

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ**

PEDRO LUCAS GODOI DE MELO

**EFEITOS DE ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS
NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA**

**URUTAÍ - GOIÁS
2025**

PEDRO LUCAS GODOI DE MELO

**EFEITOS DE ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS
NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA**

Trabalho de Curso apresentado ao IF Goiano
Campus Urutaí como parte das exigências do
Curso de Graduação em Agronomia para
obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor de
Azevedo Pereira.

URUTAÍ - GOIÁS
2025

PEDRO LUCAS GODOI DE MELO

**EFEITOS DE ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS
NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA**

Monografia apresentada ao IF
Goiano Campus Urutaí como parte
das exigências do Curso de
Graduação em Agronomia para
obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Aprovada em 22 de dezembro de 2025



Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira
(Orientador e Presidente da Banca Examinadora)
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí.



Profª. Drª. Carmen Rosa da Silva Curvêlo
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí



Dr. João Batista Coelho Sobrinho
Bolsista Pós-Doc
Centro de Excelência em Bioinsumos
CEBIO

URUTAÍ - GOIÁS
2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M528 Melo, Pedro Lucas Godoi de
 EFEITOS DE ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE
 FUNGICIDAS NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA
 / Pedro Lucas Godoi de Melo. Urutai 2025.

27f. il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira.
Tec (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120024 -
Bacharelado em Agronomia - Urutai (Campus Urutai).
I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

PEDRO LUCAS GODOI DE MELO

Matrícula:

2021101200240140

Título do trabalho:

EFEITOS DE ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 31 / 01 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

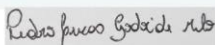
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí, Goiás

Local

13 / 01 / 2026

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO**

Campus Urutaí - Código INEP: 52063909

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, CEP 75790-000, Urutaí (GO)

CNPJ: 10.651.417/0002-59 - Telefone: (64) 3465-1900

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **Efeitos de estratégias de aplicação de fungicidas no desempenho agrônômico da soja**, sob orientação de Alexandre Igor de Azevedo Pereira, apresentada pelo aluno **Pedro Lucas Godoi de Melo (2021101200240140)** do Curso **Bacharelado em Agronomia (Campus Urutaí)**. Os trabalhos foram iniciados às 14:00 pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Alexandre Igor de Azevedo Pereira** (Presidente)
- **Carmen Rosa da Silva Curvelo** (Examinadora Interna)
- **João Batista Coelho Sobrinho** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

[X] Aprovado

[] Reprovado

Nota (quando exigido): 9,0

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Alexandre Igor de Azevedo Pereira** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Carmen Rosa da Silva Curvelo

URUTAÍ / GO, 22 de dezembro de 2025.

Alexandre Igor de Azevedo Pereira**João Batista Coelho Sobrinho**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e família, que me apoiaram e me deram suporte no decorrer do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder saúde e força para superar os desafios enfrentados. Meu reconhecimento vai também para meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira, pelo apoio nas correções e pelos incentivos recebidos. Ao IF Goiano pelo suporte institucional e acadêmico que foi crucial durante o meu percurso. A todos professores pelos valiosos ensinamentos compartilhados. A minha família pelo amor, apoio e encorajamento incondicional; sem vocês, esta conquista não teria sido possível. Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

EFEITOS DE ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

Pedro Lucas Godoi de Melo¹

⁽¹⁾ Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, Rodovia Prof. Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, CEP 75790-000 Urutaí, GO, Brasil. E-mail: pedro.melo@estudante.ifgoiano.edu.br

RESUMO - O manejo adequado de fungicidas é essencial para garantir o desempenho agronômico da soja, especialmente sob pressão de doenças foliares. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes estratégias de aplicação de fungicidas sobre variáveis morfológicas, reprodutivas e produtivas da soja, por meio de Modelos Lineares Mistos (REML), Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Trilha com regularização Ridge. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos (três manejos comerciais BASF e um manejo Fazenda) e quatro repetições. O manejo BASF 2 apresentou o maior rendimento médio (66,31 sc ha⁻¹), superando BASF 1 em +19,8%, BASF 3 em +14,0% e o manejo Fazenda em +7,6%. As análises indicaram que o número de grãos por planta (NGP) e o número total de vagens (NTV) foram as variáveis mais determinantes do rendimento, com efeitos diretos positivos também para NV3G e AP, e negativos para DC e NV1G. Os dois primeiros eixos da PCA explicaram 67,8% da variabilidade total, posicionando BASF 2 como o manejo de maior eficiência reprodutiva. Embora não tenha havido mensuração direta da severidade de doenças, os resultados demonstram que a combinação de múltiplos modos de ação potencializa a produtividade e melhora o equilíbrio morfofisiológico da cultura. Novos trabalhos devem ser conduzidos em diferentes ambientes e cultivares para confirmar a consistência desses efeitos e aperfeiçoar recomendações de manejo.

Palavras-chave: *Glycine max*, fungicidas, produtividade, modelos mistos, análise multivariada.

