetro (Raij, 2001).

## Resultados e Discussão

Os valores de pH do solo LVd (Figura 1) e do solo PVAd (Figura 2) em resposta à aplicação de calcário apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. Contudo, a unidade de solo corrigido não teve efeito significativo.



**Figura 1.** Curva de neutralização da acidez do Latossolo Vermelho distrófico em função das doses de calcário e unidade de solo corrigida, indicada pelo  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{pH}(\text{CaCl}_2$  0,01M) e  $\text{pH}(\text{KCl}$  1,0M).



**Figura 2.** Curva de neutralização da acidez do Argissolo Vermelho distrófico em função das doses de calcário, indicada pelo  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{pH}(\text{CaCl}_2$  0,01M) e  $\text{pH}(\text{KCl}$  1,0M).

Os valores de pH nas soluções extratoras salinas apresentaram valores menores que o pH(H<sub>2</sub>O), efeito das trocas catiônicas de Ca<sup>2+</sup> ou K<sup>+</sup> presentes nas soluções deslocando o H<sup>+</sup> adsorvido no complexo de troca para a solução do solo. Assim, conforme destacado por Yu (1997), este efeito foi proporcional à concentração da solução extratora, resultando na ordem crescente de valores para o pH(KCl 1M) > pH(CaCl<sub>2</sub> 0,01M) > pH(H<sub>2</sub>O).

Em ambos os solos, os valores absolutos de pH nos tratamentos com calcário aplicado por unidade de volume foram menores que os valores de pH, para as mesmas doses do corretivo aplicadas por unidade de massa de solo (Figuras 1 e 2). Este fato está associado à densidade aparente dos solos variando de 1,19 a 1,36 g dm<sup>-3</sup>, resultando em quantidades relativas de calcário menores por unidade de massa, nestes tratamentos. Porém, os valores não diferiram significativamente, indicando que o poder tampão dos solos apresentou maior influência sobre o pH final que a redução proporcional das doses do corretivo, determinada pelo fator densidade dos solos.

Não foram obtidos valores de pH próximos a neutralidade nas maiores quantidades de calcário dolomítico aplicadas, resultados associados à baixa solubilidade do corretivo e ao tempo reduzido de avaliação dos efeitos sobre o pH dos solos.

## Conclusão

Os valores de pH foram elevados até pH 6,5 nas maiores doses de calcário aplicadas. As soluções salinas resultaram em valores menores de pH para todas as doses de calcário avaliadas. Os efeitos da calagem não variaram significativamente em função da unidade de grandeza de solo utilizada para cálculo das doses.

## Referências

BÖNECKE, E.; MEYER, S.; VOGEL, S.; SCHRÖTER, I.; GEBBERS, R.; KLING, C.; KRAMER, E.; LÜCK, K.; NAGEL, A.; PHILIPP, G.; GERLACH, F.; PALME, S.; SCHEIBE, D.; ZIEGER, K.; RÜHLMANN, J. Guidelines for precise lime management based on high-resolution soil pH, texture and SOM maps generated from proximal soil sensing data. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 493-523, 2021. DOI: 10.1007/s11119-020-09766-8.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. **Análises químicas de solos**: parâmetros para interpretação. Londrina: IAPAR, 1996. 48 p. (IAPAR. Circular, 91).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

YU, T. R. (ed.) **Chemistry of Variable Charge Soils**. New York: Oxford University Press, 1997. 520 p.

# Calibração local do método de oxidação via úmida com o método de combustão à seca na quantificação de carbono em solos cultivados com soja

Pedro Henrique de Jonge<sup>(1)</sup>, Esmael Lopes dos Santos<sup>(2)</sup>, Ana Claudia Arruda Motta Alves<sup>(3)</sup>, Maria Júlia Couto<sup>(4)</sup>, Marcelo Hiroshi Hirakuri<sup>(5)</sup>, Julio Cezar Franchini<sup>(6)</sup>, Roberta Aparecida Carnevali<sup>(6)</sup>, Marco Antonio Nogueira<sup>(6)</sup>, Henrique Debiasi<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Unifil, Bolsista PIBIC/CNPq, Unifil, Londrina, PR. <sup>(2)</sup> Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG, Cascavel, PR. <sup>(3)</sup> Estudante de mestrado, Esalq/USP, Piracicaba, SP. <sup>(4)</sup> Estudante de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, RS. <sup>(5)</sup> Analista, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(6)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

Programas de certificação associados à redução das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEEs), como o Programa Soja Baixo Carbono - PSBC (Debiasi et al., 2023; Nepomuceno et al., 2023), exigem metodologias robustas e, ao mesmo tempo, técnica e financeiramente viáveis, para quantificação dos estoques de carbono no solo. Diferentes métodos podem ser utilizados para obter o carbono do solo, sendo o método de combustão à seca, de maior precisão analítica, o mais indicado para protocolos de certificação (Fontana et al., 2024). Neste método, uma amostra de solo é submetida ao processo de combustão com temperatura em torno de 1.000 °C em equipamento analisador elementar (Fontana; Bianchi, 2017), com a determinação do carbono total do solo (orgânico e inorgânico). Os métodos de oxidação via úmida (Walkley; Black, 1934) prestam-se à determinação do carbono orgânico do solo, apresentando restrições de uso em protocolos de certificação por serem imprecisos (Fontana et al., 2024) e subestimarem sistematicamente os teores (Fernandes et al., 2015). Porém, os métodos de combustão via úmida são amplamente utilizados em análises químicas de solo de rotina, devido ao custo expressivamente inferior (cerca de cinco vezes menor do que o método da combustão à seca), simplicidade operacional e disponibilidade de uma ampla rede de laboratórios credenciados.

Diversos trabalhos de pesquisa demonstram forte correlação entre os teores de carbono total (combustão à seca) e carbono orgânico (oxidação via úmida), o que torna possível o estabelecimento de relações quantitativas entre os métodos (Sato et al., 2014; Fernandes et al., 2015) e, assim, de equações para harmonização dos resultados (Shamrikova et al., 2022). Entretanto, fatores como textura do solo, mineralogia, composição da matéria orgânica e histórico de manejo influenciam a relação entre o carbono orgânico e o carbono total (Mersmans et al., 2009; Fernandes et al., 2015; Ćirić et al., 2021), dificultando a utilização de uma única equação universal de harmonização.

Dessa forma, a utilização de calibrações locais surge como alternativa para redução dos custos analíticos mantendo consistência estatística. Para isso, é de fundamental importância definir qual o número mínimo de amostras de solo a serem analisadas pelo método mais preciso e mais caro (combustão à seca), necessário para ajustar equações locais robustas que permitam calibrar os teores de carbono orgânico quantificados pelo método mais barato e impreciso (oxidação via úmida).

