

JOSINEI LUCAS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA PULVERIZAÇÃO TERRESTRE E AÉREA NO
CONTROLE DE *Phakopsora pachyrhizi* E *Septoria glycines* NA CULTURA DA
SOJA**

Botucatu

2026

JOSINEI LUCAS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA PULVERIZAÇÃO TERRESTRE E AÉREA NO
CONTROLE DE *Phakopsora pachyrhizi* E *Septoria glycines* NA CULTURA DA
SOJA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp, Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Mestre em Agronomia:
Proteção de Plantas.

Orientador: Carlos Gilberto Raetano

Botucatu

2026

O48a

oliveira, Josinei Lucas de

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA PULVERIZAÇÃO
TERRESTRE E AÉREA NO CONTROLE DE *Phakopsora*
pachyrhizi E *Septoria glycines* NA CULTURA DA SOJA /
Josinei Lucas de oliveira. -- Botucatu, 2026

106 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu

Orientador: Carlos Gilberto Raetano

1. Doenças da soja. 2. Controle químico. 3. Aplicação de
Defencivos. 4. Tecnologia de aplicação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Impacto potencial desta pesquisa

Esta pesquisa apresenta relevância científica e tecnológica ao avaliar, em condições de campo, o desempenho de diferentes tecnologias de aplicação de fungicidas no manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e da mancha-parda (*Septoria glycines*) da soja. Os resultados obtidos ampliam o conhecimento sobre os processos de deposição, cobertura e distribuição de gotas no dossel da cultura, bem como sobre seus reflexos no controle das doenças e na produtividade. Adicionalmente, o estudo contribui para a geração de informações técnicas relacionadas ao uso de aeronaves remotamente pilotadas (drones agrícolas), tecnologia em crescente adoção no agronegócio brasileiro. Os resultados podem subsidiar a tomada de decisão por produtores, consultores e empresas do setor, promovendo maior eficiência das aplicações fitossanitárias, racionalização do uso de fungicidas e fortalecimento das estratégias de manejo integrado de doenças. Dessa forma, o trabalho contribui para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis, tecnicamente eficientes e economicamente viáveis para a cultura da soja.

Potential Impact of this research

This research has scientific and technological relevance by evaluating, under field conditions, the performance of different fungicide application technologies for the management of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) and brown spot (*Septoria glycines*) in soybean. The results expand current knowledge on droplet deposition, coverage, and distribution within the crop canopy, as well as their effects on disease control and crop productivity. Furthermore, this study contributes to the generation of technical information regarding the use of remotely piloted aircraft systems (agricultural drones), a technology that is increasingly being adopted in the Brazilian agricultural sector. The findings may support decision-making by growers, crop consultants, researchers, and agribusiness companies, promoting greater efficiency of phytosanitary applications, more rational use of fungicides, and the strengthening of integrated disease management strategies. In this way, the study contributes to the development of more sustainable, technically efficient, and economically viable production systems for soybean cultivation.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA PULVERIZAÇÃO TERRESTRE E AÉREA NO CONTROLE DE
Phakopsora pachyrhizi E Septoria glycines NA CULTURA DA SOJA

AUTOR: JOSINEI LUCAS DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA

Prof. Dr. EDSON LUIZ FURTADO (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA

P/

Prof. Dr. DIEGO MIRANDA DE SOUZA (Participação Virtual)
Fitotecnia / Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal

Botucatu, 19 de agosto de 2026.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar, por todas as benção e oportunidades;

À minha esposa Dilenir e as minhas filhas Louise e Lara;

Ao professor Dr. Carlos Gilberto Raetano, pela orientação, pelos ensinamentos, conselhos e amizade;

À Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/ UNESP, pela oportunidade;

À UPL do Brasil, por todo apoio durante o mestrado.