EFFECTS OF FUNGICIDE APPLICATION STRATEGIES ON SOYBEAN AGRONOMIC PERFORMANCE

Pedro Lucas Godoi de Melo¹

⁽¹⁾ Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, Rodovia Prof. Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, CEP 75790-000 Urutaí, GO, Brasil. E-mail: pedro.melo@estudante.ifgoiano.edu.br

ABSTRACT - Proper fungicide management is essential to ensure soybean agronomic performance, especially under foliar disease pressure. This study aimed to evaluate the impact of different fungicide application strategies on soybean morphological, reproductive, and yield-related variables using Linear Mixed Models (REML), Principal Component Analysis (PCA), and Path Analysis with Ridge regularization. The experiment was conducted in a randomized complete block design, with four treatments (three BASF commercial programs and one farm-based program) and four replications. The BASF 2 program achieved the highest mean yield (66.31 bags ha⁻¹), outperforming BASF 1 by +19.8%, BASF 3 by +14.0%, and the farm program by +7.6%. Analyses indicated that the number of grains per plant (NGP) and the total number of pods (NTV) were the most decisive variables for yield, with additional positive direct effects for NV3G and AP, and negative effects for DC and NV1G. The first two PCA axes explained 67.8% of the total variability, positioning BASF 2 as the most reproductively efficient program. Although disease severity was not directly measured, the results show that combining multiple modes of action enhances productivity and improves the crop's morphophysiological balance. Further studies should be conducted across different environments and cultivars to confirm the consistency of these effects and refine management recommendations.

Key-words: *Glycine max*, fungicides, productivity, mixed models, multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

A soja ocupa posição central na agricultura mundial, sendo fonte estratégica de proteína e óleo vegetal. No Brasil, a cultura responde por grande parte da renda agrícola, mas enfrenta limitações de produtividade decorrentes de fatores bióticos e abióticos. Segundo Balbinot Junior et al. (2017), a expansão da área cultivada entre 1997 e 2016 foi acompanhada por aumentos expressivos na produtividade, resultado de avanços genéticos e no manejo agrônomo. No entanto, ganhos sustentáveis dependem do controle eficiente de doenças e da adoção de práticas que favoreçam os componentes reprodutivos da planta.

Entre os estresses bióticos, as doenças foliares de final de ciclo e a ferrugem asiática destacam-se como os principais entraves à produtividade. Godoy et al. (2024) demonstram que a aplicação de fungicidas continua sendo uma das estratégias mais eficazes para mitigar perdas, especialmente quando combina modos de ação distintos. Melo et al. (2025) reforçam esse ponto, mostrando que misturas duplas e triplas mantêm desempenho satisfatório mesmo após anos de uso contínuo, indicando que a diversificação química é fundamental para prolongar a eficiência do manejo.

Ainda assim, a resposta da soja ao uso de fungicidas é variável. Bandara et al. (2020), modelaram a relação entre aplicação de fungicidas e perdas associadas a doenças, verificando que o benefício em rendimento depende da intensidade da pressão fúngica. De forma semelhante, Bergman et al. (2021) observaram que fungicidas, quando associados a inseticidas e fertilizantes foliares, podem contribuir não apenas para maior produtividade, mas também para a manutenção da área foliar verde por mais tempo.

No entanto, a simples aplicação de fungicidas não garante incrementos consistentes se os componentes do rendimento não forem favorecidos. Rocha et al. (2020) destacam, em análise de trilha, que variáveis como número de vagens por planta e número de grãos por vagem apresentam maior efeito direto sobre a produtividade, enquanto características vegetativas possuem influência secundária. Resultados semelhantes foram encontrados por Craveiro et al. (2024), que compararam cultivares em áreas de abertura e consolidadas, confirmando que diferenças de rendimento estão mais relacionadas a atributos reprodutivos do que a características de crescimento vegetativo.

O entendimento da contribuição relativa de variáveis vegetativas e reprodutivas pode ser aprimorado por análises multivariadas. Galvão et al. (2021) ressaltam que a eficiência de aplicações agrícolas, incluindo o uso de adjuvantes em fungicidas, depende da correta interpretação de parâmetros morfofisiológicos. Nesse contexto, ferramentas

estatísticas robustas, como os modelos mistos generalizados (GLMM), a análise de componentes principais (PCA) e a análise de trilha, permitem decompor efeitos diretos e indiretos, oferecendo maior clareza sobre quais variáveis devem ser priorizadas.

Além disso, fatores ambientais e edáficos exercem papel determinante na expressão do potencial produtivo. O solo do Cerrado, onde se concentram grandes áreas de soja no Brasil, apresenta limitações químicas e físicas que exigem correções e manejo adequado. De acordo com Embrapa (2009), a fertilidade do solo deve ser monitorada constantemente, enquanto práticas de manejo integrado de pragas (Quintela, 2001) e de plantas daninhas (Cobucci et al., 1999) complementam o pacote tecnológico. As condições climáticas, como descritas por Köppen & Geiger (1936), também modulam a severidade de doenças e a eficiência das aplicações.

Em síntese, os resultados de diferentes autores convergem para a ideia de que a produtividade da soja está ancorada na interação entre manejo fitossanitário, condições ambientais e expressão dos componentes reprodutivos. Castaldo et al. (2023) mostraram que a associação de fungicidas protetores e curativos aumenta o controle da ferrugem asiática e gera ganhos produtivos significativos. Ferreira et al. (2019) destacam ainda que práticas nutricionais equilibradas favorecem a expressão morfológica adequada da planta, potencializando o efeito de práticas sanitárias. Nesse sentido, o presente trabalho busca avaliar o impacto de diferentes manejos de fungicidas sobre o desempenho agrônômico da soja, utilizando análises estatísticas tradicionais e multivariadas para identificar as variáveis-chave associadas ao rendimento.