O objetivo deste trabalho foi ajustar equações locais que permitam calibrar o método da oxidação via úmida com o método da combustão seca nas condições específicas de talhões agrícolas de produção de soja em diferentes regiões brasileiras, buscando definir o número mínimo de amostras a serem analisadas pelo método de maior precisão e custo (combustão seca).

## **Material e Métodos**

Foram utilizados os teores de carbono do solo determinados em amostras coletadas em 44 talhões comerciais de soja no período de maio a outubro de 2024, distribuídos em todas as cinco macrorregiões sojícolas brasileiras (Tabela 1). Em talhões com calagem programada dentro da janela de tempo disponível para a coleta de solo, a amostragem foi realizada antes da aplicação do calcário. Em cada talhão, foram coletadas 20 amostras de solo em cinco camadas distintas (0-0,1 m; 0,1-0,2 m; 0,2,-0,3 m; 0,3-0,4 m; e 0,4-0,6 m), cada uma composta por oito subamostras, seguindo grade amostral regular com tamanho variável em função da área de cada talhão. Nos talhões 42, 43 e 44, as amostras foram coletadas em três camadas

(0,0-0,1 m; 0,1-0,2 m; e 0,2-0,4 m). Em laboratório, o teor de carbono total foi determinado pelo método da combustão à seca, utilizando analisador elementar de carbono e nitrogênio, conforme descrito em Fontana e Bianchi (2017). Já o carbono orgânico foi determinado por oxidação via úmida e quantificação colorimétrica, conforme descrito em Cantarella et al. (2001).

A comparação entre os métodos de determinação do teor de carbono do solo foi realizada por meio de análise de regressão linear simples, primeiramente considerando o conjunto de todos os pontos e profundidades dos talhões amostrados. Posteriormente, as análises de regressão foram realizadas individualmente por talhão, utilizando todos os pontos e camadas amostradas em cada um deles. Nas análises de regressão, o carbono orgânico por oxidação via úmida foi utilizado como variável independente.

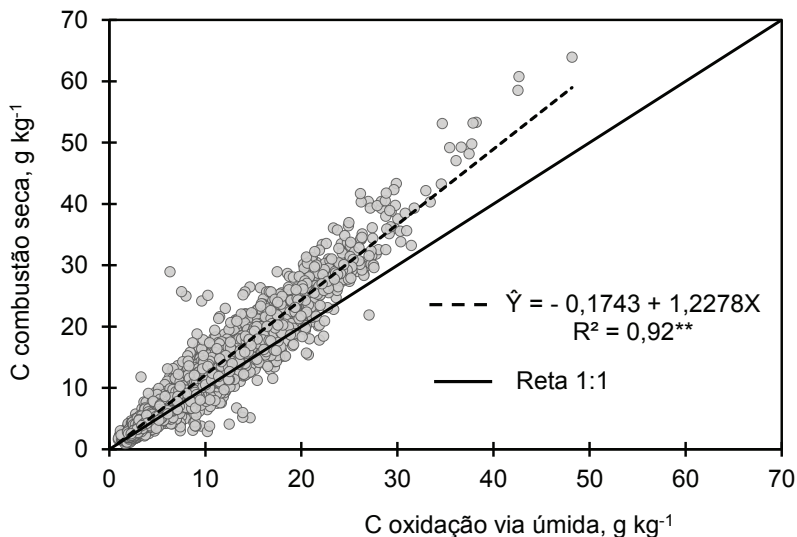
O número mínimo de amostras necessário para a calibração dos teores de carbono do solo foi determinado por meio da geração de subconjuntos de dados com número crescente de pontos completos (2, 4, 6, 8 e 12 pontos), a partir de amostragem aleatória com reposição (*bootstrap*), conforme proposto por Efron e Tibshirani (1993). Cada ponto completo englobou 5 amostras, referentes às camadas amostradas (0-0,1 m; 0,1-0,2 m; 0,2-0,3 m; 0,3-0,4 m; e 0,4-0,6 m). Para cada subconjunto, foi ajustado um modelo de regressão linear entre os teores de carbono obtidos pelo método de oxidação úmida e aqueles determinados pelo método de referência (combustão seca). O desempenho do modelo foi avaliado por meio do erro quadrático médio (RMSE). Dentro de cada subconjunto, este procedimento foi repetido 40 vezes, englobando diferentes combinações de pontos aleatoriamente escolhidos, permitindo o cálculo do RMSE médio para cada número de amostras testado. O número mínimo de pontos necessários para calibração foi aquele a partir do qual o aumento no tamanho amostral resultou em redução relativa do RMSE médio inferior a 5%, situação que caracteriza estabilidade do erro de estimativa (Moriassi et al., 2007).

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio do software R versão 4.6.0 (R Core Team, 2024).

## Resultados e Discussão

A análise de regressão demonstrou forte relação linear entre os teores de carbono estimados pelos dois métodos (Figura 1), o que se constitui em premissa para a calibração visando à harmonização dos resultados. A reta que representa a relação observada entre os métodos ficou acima da linha 1:1, indicando que a determinação por combustão à seca resulta em maiores teores de carbono do solo comparativamente à oxidação via úmida. Resultados similares foram obtidos em diversos trabalhos de pesquisa (Meersmans et al., 2009; Sato et al., 2014; Fernandes et al., 2015; Ćirić et al., 2021), e estão associados principalmente à recuperação incompleta do carbono orgânico no método da oxidação via úmida (Walkley; Black, 1934). Além disso, a combustão seca quantifica também o carbono inorgânico, existente do solo principalmente na forma de carbonatos, o que não ocorre no método da oxidação via úmida (Fontana; Bianchi, 2017). Salienta-se que o método de oxidação via úmida com quantificação colorimétrica (Cantarella et al., 2001), utilizado neste trabalho, já incorpora indiretamente um fator de correção multiplicativo de 1,33 para compensar a oxidação parcial da matéria orgânica pelo dicromato, o qual foi estimado considerando que aproximadamente 75% do carbono orgânico é recuperado (Walkley; Black, 1934). Esses resultados evidenciam que o fator de 1,33 foi insuficiente para compensar a recuperação incompleta do carbono orgânico por oxidação via úmida, uma vez que é pouco provável que, em condições de solos tropicais sem aplicação recente de calcário, a presença de carbono inorgânico oriundo de carbonatos explique a totalidade da subestimativa.

Ainda com relação à Figura 1, observa-se que a distância entre a linha resultante da equação que relaciona os dois métodos e a reta 1:1 aumenta com o incremento do teor de carbono no solo. Esse comportamento pode estar relacionado a maior recalcitrância molecular e a maior proteção física e química da matéria orgânica em solos com maior teor de argila e localizados em regiões mais frias (condições em que o teor de carbono é maior), o que, por sua vez, impacta negativamente na proporção de carbono orgânico recuperado pela oxidação via úmida (Díaz-Zorita, 1999; De Vos et al., 2007).