RESUMO

As doenças foliares da soja, especialmente a mancha-parda (*Septoria glycines*) e a ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), são responsáveis por importantes perdas produtivas no Brasil, exigindo alta eficiência na aplicação de fungicidas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar diferentes tecnologias de aplicação (pulverização terrestre com pontas FC-3D100-015 e aplicação com drone) quanto à eficiência de controle das doenças, qualidade da pulverização e produtividade da cultura. Foram conduzidos experimentos em campo na Estação Pesquisa e Desenvolvimento – UPL, Pereiras – SP, nas safras 2024/2025 e 2025/2026, utilizando delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos: testemunha, pontas 3D em sentido único, pontas 3D alternadas e aplicação com drone. Foram avaliados parâmetros de fitotoxicidade, severidade das doenças, eficiência de controle, produtividade e qualidade da pulverização por meio de papéis hidrossensíveis. Os resultados demonstraram baixa fitotoxicidade em todos os tratamentos (<4%). As aplicações terrestres com pontas 3D proporcionaram maior controle das doenças, com valores entre 64 e 68% para *Septoria glycines* e entre 60 e 76% para ferrugem da soja, não diferindo entre si quanto ao posicionamento das pontas. A aplicação com drone apresentou menor eficiência de controle, variando entre 40 e 56%. A produtividade seguiu o mesmo padrão, sendo superior nos tratamentos terrestres e inferior no drone, evidenciando relação direta entre controle de doenças e rendimento. A análise da qualidade da pulverização indicou maior densidade de gotas, maior cobertura e menor deriva nos tratamentos terrestres, enquanto o drone apresentou baixa deposição e maior potencial de deriva. Conclui-se que nessas condições a tecnologia de aplicação terrestre é mais eficiente no controle das doenças e na produtividade da soja, enquanto o uso de drone, embora promissor, ainda requer ajustes técnicos para melhorar sua eficiência.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação; soja; fungicidas; drone; ferrugem da soja

ABSTRACT

Soybean foliar diseases, especially brown spot (*Septoria glycines*) and soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*), are responsible for significant yield losses in Brazil, requiring high fungicide application efficiency. The present study aimed to evaluate different application technologies (ground spraying using FC-3D100-015 nozzles and drone application) regarding disease control efficiency, spray quality, and crop productivity. Field experiments were conducted at the UPL Research and Development Station, Pereiras, São Paulo, Brazil, during the 2024/2025 and 2025/2026 growing seasons, using a randomized complete block design with four treatments: untreated control, 3D nozzles in a single orientation, alternating 3D nozzles, and drone application. The evaluated parameters included phytotoxicity, disease severity, control efficiency, yield, and spray quality assessed through water-sensitive papers. The results demonstrated low phytotoxicity in all treatments (<4%). Ground applications using 3D nozzles provided greater disease control, with values ranging from 64 to 68% for *Septoria glycines* and from 60 to 76% for soybean rust, with no significant differences between nozzle arrangements. Drone application showed lower control efficiency, ranging from 40 to 56%. Yield followed the same trend, being higher in ground-based treatments and lower in drone applications, demonstrating a direct relationship between disease control and crop performance. Spray quality analysis indicated higher droplet density, greater coverage, and lower drift potential in ground applications, whereas drone spraying resulted in lower deposition and greater drift potential. It can be concluded that, under these conditions, ground-based application technology is more effective in controlling diseases and improving soybean yield, whereas drone application, although promising, still requires technical adjustments to enhance its performance and efficiency.

Keywords: Application technology; soybean; fungicides; drone; soybean rust.

SUMARIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1	22
QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DA MANCHA-PARDA DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO	22
INTRODUÇÃO	22
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	27
1.2.1 Local e Delineamento Experimental	27
1.2.3 Aplicação dos Fungicidas	28
1.2.4 Irrigação	30
1.2.5 Adubação	31
1.2.6 Avaliações	31
1.2.6.1 Avaliação da fitotoxicidade	32
1.2.6.2 Avaliação da severidade de <i>Septoria glycines</i>	32
1.2.6.3 Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)	33
1.2.6.4 Produtividade de grãos	34
1.2.6.5 Avaliação da deposição da pulverização	34
1.2.6.7 Análise estatística	36
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
1.3.1 Safra 2024/25 e 2025/26 de septoriose (<i>Septoria glycines</i>)	37
1.3.2 Fitotoxicidade	38
1.3.3 Evolução da doença	40
1.3.4 Severidade da mancha parda causada por <i>Septoria glycines</i>	41
1.3.5 Produtividade	43
1.3.6 Análise dos papéis hidrossensíveis	45
1.3.7 Parâmetros qualitativos da pulverização em papel hidrossensível no experimento com <i>Septoria glycines</i> na safra 2025/2026	47

1.4 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO 2.....	60
QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DA FERRUGEM DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO	60
2.1 INTRODUÇÃO.....	60
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	63
2.2.1 Local e Delineamento Experimental	63
2.2.2 Equipamentos de pulverização e condições operacionais.....	63
2.2.3 Aplicação dos Fungicidas	64
2.3.4 Irrigação.....	66
2.3.5 Adubação.....	67
2.3.6 Avaliações	68
2.3.6.1 Avaliação da fitotoxicidade	68
2.3.6.2 Avaliação da severidade da ferrugem da soja	69
2.3.6.3 Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD).....	69
2.3.6.4 Produtividade de grãos	70
2.3.6.5 Avaliação da deposição da pulverização	71
2.3.6.6 Análise estatística	73
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
2.3.1 Safra 2024/25 e 2025/26 de ferrugem da soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>)	73
2.3.2 Fitotoxicidade.....	75
2.3.3 Evolução da doença	76
2.3.4 Severidade da ferrugem da soja causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	78
2.3.5 Produtividade.....	82
2.3.6 Análise dos papéis hidrossensíveis	85
2.3.7 Qualidade da pulverização e sua relação com o controle da ferrugem da soja.	88
2.4 CONCLUSÃO	91

REFERÊNCIAS.....	93
REFERÊNCIAS.....	97
ANEXO A	101
APÊNDICE A.....	102
APÊNDICE B.....	103
APÊNDICE C.	104
APÊNDICE D.	105
APÊNDICE E.....	106

INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L. Merrill) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas do mundo, desempenhando papel fundamental na produção de proteína vegetal, óleo e diversos produtos destinados à alimentação humana, animal e à indústria. No Brasil, o elevado potencial produtivo da cultura está diretamente relacionado ao uso de cultivares adaptadas, técnicas de manejo avançadas e sistemas eficientes de proteção fitossanitária. Entretanto, a ocorrência de doenças foliares continua sendo um dos principais fatores limitantes à produtividade, exigindo a adoção de estratégias integradas de manejo para garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção (Seixas *et al.*, 2020; Godoy *et al.*, 2024).

Entre as doenças de maior relevância econômica destacam-se a mancha-parda, causada por *Septoria glycines* Hemmi, e a ferrugem da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. Ambas apresentam ampla distribuição nas regiões produtoras brasileiras e são responsáveis por perdas significativas de produtividade quando as condições ambientais favorecem seu desenvolvimento (Hartman *et al.*, 2015; Godoy *et al.*, 2024).

A mancha-parda, também denominada septoriose, está entre as doenças foliares mais frequentes da cultura da soja. O patógeno sobrevive em restos culturais infectados e pode colonizar os tecidos vegetais desde os estádios iniciais de desenvolvimento, permanecendo presente ao longo de todo o ciclo da cultura. A doença é favorecida por períodos prolongados de molhamento foliar, temperaturas entre 15 e 30 °C e elevada umidade relativa do ar, fatores que contribuem para a germinação dos conídios e o desenvolvimento da epidemia (Seixas *et al.*, 2020; Godoy *et al.*, 2023; Crop Protection Network, 2019).