Embora não tenha sido realizada a quantificação direta da severidade de doenças, este estudo concentrou-se em avaliar os reflexos das estratégias de aplicação sobre variáveis morfológicas, reprodutivas e produtivas, entendidas como os desfechos de maior relevância prática para o agricultor.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido na Fazenda Morro do Peão (17° 17' 59" S latitude, 48° 16' 46" W longitude e 758 m de altitude), pertencente ao Grupo Agrícola Santinoni na zona rural de Urutaí, sudeste do estado de Goiás, Brasil. A temperatura média durante o período experimental foi de $26,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$, com umidade relativa do ar de $65 \pm 10\%$.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada parcela foi composta por oito linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m,

totalizando área útil de 18 m². O semeio ocorreu em 23 de outubro de 2023 e a colheita em 15 de fevereiro de 2024. O material genético utilizado foi CZ37B43, em população de 260 mil plantas por hectare. Foram avaliados quatro manejos de fungicidas: um manejo Fazenda (MF) e três manejos Basf (BASF1, BASF2 e BASF3), com aplicações sequenciais nos estádios fenológicos V4, R1, R3 e R5 (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos, na cultura da soja sob manejos de fungicida.

Tratamento	Nome comercial	L/ha	Fenologia	Data de aplicação
BASF 1	Abacus [®] + Mees [®]	0,3 + 0,5	V4	30 de nov
	Belyan [®] + clorotalonil [®] + Mees [®]	0,6 + 1,2 + 0,5	V4 + 15	18 de dez
	Blavity [®] + Mancozeb [®] + Mees [®]	0,25 + 1,5 + 0,25	V4 + 30	03 de jan
	Keyra [®] + Mancozebe [®] + Mees [®]	0,5 + 0,5 + 0,25	V4 + 45	18 de jan
BASF 2	Testemunha	0,3 + 0,5	V4	30 de nov
	Belyan [®] + clorotalonil [®] + Mees [®]	0,6 + 1,2 + 0,5	V4 + 15	18 de dez
	Blavity [®] + Mancozeb [®] + Mees [®]	0,25 + 1,5 + 0,25	V4 + 30	03 de jan
	Keyra [®] + Mancozebe [®] + Mees [®]	0,5 + 0,5 + 0,25	V4 + 45	18 de jan
BASF 3	Score Flex	0,3 + 0,5	V4	30 de nov
	Belyan [®] + clorotalonil [®] + Mees [®]	0,6 + 1,2 + 0,5	V4 + 15	18 de dez
	Blavity [®] + Mancozeb [®] + Mees [®]	0,25 + 1,5 + 0,25	V4 + 30	03 de jan
	Keyra [®] + Mancozebe [®] + Mees [®]	0,5 + 0,5 + 0,25	V4 + 45	18 de jan
Fazenda	Score Flex	0,3 + 0,5	V4	30 de nov
	AgroÓleo [®] + Evolution [®] + Sintronela [®]	0.25 + 2 + 0.2	V4 + 15	18 de dez
	AgroÓleo [®] + Tridium [®] + Sintronela [®]	0.2 + 1.75 + 0.2	V4 + 30	03 de jan
	AgroÓleo [®] + Echo [®] + Cypress [®]	0.2 + 1.5 + 0.3	V4 + 45	18 de jan

Antes da semeadura foi realizada dessecação em pré-plantio (Cobucci et al., 1999). A adubação constou da aplicação de 173 kg ha⁻¹ de MAP (09-52-00) no sulco de semeadura e 150 kg ha⁻¹ de KCl em cobertura, parcelados em 50% no pré-plantio e 50% aos 20 dias após a emergência. O controle de plantas daninhas, pragas e insetos foi realizado conforme a necessidade, respeitando os princípios do manejo integrado (Quintela, 2001).

As aplicações de fungicidas foram realizadas com pulverizador costal pressurizado por CO₂, mantido a pressão constante de 30 lb pol⁻² (psi), equipado com

barra contendo bicos de jato plano XR 110.02, espaçados a 0,50 m. O volume de calda utilizado foi de 150 L ha⁻¹, assegurando cobertura uniforme das plantas e reprodutibilidade entre as parcelas.

Ao final do ciclo, foram coletadas 30 plantas ao acaso na área útil de cada parcela, as quais foram utilizadas para a determinação das seguintes características agronômicas: número de ramos laterais (NRL, unidade planta⁻¹), número de nós na haste principal (NNH, unidade planta⁻¹), número de vagens com um grão (NV1G, unidade planta⁻¹), dois grãos (NV2G, unidade planta⁻¹), três grãos (NV3G, unidade planta⁻¹) e quatro grãos (NV4G, unidade planta⁻¹), número total de vagens por planta (NTV, unidade planta⁻¹), número de grãos por planta (NGP, unidade planta⁻¹), número médio de grãos por vagem (GPV, unidade vagem⁻¹), diâmetro do caule (DC, mm), altura da planta (AP, cm) e rendimento de grãos (REN, sc ha⁻¹).

Os dados experimentais foram inicialmente submetidos à estatística descritiva, com o cálculo das médias e dos intervalos de confiança a 95% (IC95%) para cada variável agronômica por tratamento, permitindo uma avaliação preliminar da variabilidade e tendências nos dados. Na sequência, estimou-se o poder estatístico por meio de simulações de Monte Carlo, considerando diferentes tamanhos amostrais (número de repetições por tratamento). Para cada variável, foi calculada a probabilidade de detecção de efeitos significativos ao nível de $\alpha = 0,05$, sendo identificado o menor número de repetições necessário para atingir 80% de poder estatístico (n_{80}).