**Figura 1.** Relação entre os teores de carbono no solo determinados por oxidação via úmida e combustão a seca, em amostras coletadas em 44 talhões de produção de soja em diferentes regiões brasileiras.

Não obstante a existência de relação linear consistente entre os métodos quando todo o conjunto de dados é utilizado na análise de regressão, a equação apresentada na Figura 1 não pode ser universalmente aplicada para calibração dos teores de carbono estimados por oxidação via úmida nas situações específicas de cada talhão. Essa afirmação é justificada pela ampla variação dos coeficientes de regressão das equações lineares entre os talhões (Tabela 1). Neste sentido, o coeficiente angular variou de 0,4298 a 1,2907, enquanto que intercepto apresentou valores entre -1,924 e 5,379. As equações de regressão linear apresentaram ajuste significativo em todos os talhões, embora em alguns deles (8 talhões) os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) tenham sido baixos, inferiores a 0,70. Essa variabilidade na qualidade do ajuste é outro fator que demonstra a dificuldade em se utilizar uma equação única para harmonizar os teores de carbono quantificados pelo método de oxidação via úmida com os obtidos por combustão à seca. A obtenção de diferentes equações de regressão para os talhões estudados indica que fatores como textura do solo, mineralogia, composição da matéria orgânica e histórico

de uso e manejo afetam a relação entre os teores de carbono estimados pelos dois métodos (Díaz-Zorita, 1999; De Vos et al., 2007; Meer-smans et al., 2009; Fernandes et al., 2015; Ćirić et al., 2021), tornando evidente a necessidade de calibração específica para cada local.

**Tabela 1.** Localização e área dos talhões estudados, com os respectivos coeficientes de regressão e de determinação ( $R^2$ ) das equações lineares que relacionam os teores de carbono do solo determinados por combustão à seca com os quantificados por oxidação via úmida.

Talhão	Área (ha)	Município/Estado	Coefficiente angular	Intercepto	$R^2$
T1	96	Mangueirinha/PR	1,2905	1,958	0,95**
T2	134	Santo Augusto/RS	1,1712	1,508	0,98**
T3	71	Luziânia/PR	1,1704	0,769	0,98**
T4	134	Farol/PR	1,1638	0,767	0,92**
T5	81	Farol/PR	1,2056	1,228	0,96**
T6	102	Araruna/PR	1,2610	0,725	0,94**
T7	148	Mamborê/PR	1,2175	- 0,356	0,96**
T8	95	Presidente Castelo Branco/PR	0,9644	0,137	0,67**
T9	30	Umuarama/PR	0,9142	1,019	0,81**
T10	87	Xambrê/PR	0,8984	0,428	0,91**
T11	28	Arapongas/PR	1,2329	1,912	0,96**
T12	247	Cambira/PR	1,0127	5,379	0,49**
T13	62	Ourizona/PR	1,1598	1,680	0,98**
T14	29	Rolândia/PR	1,2064	1,237	0,97**
T15	83	Londrina/PR	1,1942	1,453	0,97**
T16	68	Primeiro de Maio/PR	1,2907	1,769	0,94**
T17	135	Ponta Porã/MS	1,0709	0,393	0,80**
T18	45	São Gabriel do Oeste/MS	1,0724	1,148	0,90**
T19	26	Bandeirantes/MS	0,9379	- 0,461	0,91**
T20	311	Rio Verde/GO	1,1070	0,983	0,94**
T21	107	Hidrolândia/GO	0,8795	3,224	0,93**
T22	82	Silvânia/GO	1,1250	2,077	0,95**
T23	157	Tupaciguara/MG	0,9259	1,247	0,66**
T24	177	Querência/MT	0,8927	0,316	0,94**
T25	208	Nova Mutum/MT	0,9682	1,333	0,93**

... Continua

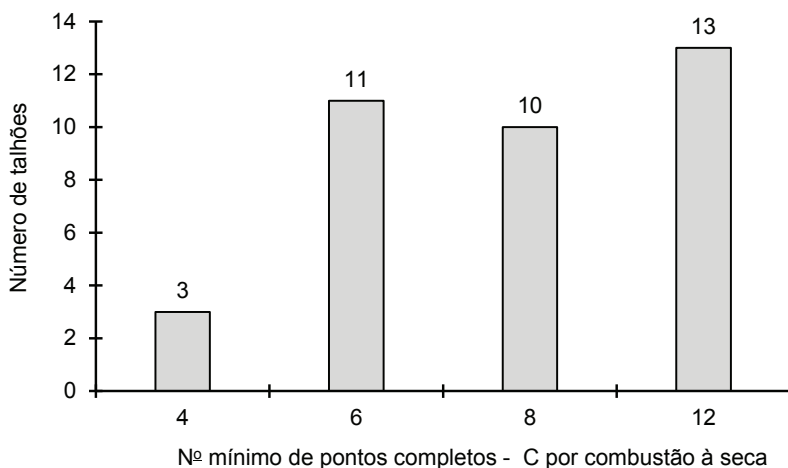
Tabela 1. Continuação

Talhão	Área (ha)	Município/Estado	Coefficiente angular	Intercepto	R <sup>2</sup>
T26	177	Santa Rita do Trivelato/MT	1,0991	1,328	0,94**
T27	221	Campo Novo do Parecis/MT	1,1643	- 0,342	0,94**
T28	198	Novo São Joaquim/MT	1,3690	- 1,924	0,93**
T29	210	Primavera do Leste/MT	0,8639	0,865	0,92**
T30	40	Juscimeira/MT	0,9526	1,188	0,83**
T31	88	Pedra Preta/MT	1,1203	1,965	0,98**
T32	224	Sapezal/MT	0,4298	4,042	0,13**
T33	149	Ipiranga do Norte/MT	1,1194	1,070	0,95**
T34	557	Santa Rita do Trivelato/MT	0,8599	1,618	0,93**
T35	434	Santa Rita do Trivelato/MT	0,8541	1,326	0,78**
T36	400	Campo Novo do Parecis/MT	1,1757	0,128	0,93**
T37	155	Palmeirante/TO	1,0721	0,677	0,73**
T38	180	Bom Jesus/PI	0,9490	1,032	0,93**
T39	408	Currais/PI	0,9412	0,680	0,81**
T40	254	Palmeira do Piauí/PI	1,0629	- 0,074	0,85**
T41	589	Ribeiro Gonçalves/PI	0,8952	0,790	0,90**
T42	46	Brejo/MA	0,9504	1,143	0,91**
T43	322	Parnarama/MA	0,8561	4,976	0,50**
T44	213	Magalhães de Almeida/MA	0,7447	1,345	0,78**

\*\* Equação estatisticamente significativa (teste F,  $p < 0,01$ ).