Para a avaliação do efeito dos tratamentos sobre o rendimento e as variáveis morfológicas, foram ajustados modelos lineares mistos generalizados (GLMM), considerando o tratamento como efeito fixo e o bloco como efeito aleatório, de acordo com a estrutura:

$$g(E[Y_{ij}]) = \mu + \tau_i + b_j + \varepsilon_{ij},$$

A significância dos efeitos fixos foi testada por meio do teste da razão de verossimilhança (LRT), obtido pela comparação entre o modelo completo (com o efeito de interesse) e o modelo reduzido (sem o efeito). A magnitude da contribuição de cada variável foi expressa pelo pseudo-R² parcial do tipo Cox & Snell, calculado conforme:

$$R^2_{\text{parcial}} = 1 - \exp \left[-\frac{2}{n} (l_{\text{completo}} - l_{\text{reduzido}}) \right]$$

Em seguida, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA), com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar padrões multivariados. O modelo geral da PCA pode ser expresso por:

$$Z = X \cdot P \cdot A$$

Decomposição da matriz de covariância dos dados foi dada por:

$$S = P \cdot \Lambda \cdot P^T$$

Foi conduzida uma análise de trilha com regularização Ridge para estimar os efeitos diretos padronizados (β ridge) das variáveis explicativas sobre o rendimento de grãos (REN). Essa abordagem corrige a multicolinearidade entre os componentes agronômicos por meio da adição de um parâmetro de penalização λ à matriz de correlação entre as variáveis independentes (R_{xx}). O modelo ridge utilizado é expresso por:

$$\beta_{ridge} = (R_{xx} + \lambda^* I)^{-1} r_{xy}$$

Esse procedimento permitiu obter estimativas estáveis, consistentes e interpretáveis dos efeitos diretos das variáveis sobre o rendimento de grãos, eliminando a influência da multicolinearidade. Todas as análises foram realizadas no ambiente estatístico R (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva das variáveis revelou diferenças consistentes entre os tratamentos. A altura de plantas (AP) foi superior em Basf 2 (79,77 cm), enquanto Basf 1 apresentou o menor valor (75,68 cm). O diâmetro de colmo (DC) variou pouco, destacando-se Basf 2 (0,55 cm) em relação a Basf 3 (0,51 cm). A quantidade de grãos por vagem (GPV) manteve-se estável, variando de 2,72 a 2,82 grãos vagem⁻¹ (BASF 3 e Fazenda, respectivamente). O número de grãos por planta (NGP) foi maior em Basf 2 (110,8), assim como o número de nós na haste principal (NNH) (12,73) e o número de ramos laterais (NRL) (1,73), enquanto Basf 1 apresentou os menores valores nessas variáveis. O número total de vagens (NTV) seguiu o mesmo padrão, com destaque para Basf 2 (40,35) em comparação a Basf 1 (34,58) (Figura 1).

A distribuição de número de vagens por grão também variou entre os tratamentos: Basf 3 apresentou maior média em NV1G (2,27), Basf 2 destacou-se em NV2G (9,19) e NV3G (26,37), e o tratamento Fazenda obteve o melhor desempenho em NV4G (3,53). Quanto ao rendimento (REN), Basf 2 apresentou a maior produtividade média (66,31 sc ha⁻¹), seguido de Fazenda (61,60 sc ha⁻¹), Basf 3 (58,16 sc ha⁻¹) e Basf 1 (55,36 sc ha⁻¹). De forma geral, os resultados confirmam a superioridade do tratamento Basf 2, com desempenho superior nas variáveis de desenvolvimento vegetativo e produtivo, refletindo diretamente em maior rendimento médio (Figura 1).

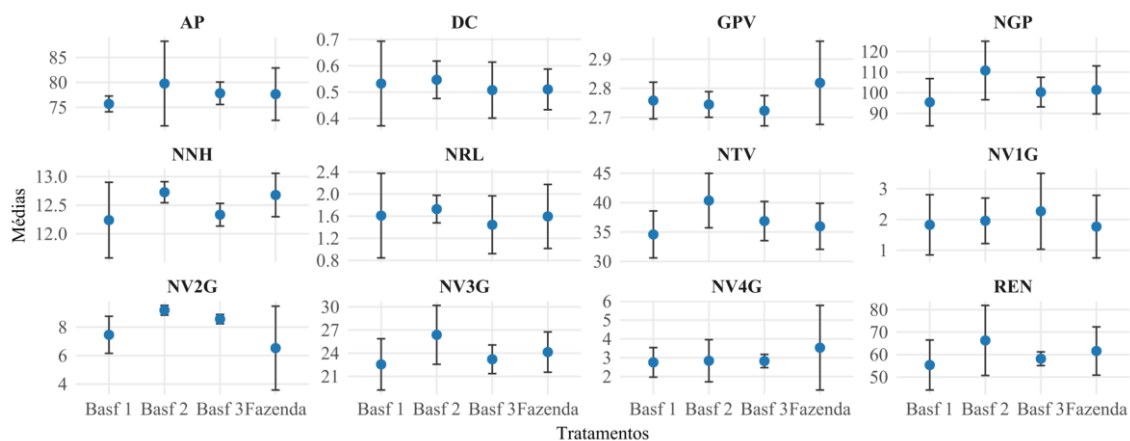


Figura 1. Estatística descritiva — médias \pm IC95% das variáveis agrônômicas em função dos tratamentos. Os pontos representam as médias e as barras verticais indicam os intervalos de confiança a 95%.

Para avaliar a consistência experimental dos dados, foi conduzida a análise de poder estatístico, verificando-se a adequação do número de repetições adotado. Para a maioria das variáveis, quatro repetições por tratamento foram suficientes para garantir poder $\geq 80\%$, tornando esse número adequado para experimentos de rotina que buscam otimizar recursos sem comprometer a precisão. Algumas variáveis, porém, exigiram maior número de repetições para reduzir a incerteza experimental, como o DC (13 repetições) e a AP (10 repetições). O mesmo ocorreu com NV4G (14 repetições), evidenciando maior sensibilidade a variações de campo e reforçando a importância de um delineamento mais robusto quando essas variáveis forem desfechos principais (Figura 2). Em contraste, NRL e NV1G não atingiram 80% de poder mesmo com 24 repetições, indicando alta variabilidade residual e menor estabilidade sob condições de campo. Na prática, recomenda-se interpretá-las com cautela, como parâmetros complementares.

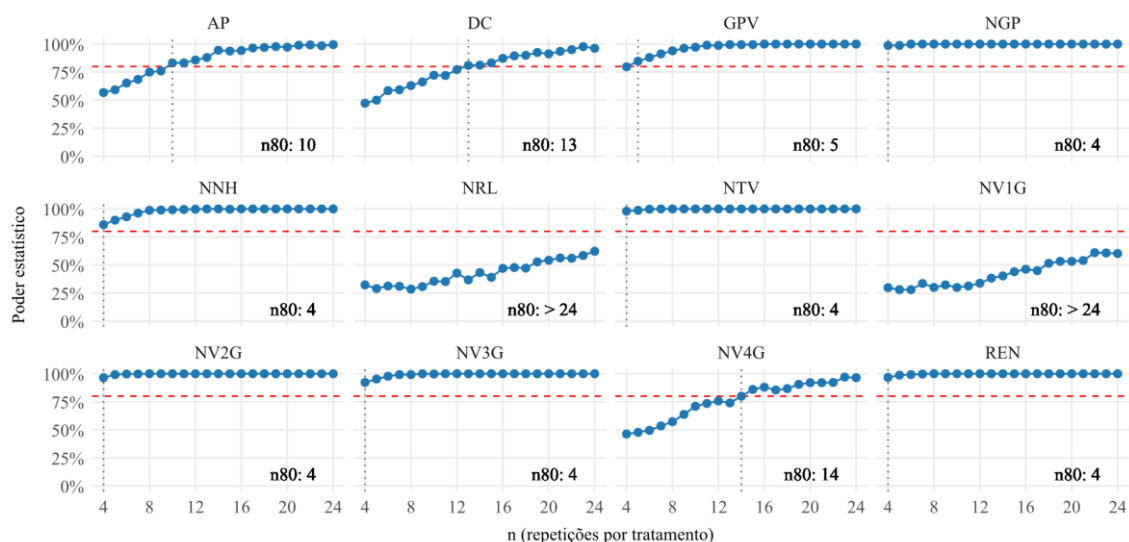


Figura 2. Curvas de poder estatístico baseadas em modelos mistos generalizados (GLMM), em função do número de repetições por tratamento para as variáveis agrônômicas avaliadas. A linha vermelha tracejada indica o limiar de 80% de poder, e os valores “n80” representam o menor número de repetições necessárias para atingi-lo.

Superada a avaliação da precisão experimental, os efeitos dos tratamentos sobre o rendimento e as variáveis morfológicas foram quantificados por meio da análise de razão de verossimilhança (LR) em modelos mistos. A análise de LR revelou que as variáveis número de grãos por planta (NGP), diâmetro do caule (DC), altura de planta (AP) e peso de grãos por vagem (GPV) contribuíram significativamente para a explicação do rendimento de grãos ($p < 0,05$). Dentre elas, o NGP apresentou o maior valor de R^2 parcial (10,6%), seguido por DC (6,3%), AP (5,7%) e GPV (4,8%), indicando que esses componentes foram determinantes para o desempenho produtivo da soja. As demais variáveis morfológicas avaliadas não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$), sugerindo menor influência direta sobre o rendimento nas condições experimentais (Tabela 2).

As correlações com o rendimento (CorREN) confirmaram essa tendência, destacando associações positivas elevadas para NGP ($r = 0,88$) e AP ($r = 0,77$), o que evidencia que plantas com maior número de grãos e maior estatura tendem a apresentar maior produtividade. Já a correlação negativa observada para DC ($r = -0,57$) sugere possível efeito compensatório entre o espessamento do caule e o acúmulo de grãos. De modo geral, os resultados indicam que o rendimento de grãos está mais relacionado a

variáveis reprodutivas e estruturais, que refletem a eficiência de formação e enchimento de grãos em plantas de soja (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de razão de verossimilhança (LR), nível de significância (p), correlação com o rendimento de grãos e estatísticas descritivas das variáveis morfológicas e produtivas da soja.

Variável	LR	p_value	CorREN	Min	Max	Média	SD	CV	R ² parcial
NGP	9.82	0.002	0.88	86.83	122.97	101.97	8.62	8.50	10.60
DC	5.87	0.015	-0.57	0.42	0.62	0.53	0.06	12.20	6.30
AP	5.35	0.021	0.77	73.24	86.48	77.73	3.27	4.20	5.70
GPV	4.46	0.035	0.39	2.68	2.90	2.76	0.06	2.20	4.80
NV3G	3.75	0.053	0.79	20.37	29.17	24.07	2.25	9.30	4.00
NV4G	3.23	0.072	0.50	2.00	5.42	2.99	0.82	27.30	3.50
NTV	2.91	0.088	0.78	31.40	44.41	36.94	3.15	8.50	3.10
NV1G	1.11	0.292	-0.20	1.11	3.20	1.96	0.60	30.70	1.20
NV2G	0.08	0.774	0.26	4.10	9.50	7.94	1.40	17.60	0.10
NNH	0.06	0.811	0.47	11.67	12.90	12.49	0.32	2.50	0.10
NRL	0.01	0.927	0.33	1.07	2.24	1.59	0.33	20.80	0.00
REN	-	-		48.63	77.69	60.36	7.53	12.50	

LR: razão de verossimilhança; p_value: nível de significância; CorREN: correlação com o rendimento de grãos; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Média: média aritmética; SD: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação (%); R²parcial: proporção da variação do rendimento explicada isoladamente por cada variável.