Visando reduzir os custos associados à calibração local entre os métodos, buscou-se definir o número mínimo de pontos completos com determinação do carbono por combustão à seca, necessário para estabilizar o erro (RMSE) da estimativa por regressão linear (Figura 2). A estabilização do RMSE ocorreu em 37 (84%) dos 44 talhões avaliados. Para 24 talhões, faz-se necessária a quantificação do carbono por combustão à seca em 4, 6 ou 8 pontos completos, o que representa intensidade amostral variável entre 20 e 40% dos pontos coletados. Para 13 (35%) dos 37 talhões em que houve estabilização do RMSE, o carbono deve ser quantificado pelo método de referência em pelo menos 12 pontos, representando uma intensidade amostral de 60% dos pontos.

Em geral, os resultados mostraram a necessidade de aprimoramento dos métodos de amostragem e de distribuição espacial dos pontos em que o carbono deve ser determinado pelos dois métodos, visando à calibração local. É possível que, com a alocação dos pontos de calibração em regiões do talhão delimitadas em função de características como o teor de argila e posição na paisagem (amostragem estratificada), o número necessário de amostras analisadas por combustão à seca seja significativamente reduzido, com a consequente diminuição dos custos de análise.



**Figura 2.** Frequência de talhões em função do número mínimo de pontos completos com determinação do teor de carbono pelo método de referência (combustão à seca) necessário para estabilização dos valores da **raiz do erro quadrático médio (RMSE)** da equação de regressão entre os métodos de quantificação de carbono no solo.

## Conclusão

Há forte relação linear global entre os teores de carbono determinados por oxidação via úmida e por combustão à seca, porém as equações variam expressivamente entre os talhões, o que requer calibração local entre os métodos. A calibração local entre os métodos, utilizando menor número de amostras de solo para quantificação do carbono por combustão seca, é possível na maioria das situações. Na maioria dos casos, a proporção de amostras com quantificação

do carbono pelo método de referência foi de 40 ou 60% do total, indicando a necessidade de aperfeiçoamento da metodologia, com foco na distribuição dos pontos de calibração considerando a variabilidade da área.

## Referências

- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p. 173-180.
- ĆIRIĆ, V.; MANOJLOVIĆ, M. S.; ŠVARC-GAJIĆ, J. Comparison, limitations and uncertainty of wet chemistry techniques, loss on ignition and dry combustion in soil organic carbon analysis. **Agrochimica**, v. 65, p. 295-314, 2021.
- DE VOS, B.; LETTENS, S.; MUYS, B.; DECKERS, J. A. Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 221-229, 2007.
- DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; CARNEVALLI, R. A.; HIRAKURI, M. H.; RUFINO, C. F. G.; NEPOMUCENO, A. L. **Diretrizes técnicas para certificação Soja Baixo Carbono - primeira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 58 p. (Embrapa Soja. Documentos, 457).
- DÍAZ-ZORITA, M. Soil organic carbon recovery by the Walkley-Black method in a typic hapludoll. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, p. 739-745, 1999.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. **An introduction to the bootstrap**. New York: Chapman & Hall, 1993. 436 p.
- FERNANDES, R. B. A.; CARVALHO JUNIOR, I. A.; RIBEIRO JUNIOR, E. S.; MENDONÇA, E. S. Comparison of different methods for the determination of total organic carbon and humic substances in Brazilian soils. **Revista Ceres**, v. 62, p. 496-501, 2015.
- FONTANA, A.; BIANCHI, S. R. Carbono e nitrogênio total: analisador elementar. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 4, p. 393-396.
- FONTANA, A.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. de C. **Protocolo para coleta de amostras e quantificação do carbono no solo da agricultura de baixo carbono**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024. 31 p. (Embrapa Solos. Documentos, 243).

MEERSMANS, J.; WESEMAEL, B. van; MOLLE, M. van. Determining soil organic carbon for agricultural soils: a comparison between the Walkley & Black and the dry combustion methods (north Belgium). **Soil Use and Management**, v. 25, p. 346-353, 2009.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 50, p. 885-900, 2007.

NEPOMUCENO, A. L.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; RUFINO, C. F. G.; DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, F. V.; MONTEIRO, R. A. C.; ALMEIDA, R. G. de; BUNGENSTAB, D. J.; DALL'AGNOL, V. F. D. **Soja Baixo Carbono**: um novo conceito de soja sustentável. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 11 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 100).

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 21 maio 2026.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L.; MADARI, B. E.; BENEDITO, L. E. C.; BUSATO, J. G.; SOUZA, D. M. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 302-308, 2014.

SHAMRIKOVA, E. V.; KONDRATENOK, B. M.; TUMANOVA, E. A.; VANCHIKOVA, E. V.; LAPTEVA, E. M.; ZONOVA, T. V.; LU-LYAN-MIN, E. I.; DAVYDOVA, A. P.; LIBOHOVA, Z.; SUVANNANG, N. Transferability between soil organic matter measurement methods for database harmonization. **Geoderma**, v. 412, article 115547, 2022. 11 p. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115547.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

20

# Avaliação de eYFP-uv no Monitoramento de Eventos Transgênicos em Soja no Sistema CRISPR/Cas

William Renan Godoy Reis<sup>(1)</sup>, João Matheus Kafer<sup>(2)</sup>; Rodrigo Thibes Hoshino<sup>(2)</sup>; Barbara Selhorst Nabhan<sup>(3)</sup>; Liliane Marcia Mertz-Henning<sup>(4)</sup>, Alexandre Lima Nepomuceno<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante de Agronomia, Centro Universitário Filadélfia, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR; <sup>(2)</sup> Bolsista Pós-Doc Faped/Embrapa Soja, Londrina, PR; <sup>(3)</sup> Mestranda, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR; <sup>(4)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

O avanço das Tecnologias Inovadoras de Melhoramento de Precisão (TIMPs) tem ampliado as possibilidades de desenvolvimento de cultivares superiores por meio da edição genômica (Freitas-Alves et al., 2025). No entanto, a aplicação dessas ferramentas em soja (*Glycine max*) ainda enfrenta limitações técnicas, principalmente devido à baixa eficiência dos processos de transformação e regeneração *in vitro*, especialmente em cultivares elite (Xu et al., 2022).

Além disso, a seleção de eventos transformados representa um gargalo significativo. O uso de marcadores baseados na resistência a herbicidas, como o gene *bar*, apresenta eficiência dependente da concentração do agente seletivo e das condições de cultivo, podendo resultar em “escapes”, ou seja, na sobrevivência de tecidos não transformados (Hada et al., 2016). Nesse contexto, mesmo após a transformação e regeneração de plantas, a confirmação da transgenia ainda requer análises moleculares (PCR) aumentando o custo e o tempo na obtenção dos eventos transgênicos (Xu et al., 2020).