A análise de componentes principais (PCA) revelou padrões consistentes entre os tratamentos avaliados. Os dois primeiros eixos explicaram 67,8% da variabilidade total, demonstrando que grande parte das diferenças entre manejos pode ser atribuída a um conjunto reduzido de variáveis. O Eixo 1, fortemente associado (em sentido negativo) ao número de grãos por planta (NGP), número total de vagens (NTV), vagens de três grãos (NV3G) e rendimento (REN), representou um gradiente de desempenho produtivo, no qual valores mais negativos indicam maior eficiência reprodutiva. O Eixo 2, positivamente correlacionado com vagens de um (NV1G) e dois grãos (NV2G) e negativamente com o peso de grãos por vagem (GPV), refletiu diferenças na proporção de estruturas reprodutivas menos eficientes (Figura 3).

Na Figura 3, o tratamento Basf 2 destacou-se no quadrante negativo (PCA1), evidenciando maior associação com variáveis relacionadas ao rendimento, como número de grãos e de vagens, confirmando sua superioridade produtiva em relação aos demais manejos. Em posição oposta, Basf 1 apresentou menor contribuição às variáveis produtivas, indicando baixa eficiência reprodutiva, enquanto Basf 3 exibiu comportamento intermediário e o tratamento Fazenda demonstrou maior dispersão, sugerindo heterogeneidade de desempenho. De modo geral, a PCA reforça que as variáveis reprodutivas são indicadores-chave da eficiência produtiva, confirmando a vantagem do manejo Basf 2 em promover melhor equilíbrio entre crescimento vegetativo e desempenho reprodutivo (Figura 3). Os padrões observados na PCA confirmaram as tendências detectadas pelos modelos mistos, consolidando o papel do número de grãos por planta e do total de vagens como principais determinantes do rendimento.

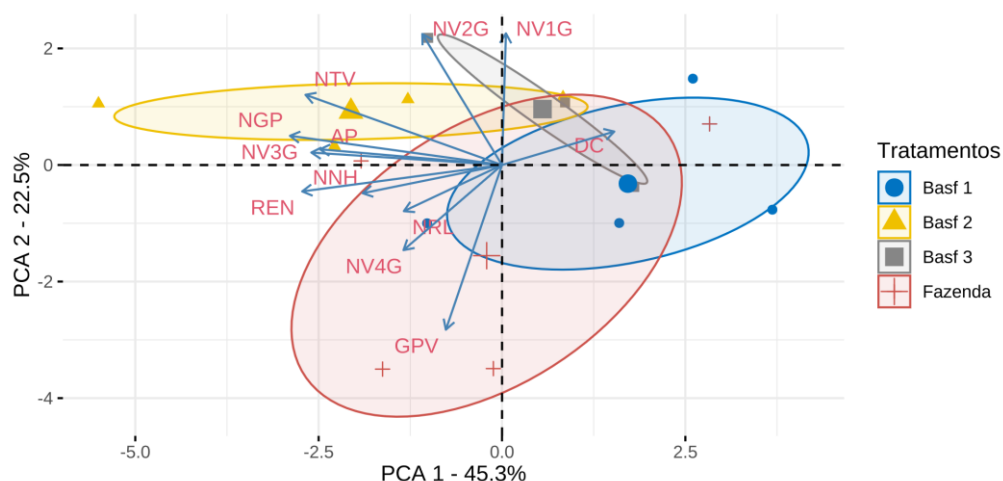


Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis agrônômicas, mostrando a distribuição dos tratamentos e as elipses de confiança (95%).

A análise de trilha com regularização Ridge revelou os efeitos diretos padronizados (β ridge) das variáveis morfológicas e produtivas sobre o rendimento de grãos (REN). Observou-se que o número de grãos por planta (NGP), o número de vagens com três grãos (NV3G) e o número total de vagens (NTV) exerceram os maiores efeitos diretos positivos, indicando que essas variáveis contribuem de forma mais expressiva e causal para o aumento da produtividade. A altura de plantas (AP) e o número de vagens com quatro grãos (NV4G) também apresentaram efeitos diretos positivos, embora de menor magnitude, sugerindo participação complementar na formação do rendimento (Figura 4).

Por outro lado, o diâmetro de colmo (DC) e o número de vagens com um grão (NV1G) apresentaram efeitos diretos negativos, o que indica que o aumento relativo dessas variáveis pode estar associado a menor eficiência produtiva. Variáveis como o número de nós na haste (NRL) e o número de nós na haste principal (NNH) mostraram efeitos negativos de baixa intensidade, refletindo contribuição indireta limitada sobre o rendimento. Esses resultados reforçam a utilidade da análise de trilha ridge como ferramenta para identificar os fatores com influência direta e efetiva sobre o rendimento, distinguindo-os das associações puramente correlacionais e eliminando os efeitos espúrios da multicolinearidade (Figura 4).