Outro aspecto importante da edição de plantas no sistema CRISPR/Cas é a segregação de eventos editados não transgênicos. A edição somente ocorre após a inserção da maquinaria de edição no genoma da planta via transgenia (T0), todavia a edição e a transgenia segregam independentemente na geração seguinte (T1); este processo permite a seleção de eventos editados não transgênicos. A utilização de marcadores visuais facilita o avanço de gerações ao permitir a triagem visual na progênie T1, sem a necessidade de genotipagens

onerosas. Essa abordagem acelera a identificação de indivíduos transgênicos, e otimizam a seleção de linhagens editadas livres do DNA exógeno da maquinaria CRISPR/Cas.

Desta forma, o uso de proteínas fluorescentes, como a eYGF-uv, surge como uma alternativa promissora por permitir a identificação visual, precoce e não destrutiva de tecidos e sementes transgênicas (Shimizu et al., 2017; Parveez; Majid, 2018; Subedi; Schrick, 2022). Assim a utilização do eYGF-uv como marcador visual pode reduzir a ocorrência de escapes e minimizar a necessidade de genotipagens ao longo do processo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o marcador visual eYGF-uv em diferentes etapas da transformação de soja em sistema de edição via CRISPR/Cas.

## Material e Métodos

Foi utilizado o vetor CRISPR/Cas pGS76244, contendo no T-DNA os cassetes para expressão: do gene *BAR* (resistência ao glufosinato de amônio), nuclease Cas12, RNA-guia (Inserto), e gene que codifica para o marcador visual eYGF-uv, sob respectivos promotores constitutivos e terminadores de acordo com a Figura 1.



**Figura 1.** Mapa do T-DNA contendo o cassete de edição CRISPR/Cas12.

O plasmídeo foi sintetizado por empresa especializada, clonado em *Escherichia coli* (DH5 $\alpha$ ), e posteriormente introduzido em *Agrobacterium tumefaciens* (EHA105) por choque térmico, com seleção em meio contendo antibióticos adequados.

A transformação da cultivar elite de soja BRS 573 foi realizada via infecção de nó cotiledonar, de acordo com o protocolo descrito por Kanamori et al. (2017). O crescimento do inóculo bacteriano foi ajustado para densidade ótica de 0,6 - 0,9 (OD600), centrifugado e as células bacterianas ressuspensas em meio de co-cultivo suplementado com acetoseringona (0,2 mM).

Sementes pré-embebidas foram submetidas à excisão do eixo embrionário e injúria mecânica na região do nó cotiledonar para facilitar a infecção bacteriana. Após o co-cultivo (7 dias), os explantes foram

lavados e transferidos para meios de indução de multibrotamento (MIB1 e MIB2) por 15 dias cada, sob pressão seletiva de glufosinato de amônio (3 mg/L e 6 mg/L).

Explantos com multibrotações foram transferidos para meio de alongamento (MA), com subcultivos quinzenais. Brotações alongadas (>2 cm) foram submetidas ao enraizamento em meio ME. As plântulas enraizadas foram aclimatizadas em substrato de areia e vermiculita (1:1) e, posteriormente, transferidas para casa de vegetação até o final do ciclo.

A expressão do marcador eYGFp-uv foi avaliada por excitação ao comprimento de luz 365 nm, com lanterna UV (Alonefire® SV004, 10 W), ao longo das fases *in vitro* e *ex vitro*. A fluorescência foi utilizada para identificação visual de eventos transformados, discriminação de plantas “escape” e monitoramento da expressão da maquinaria de edição genômica. Os padrões de fluorescência foram registrados por documentação fotográfica.

## Resultados e Discussão

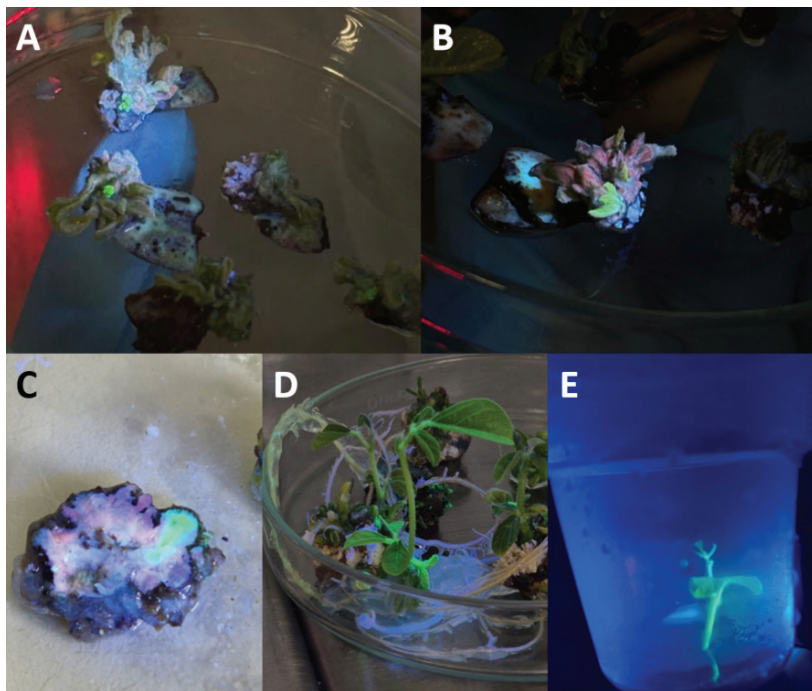
A integração do marcador eYGFp-uv no vetor pGS76244 permitiu o monitoramento em tempo real da presença da maquinaria de edição genômica. A fluorescência foi observada nas fases de indução de brotos (MIB1 e MIB2), alongamento (MA), enraizamento (ME) e desenvolvimento *ex vitro*.

Foram inoculados 283 explantes. Após a fase de indução inicial obteve-se 184 explantes apresentando múltiplas brotações em meio MIB1. Ao final da fase MIB2, 53 explantes apresentaram algum sinal de fluorescência associada à expressão do eYGFp-uv, correspondendo a aproximadamente 28,8% de explantes com qualquer sinal visual de transgenia.

Ao final de MIB2 os explantes sem fluorescência foram descartados, permitindo a eliminação precoce de eventos “escape” e redução na progressão de tecidos não transformados. Nas fases iniciais (MIB1 e MIB2), a fluorescência ocorreu em pequenas regiões dos explantes, indicando que a transformação ocorre de forma pontual e não homogênea (Figura 2A-B). Nesta etapa também se observou a formação de calos quiméricos com fluorescências internas, o que poderia ex-

plicar a presença de explantes com multibrotações não transgênicas se desenvolvendo em meio seletivo (Figura 2C).

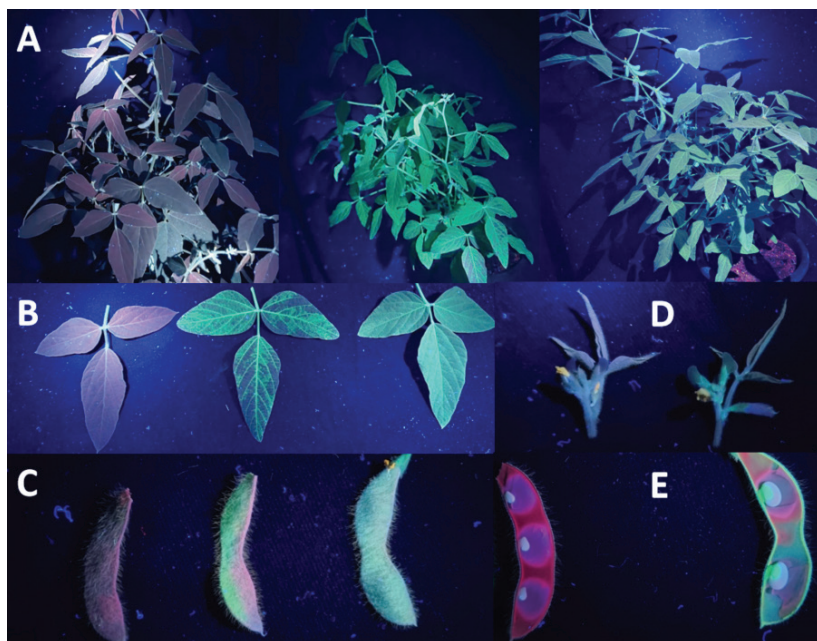
Durante a fase de alongamento (MA), a fluorescência permitiu a distinção entre brotações transgênicas e não transgênicas, permanecendo estável nos tecidos vegetativos ao longo de todo o desenvolvimento *in vitro* (Figura 2D-E).



**Figura 2.** Desenvolvimento de explantes transgênicos *in vitro* sob luz UV-365 nm. Pequenas brotações transgênicas se desenvolvendo em MIB1 (A); brotos transgênicos maiores em desenvolvimento em MIB2 (B); porção interna de um calo quimérico expressando eYFP-uv (C); brotação alongada em meio MA (D); plântula em meio de enraizamento (E).

Na fase *ex vitro*, quando as plantas estão sob luz branca ou natural, não é possível observar nenhuma diferença visível entre os eventos transgênicos e não transgênicos. Todavia em ambientes escuros sob iluminação UV-365 nm, foi possível discriminar três classes fenotípicas com base no padrão de fluorescência: plantas não transgênicas, quiméricas e totalmente transgênicas.

As plantas não transgênicas apresentam coloração avermelhada enquanto as plantas transgênicas exibem fluorescência verde e uniforme em todos os tecidos, podendo variar de intensidade conforme o evento gerado (Figura 3A). As plantas quiméricas apresentaram um padrão mosaico, variegado e bicolor vermelho e verde, tanto nas folhas quanto nas vagens (Figura 3B e 3C). A expressão do eYGF<sub>FP</sub>-uv, também pode ser observada em flores e nos embriões em desenvolvimento, demonstrando a manutenção da expressão ao longo do ciclo (Figura 3D e 3E).



**Figura 3.** Desenvolvimento *ex vitro* de: plantas (A), folhas (B) e vagens (C), não transgênicas, quiméricas e totalmente transgênicas. Flores (D) e sementes em desenvolvimento (E), não transgênicas e transgênicas, sob luz UV-365 nm.

Os resultados demonstram que a seleção baseada exclusivamente em herbicida não é suficiente para eliminar o desenvolvimento de plantas escape, e na ausência do marcador visual a genotipagem (PCR) é imprescindível, porém mesmo assim esta é incapaz de discriminar eventos quiméricos.

Em contraste, o uso do marcador eYGFP-uv permite a identificação visual, precoce e não destrutiva de eventos completamente positivos. Este marcador atua como um filtro contra plantas “escape”, que frequentemente sobrevivem à seleção química com glufosinato de amônio. Além da seleção precoce, a grande vantagem no contexto das TIMPs é a facilitação do avanço de geração. Essa estratégia não apenas reduz drasticamente os custos operacionais com PCR e extração de DNA, mas também acelera a “limpeza” do *background* genético da cultivar elite.

A utilização do eYGFP-uv apresenta vantagens estratégicas significativas quando comparada aos marcadores de seleção visual e histoquímica tradicionalmente empregados. Diferente do sistema GUS ( $\beta$ -glucuronidase), que resulta na morte do tecido, o eYGFP-uv permite uma triagem não destrutiva e em tempo real.

Embora sistemas baseados em pigmentação, como GmW1 e RUBY, permitam a identificação visual de eventos transformados (Chen et al., 2023, 2024), sua eficiência pode variar. Em relação ao RUBY, que depende da expressão coordenada de três genes (betalaínas), o eYGFP-uv destaca-se pela sua simplicidade genômica e menor carga metabólica para a célula vegetal, sendo um cassete único e compacto. Além disso, marcadores como dsRed2 e a eGFP convencional exigem sistemas de iluminação e filtros de emissão específicos de alto custo para a sua visualização (Yan et al., 2026).

Em contraste, a variante eYGFP-uv é otimizada para detecção sob luz ultravioleta de amplo espectro (365 nm), permitindo o uso de dispositivos de baixo custo, como lanternas portáteis de LED UV, possibilitando triagem rápida e não destrutiva ao longo do processo.

Esses resultados reforçam a importância de marcadores visuais no monitoramento da transformação vegetal. Conforme demonstrado por Yuan et al. (2021), a utilização do eYGFP-uv foi incorporada com sucesso na transformação por organogênese indireta de calos de *Arabidopsis*, tabaco e papoula. Nossos resultados demonstraram também a viabilidade do marcador visual na transformação estável via organogênese direta de cultivares elite de soja.

## Conclusão

A aplicação do eYGFp-uv integrada ao protocolo de transformação e edição genômica no sistema CRISPR/Cas representa uma estratégia eficiente para reduzir a ocorrência de escapes e otimizar a seleção de eventos transformados em soja.