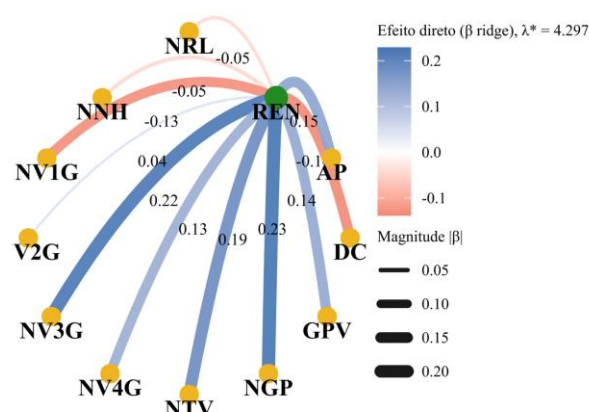


Figura 4. Diagrama de análise de trilha mostrando os efeitos diretos (β) das variáveis explicativas sobre a variável resposta (REN).

A integração das análises permitiu compreender de forma abrangente os efeitos dos diferentes manejos sobre o desempenho agrônomo da soja. A análise descritiva evidenciou a superioridade do tratamento Basf 2, que apresentou valores mais elevados nas variáveis morfológicas e produtivas, resultando em maior rendimento médio de grãos. Esse comportamento indica que estratégias de manejo diferenciadas influenciam não apenas o crescimento vegetativo, mas, sobretudo, a eficiência reprodutiva das plantas, refletindo em ganhos expressivos de produtividade. A análise de poder reforçou a consistência dos dados, apontando que quatro repetições por tratamento são suficientes para a maioria das variáveis, o que otimiza recursos experimentais sem comprometer a robustez estatística. Contudo, características mais sensíveis, como diâmetro de colmo (DC), altura de plantas (AP) e número de vagens com quatro grãos (NV4G), demandaram maior número de repetições, enquanto variáveis de menor estabilidade, como número de

ramos laterais (NRL) e vagens com um grão (NV1G), devem ser interpretadas com cautela em condições de campo.

As análises multivariadas complementaram essa interpretação, demonstrando que os componentes reprodutivos — especialmente o número de grãos por planta (NGP), o número total de vagens (NTV) e as vagens de dois e três grãos (NV2G e NV3G) — são os principais determinantes das diferenças de produtividade entre tratamentos. A análise de trilha reforçou esse padrão ao destacar o efeito positivo do diâmetro de colmo (DC) e o efeito negativo do número de grãos por vagem (GPV) sobre o rendimento, consolidando critérios práticos para a seleção de plantas mais produtivas. Em síntese, a associação entre métodos estatísticos tradicionais e multivariados proporcionou uma visão mais precisa dos fatores determinantes da produtividade, evidenciando o papel das variáveis reprodutivas como indicadores-chave de desempenho agrônomo na cultura da soja.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que o manejo BASF 2 foi superior em termos de desempenho vegetativo e, sobretudo, reprodutivo, refletindo-se em maior rendimento de grãos ($66,31 \text{ sc ha}^{-1}$). Essa constatação está em consonância com a literatura recente, que destaca a relevância dos componentes reprodutivos como determinantes da produtividade da soja, em detrimento de variáveis puramente vegetativas (Rocha et al., 2020; Craveiro et al., 2024). No presente trabalho, variáveis como número de grãos por planta (NGP), número total de vagens (NTV) e vagens de dois e três grãos (NV2G e NV3G) apresentaram elevada contribuição para o rendimento, reforçando que a eficiência produtiva depende diretamente da formação e enchimento de estruturas reprodutivas, conforme relatado também por Bergman et al. (2021) e Bandara et al. (2020).

Além disso, a análise de trilha destacou o papel positivo do diâmetro de colmo (DC) e o efeito negativo do número de grãos por vagem (GPV) sobre o rendimento. Esse resultado tem fundamento fisiológico, visto que caules mais robustos aumentam a capacidade de transporte de fotoassimilados e a sustentação estrutural, favorecendo o enchimento de grãos (Ferreira et al., 2019).

Do ponto de vista fitossanitário, os resultados confirmam que a estratégia de aplicação de fungicidas exerce impacto direto na expressão produtiva. O BASF 2, ao associar diferentes modos de ação, proporcionou maior estabilidade de rendimento, em linha com estudos que destacam a eficácia de misturas triplas ou de múltiplos sítios de ação para prolongar a eficiência de controle e mitigar riscos de resistência (Melo et al., 2025; Godoy et al., 2024). Castaldo et al. (2023) também observaram que a associação

de fungicidas protetores e curativos promoveu maior supressão da ferrugem asiática e incremento de produtividade, corroborando os resultados aqui encontrados.

Outro aspecto relevante é a robustez estatística das análises. A simulação de poder indicou que quatro repetições foram suficientes para a maioria das variáveis, confirmando a adequação do delineamento experimental. Todavia, variáveis como AP, DC e NV4G demandaram maior número de repetições para atingir poder de 80%, o que reforça a necessidade de cautela em estudos que priorizem essas características, especialmente em condições de maior variabilidade ambiental. Esse achado converge com trabalhos sobre estabilidade experimental em soja (Balbinot Junior et al., 2017).

De modo complementar, a PCA evidenciou padrões claros de diferenciação entre manejos, destacando novamente a superioridade do BASF 2. Essa abordagem mostrou-se eficiente para identificar grupos de variáveis com maior contribuição conjunta ao rendimento e auxiliar na tomada de decisão em programas de manejo (Galvão et al., 2021). Além disso, a análise de trilha permitiu separar efeitos diretos e indiretos, trazendo maior clareza sobre quais atributos devem ser priorizados em seleção e recomendações práticas.