## Referências

- CHEN, L.; CAI, Y.; LIU, X.; YAO, W.; WU, S.; HOU, W. The RUBY reporter for visual selection in soybean genome editing. **aBIOTECH**, v. 5, p. 209-213, 2024. DOI: 10.1007/s42994-024-00148-6.
- CHEN, L.; YUAN, S.; CAI, Y.; YAO, W.; SU, Q.; CHEN, Y.; ZHANG, J.; HOU, W. See the color, see the seed: GmW1 as a visual reporter for transgene and genome editing in soybean. **The Crop Journal**, v. 11, p. 311-315, 2023. DOI: 10.1016/j.cj.2022.07.004.
- FREITAS-ALVES, N. S.; MOREIRA-PINTO, C. E.; TÁVORA, F. T. P. K.; PAES-DE-MELO, B.; ARRAES, F. B. M.; LOURENCO, I. T.; MOURA, S. M.; OLIVEIRA, A. C.; MORGANTE, C. V.; QI, Y.; SA, M. F. G. de. CRISPR/Cas genome editing in soybean: challenges and new insights to overcome existing bottlenecks. **Journal of Advanced Research**, v. 73, p. 53-72, 2025. DOI: 10.1016/J.JARE.2024.08.024.
- HADA, A.; KRISHNAN, V.; PUNJABI, M.; BASAK, N.; PANDAY, V.; JEEVARAI, T.; MARATHE, A.; GUPTA, A. K.; JOLLY, M.; KUMAR, A.; DAHUJA, A.; MANICKAVASAGAM, M.; GANAPATHI, A.; SACHDEV, A. Refined glufosinate selection and its extent of exposure for improving the *Agrobacterium*-mediated transformation in Indian soybean (*Glycine max*) genotype JS-335. **Plant Biotechnology**, v. 33, n. 5, p. 341-350, 2016. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.15.0901a.
- KANAMORI, N.; MERTZ-HENNING, L. M.; MARIN, S. R. R. **Metodologia para transformação de soja via *Agrobacterium tumefaciens***. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 6 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 128).
- PARVEEZ, G. K. A.; MAJID, N. A. Green fluorescent protein as a visual selection marker for oil palm transformation. **Industrial Crops and Products**, v. 115, p. 134-145, 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.02.016.
- SHIMIZU, A.; SHIRATORI, I.; HORII, K.; WAGA, I. Molecular evolution of versatile derivatives from a GFP-like protein in the marine copepod *Chiridius poppei*. **PLoS One**, v. 12, e0181186, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0181186.

SUBEDI, B.; SCHRICK, K. EYFP fusions to HD-Zip IV transcription factors enhance their stability and lead to phenotypic changes in *Arabidopsis*. **Plant Signaling & Behaviour**, v. 17, 2119013, 2022. DOI: 10.1080/15592324.2022.2119013.

XU, H.; GUO, Y.; QIU, L.; RAN, Y. Progress in soybean genetic transformation over the last decade. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 900318, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.900318.

XU, H.; ZHANG, L.; ZHANG, K.; RAN, Y. Progresses, challenges, and prospects of genome editing in soybean (*Glycine max*). **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 571138, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.571138.

YAN, T.; QIAN, X.; PAN, H.; HAN, J.; WANG, Q.; LIU, C.; GUO, D.; LIU, X. From seed to whole plant: An innovative visual marker system to enhance selection efficiency in soybean genome editing. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 25, p. 820-823, 2026. DOI: 10.1016/j.jia.2025.06.010.

YUAN, G.; LU, H.; TANG, D.; HASSAN, M. M.; LI, Y.; CHEN, J. G.; TUSKAN, G. A.; YANG, X. Expanding the application of a UV-visible reporter for transient gene expression and stable transformation in plants. **Horticulture Research**, v. 8, 234, 2021. DOI: 10.1038/s41438-021-00663-3.

21

# Prospecção de formulações industriais à base de óleos essenciais para controle de fungos fitopatogênicos à soja

Renata Letícia Michalak<sup>(1)</sup>, Claudine Dinali Santos Seixas<sup>(3)</sup>, Guilherme Julião Zocolo<sup>(3)</sup>, Gisele Gonçalves Pozzobom Fantinato<sup>(2)</sup>, Leandro Eugênio Cardamone Diniz<sup>(3)</sup>, Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Estudante de Agronomia, Universidade Norte do Paraná, Bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. <sup>(2)</sup>Analista, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(3)</sup>Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

## Introdução

Os fungos fitopatogênicos representam um dos principais obstáculos à produtividade agrícola, causando perdas significativas em culturas de importância econômica e exigindo estratégias de manejo cada vez mais eficientes e compatíveis com os princípios da agricultura moderna. Nesse contexto, os óleos essenciais de origem vegetal têm se destacado como alternativas promissoras no controle de fitopatógenos, em razão das suas propriedades antimicrobianas.

Esses compostos naturais apresentam substâncias bioativas capazes de interferir no crescimento, no desenvolvimento e na sobrevivência de diversos microrganismos patogênicos. Os mecanismos dos óleos essenciais incluem a ruptura da membrana, levando ao aumento da permeabilidade, a inibição da produção de energia, a disfunção proteica, a interferência com ácidos nucleicos (DNA/RNA) e a interferência com outros processos celulares, como mecanismos de virulência (por exemplo, formação de biofilme e produção de toxinas) (El-Sakhawy et al., 2026). A eficiência desses óleos está relacionada à composição química, à concentração utilizada e à sensibilidade do microrganismo alvo (Hillen et al., 2012). Além disso, os óleos essenciais têm despertado crescente interesse como fontes de metabólitos bioativos com potencial antifúngico, por causa da sua diversidade química, dos múltiplos mecanismos de ação e da origem natural. Destacam-se, também, por apresentarem menor impacto ambiental e menor toxicidade residual. Essas características tornam os óleos

essenciais promissores como complemento a outras estratégias de manejo de doenças em plantas (Bakkali et al., 2008).

No entanto, sua aplicação agrícola é frequentemente limitada por características como a volatilidade, a baixa solubilidade em água, a instabilidade oxidativa e a dificuldade de padronização em condições industriais (Antunes; Cavaco, 2010). A formulação industrial de óleos essenciais constitui uma etapa crítica para superar essas limitações, permitindo transformar matrizes naturais complexas em sistemas tecnologicamente viáveis, estáveis e biologicamente ativos.

O objetivo deste estudo foi avaliar a atividade antifúngica de formulações industriais à base de óleos essenciais, desenvolvidas pela Embrapa, contra fungos fitopatogênicos de relevância agrícola para a soja.

## Material e Métodos

Esse trabalho é fruto da parceria entre o Laboratório de Ecologia Química e o Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Soja (Londrina-PR), onde a atividade aqui relatada foi desenvolvida.

Foram avaliadas 16 formulações industriais à base de óleos essenciais desenvolvidas pela Embrapa. Essas formulações foram testadas para controle dos seguintes fungos da Coleção de Microrganismos de Interesse para a Agricultura da Embrapa Soja (CMES): CMES 2159 - *Cercospora* sp. (crestamento de *Cercospora* e mancha-púrpura); CMES 1080 - *Colletotrichum truncatum* (antracnose); CMES 980 - *Corynespora cassiicola* (mancha-alvo); CMES 04 - *Neocosmospora phaseoli* (podridão vermelha da raiz); CMES 2129 - *Macrophomina phaseolina* (podridão de carvão); CMES 1796 - *Rhizoctonia solani* (tombamento e morte em reboleira de *Rhizoctonia*) e CMES 2250 - *Sclerotinia sclerotiorum* (mofo-branco).