Apesar dos avanços, algumas limitações devem ser ressaltadas. O estudo foi conduzido em um único ambiente e com uma cultivar específica, de modo que a extrapolação para outras regiões e genótipos devem ser feitos com cautela. Ademais, não foram avaliados índices de severidade de doenças ao longo do ciclo, o que poderia fortalecer a associação direta entre controle fungicida e ganhos produtivos. Ainda assim, as diferenças observadas em variáveis agrônômicas e no rendimento sugerem que os manejos influenciaram indiretamente a sanidade foliar e a eficiência fisiológica das plantas.

De forma aplicada, os resultados reforçam que o manejo adequado de fungicidas é capaz de favorecer características estruturais e, principalmente, reprodutivas determinantes para o rendimento da soja. A combinação de ferramentas analíticas — GLMM (REML), PCA e trilha Ridge — mostrou-se eficaz para identificar variáveis-chave e propor critérios de seleção e manejo. A superioridade do BASF 2 pode estar associada à sinergia entre ingredientes ativos de diferentes modos de ação, o que potencializa a proteção foliar e prolonga a atividade fotossintética. Fisiologicamente, caules mais espessos refletem maior condutividade e reserva de carboidratos, favorecendo o enchimento de grãos, enquanto o excesso de perfilhamento vegetativo implica redistribuição ineficiente de fotoassimilados, reduzindo o número de grãos por

vagem. Esses achados estão de acordo com Ferreira et al. (2019) e Bergman et al. (2021) e indicam que novos trabalhos devem ser realizados em diferentes ambientes e cultivares, a fim de validar a consistência desses efeitos e aprimorar as recomendações de manejo.

CONCLUSÃO

O manejo BASF 2 apresentou o maior rendimento médio (66,31 sc ha⁻¹), superando BASF 1 em 10,95 sc ha⁻¹ (+19,8%), BASF 3 em 8,15 sc ha⁻¹ (+14,0%) e o manejo Fazenda em 4,71 sc ha⁻¹ (+7,6%). Esses resultados refletem ganhos estruturais e reprodutivos expressivos, com destaque para o número total de vagens (40,35 vagens planta⁻¹, incremento de +16,7% sobre BASF 1) e altura de plantas (79,77 cm, acréscimo de +5,4%), confirmando que a superioridade produtiva de BASF 2 deriva do aumento do número de vagens e grãos por planta. As análises REML, PCA e trilha ridge indicaram efeitos diretos positivos de NGP, NV3G e NTV sobre o rendimento e explicaram 67,8% da variabilidade total, posicionando BASF 2 no gradiente de maior eficiência reprodutiva. Assim, a combinação de múltiplos modos de ação nos fungicidas de BASF 2 resultou em ganhos de até 20% sobre o pior manejo testado. Embora os resultados confirmem o impacto positivo das estratégias de aplicação sobre a produtividade, novos trabalhos devem ser conduzidos em diferentes ambientes e cultivares para validar a consistência desses efeitos e aperfeiçoar as recomendações de manejo da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbinot Junior, A. A., Franchini, J. C., Debiasi, H., & Dias, W. P. (2017). Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997–2016). *Embrapa Soja, Documentos*, 11, 21.
- Bandara, A. Y., Weerasooriya, D. K., Conley, S. P., Bradley, C. A., Allen, T. W., & Esker, P. D. (2020). Modeling the relationship between estimated fungicide use and disease-associated yield losses of soybean in the United States I: Foliar fungicides vs foliar diseases. *PLoS One*, 15(6), e0234390.
- Bergman, K., Ciampitti, I., Sexton, P., & Kovács, P. (2021). Fungicide, insecticide, and foliar fertilizer effect on soybean yield, seed composition, and canopy retention. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 4(2), e20116.
- Castaldo, J. H., Silva, R. P., & Nolla, A. (2023). Fungicida protetor associado com fungicidas mesostêmicos e curativos no controle da ferrugem asiática da soja. *Revista de Ciências Agrárias – Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 66, 1–11.
- Cobucci, T., Di Stefano, J. G., & Kluthcouski, J. (1999). Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. (Circular Técnica, 35).
- Craveiro, C. F., Silva Pereira, R., Ferreira, J. B., & Vale Moreira, J. G. (2024). Desempenho de cultivares de soja em terras de abertura de plantio e consolidada. *Scientia Naturalis*, 6(2), 45–58.
- Embrapa. (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (2. ed.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Ferreira, L. L., Amaral, U., Silva, C. S., Curvelo, C. R. S., & Pereira, A. I. A. (2019). Components of maize crop as a function of doses of polymerized urea. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), 185–192.

Galvão, R. F., Ecco, M., Riffel, R. C., & Barbosa, A. P. (2021). Uso de diferentes adjuvantes na aplicação de fungicida na cultura da soja. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 10(10), e123101018469.

Godoy, C. V., Utiamada, C. M., Meyer, M. C., Campos, H. D., Lopes, I. O., & Tormen, A. (2024). Eficiência de fungicidas para o controle das doenças de final de ciclo da soja, safra 2023/2024: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. *Embrapa Soja, Resultados de Pesquisa*.

Melo, E. P., Tomáz, R. G., Godoy, C. V., & Del Ponte, E. M. (2025). Performance of two- and three-way fungicide premixes for the control of soybean target spot after seven years of use. *European Journal of Plant Pathology*, 171(4), 709–716.

Quintela, E. D. (2001). Manejo integrado de pragas do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. (Circular Técnica).

R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Rocha, V. H. M., Machado Junior, R., Ribeiro, P. C. D. O., & Matsuo, E. (2020). Análise de trilha em caracteres morfológicos e produtivos de cultivares de soja em diferentes ciclos. *Nucleus*, 17(2), 391–400.