O método utilizado foi o bioanalítico *in vitro* observando o desenvolvimento dos fungos na presença das formulações de óleos essenciais. Os fungos fitopatogênicos foram cultivados em meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar) por sete dias a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

Em placas de Petri estéreis foram adicionados 100 µL de cada formulação de óleo essencial. Em seguida, verteu-se o meio de cultura

BDA previamente resfriado a, aproximadamente, 50 °C, promovendo a homogeneização da formulação com auxílio de uma alça de Drigalski, a fim de garantir a distribuição uniforme da formulação do óleo essencial no meio de cultura. Posteriormente, um disco de micélio fúngico com 5 mm de diâmetro foi transferido para o centro de cada placa. Placas contendo somente o fitopatógeno foram utilizadas como controle. As placas de Petri, em triplicata, foram mantidas em câmara de crescimento por sete dias, sob temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 h.

Após o período de incubação, realizou-se a medição do crescimento micelial dos fitopatógenos na ausência e na presença das formulações de óleos essenciais adicionados ao meio de cultura. A zona de inibição do crescimento micelial (ZI) foi calculada, com base no método descrito por Campanile et al. (2007), utilizando a seguinte expressão:

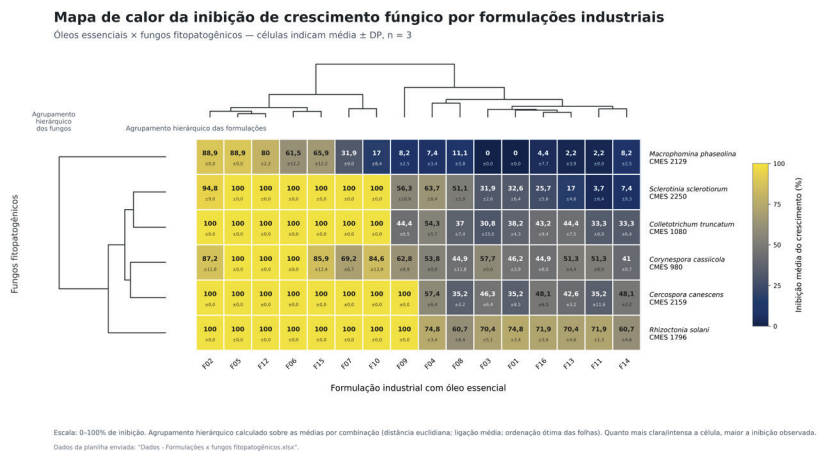
$$ZI\% = \frac{(N1 - N2) \times 100}{N1}$$

Sendo, N1 o raio do micélio da testemunha e N2 o raio do micélio na presença da formulação do óleo essencial.

Nesse estudo, a análise quimiométrica por mapa de calor foi empregada como ferramenta exploratória para visualizar padrões de inibição do crescimento micelial dos diferentes fungos fitopatogênicos frente às formulações desenvolvidas pela Embrapa. O mapa de calor (Heatmap) foi realizado no ambiente Python, utilizando uma abordagem quimiométrica exploratória, baseada em agrupamento hierárquico aglomerativo.

## Resultados e Discussão

As formulações industriais à base de óleos essenciais testadas apresentaram efeito variável sobre os fungos. O mapa de calor da inibição do crescimento fúngico, apresentado na Figura 1, evidenciou uma organização multivariada das formulações desenvolvidas pela Embrapa.



**Figura 1.** Mapa de calor da inibição do crescimento de fungos fitopatogênicos por formulações industriais à base de óleos essenciais desenvolvidas pela Embrapa. As células representam a média ± desvio padrão de três repetições para cada combinação fungo × formulação. A escala cromática indica a intensidade da inibição.

As formulações F05, F12 e F06 resultaram em 100% de inibição do crescimento da maioria dos fungos, exceção apenas para *Macrophomina phaseolina*. Mas, as formulações F05 e F12 se destacaram também para esse fungo, com os maiores níveis de inibição, 88,9% e 80%, respectivamente, juntamente com a F02, também com 88,9% de inibição (Figura 1).

Outras formulações resultaram em 100% de inibição para os diversos fungos. Para *Sclerotinia sclerotiorum* se destacaram F15, F07 e F10, além das três formulações já mencionadas (F05, F12 e F06). Aqui cabe ressaltar que a formulação F02 inibiu 94,9% do crescimento desse fungo. Para *Colletotrichum truncatum* destacaram-se ainda, F02, F15, F07 e F10. E, para *Cercospora sp.* e *Rhizoctonia solani* destacaram-se F02, F15, F07, F10 e F09. Para *Corynespora cassiicola*, apenas as três formulações citadas anteriormente (F05, F12 e F06) resultaram em 100% de inibição do crescimento. Mas a formulação F02 teve bom desempenho, com 87,2% de inibição do crescimento desse fungo (Figura 1).

A análise das médias obtidas a partir de três repetições por combinação formulação × fungo distinguiu um núcleo de formulações de amplo espectro, com atividade intensa e estável, de um conjunto de

respostas intermediárias ou fortemente dependentes do patógeno. Esse padrão indica que a atividade antifúngica não se distribuiu aleatoriamente, mas sim refletiu diferenças consistentes de potência, robustez e especificidade biológica entre os sistemas formulados. O agrupamento hierárquico evidencia um bloco de formulações de amplo espectro, com destaque para F02, F05 e F12, além de revelar *Macrophomina phaseolina* como o patógeno mais resistente do painel experimental.

## Conclusão

As formulações, F02, F05 e F12, emergem como candidatas prioritárias ao desenvolvimento tecnológico por combinarem amplo espectro, alta intensidade de inibição e desempenho contra o patógeno mais resistente do painel.

## Referências

- ANTUNES, M. D. C.; CAVACO, A. M. The use of essential oils for postharvest decay control: a review. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 25, p. 351-366, 2010.
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils - a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446-475, 2008.
- CAMPANILE, G.; RUSCELLI, A.; LUISI, N. Antagonistic activity of endophytic fungi towards *Diplodia corticola* assessed by in vitro and in plant tests. **European Journal of Plant Pathology**, v. 117, p. 237-246, 2007.
- EL-SAKHAWY, M.; DONIA, A. R. M.; JURAYBI, T. N.; ATEYA, A. A. S.; OSMAN, W.; ABD-ELGHANY, A. A.; SOLIMAN, M. M.; KOBISI, A. N. A.; BALAH, M. A. Action mechanism of essential oils or their components against pathogenic bacteria: literature review. **International Journal of Microbiology**, v. 2026, 7468450, 2026. 19 p. DOI: 10.1155/ijm/7468450.
- HILLEN, T.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; MESQUINI, R. M.; STANGARLIN, J. R.; NOZAKI, M. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais no controle de alguns fitopatógenos fúngicos in vitro e no tratamento de sementes. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 439-445, 2012.

**Embrapa**

---

*Soja*