Os primeiros sintomas geralmente são observados nas folhas localizadas no terço inferior das plantas, manifestando-se inicialmente como pequenas pontuações castanho-avermelhadas. À medida que a doença evolui, as lesões tornam-se irregulares e circundadas por halos cloróticos, podendo coalescer e formar extensas áreas necrosadas. Em condições altamente favoráveis, ocorre progressão ascendente dos sintomas no dossel, promovendo amarelecimento e desfolha precoce (Meyer *et al.*, 2023; Crop Protection Network, 2019).

Embora frequentemente considerada menos agressiva do que a ferrugem da soja, a mancha-parda pode causar perdas relevantes de produtividade quando atinge

os terços médio e superior das plantas, reduzindo a área fotossinteticamente ativa e antecipando a senescência foliar. Os impactos são mais pronunciados durante os estádios reprodutivos, especialmente quando a doença ocorre associada a outros patógenos do complexo de doenças de final de ciclo (Lin; Mideros, 2023; Godoy *et al.*, 2024).

O manejo da septoriose deve basear-se na integração de práticas culturais e químicas. A rotação de culturas, o manejo adequado dos resíduos vegetais e a redução do inóculo inicial são medidas importantes para minimizar a pressão da doença. No entanto, o controle químico permanece como a principal estratégia adotada nas regiões produtoras, destacando-se fungicidas pertencentes aos grupos dos inibidores da desmetilação (DMIs), inibidores da quinona externa (Qols), inibidores da succinato desidrogenase (SDHIs) e fungicidas multissítios (FRAC, 2026; Godoy *et al.*, 2024).

A ferrugem da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, é considerada a doença de maior impacto econômico da cultura da soja. Identificada no Brasil na safra 2001/2002, disseminou-se rapidamente pelas regiões produtoras em razão da eficiente dispersão dos urediniósporos pelo vento, da expansão da área cultivada e da presença contínua de plantas hospedeiras ao longo do ano agrícola (Yorinori *et al.*, 2005; Hartman *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2025).

A doença é favorecida por períodos prolongados de molhamento foliar, associados a temperaturas moderadas e elevada umidade relativa do ar. Nessas condições, ocorre rápida germinação dos urediniósporos e intensa colonização dos tecidos foliares, promovendo o progresso da epidemia (Hartman *et al.*, 2015; Seixas *et al.*, 2020).

Os sintomas podem ser observados em qualquer estágio fenológico da soja, embora sejam mais frequentes após o fechamento do dossel. Inicialmente surgem pequenas lesões na face inferior das folhas, que evoluem para urédias produtoras de esporos. Com a progressão da doença, observa-se intenso amarelecimento foliar, desfolha precoce e redução drástica da capacidade fotossintética das plantas (Meyer *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2025).

Em situações de elevada severidade e ausência de manejo adequado, as perdas de produtividade podem ultrapassar 80% do potencial produtivo da lavoura. Além dos danos quantitativos, a ferrugem aumenta significativamente os custos de

produção devido à necessidade de monitoramento constante e aplicações sucessivas de fungicidas (Hartman *et al.*, 2015; Godoy *et al.*, 2025).

Atualmente, o manejo da ferrugem baseia-se na integração do vazio sanitário, eliminação de plantas voluntárias, monitoramento da lavoura, utilização de cultivares com resistência parcial e aplicação de fungicidas. Os programas mais eficientes utilizam misturas de DMIs, Qols, SDHIs e fungicidas multissítios, buscando maximizar a eficiência de controle e reduzir a pressão de seleção de populações resistentes (FRAC, 2026; Godoy *et al.*, 2025).

Nos últimos anos, fungicidas multissítios como mancozebe, clorotalonil e compostos cúpricos passaram a desempenhar papel fundamental nos programas de manejo. Resultados dos ensaios cooperativos da EMBRAPA demonstram que a inclusão desses produtos em misturas fungicidas contribui para a redução da severidade da doença e para a preservação da produtividade da cultura (Godoy *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços observados no desenvolvimento de fungicidas, a eficiência do controle químico depende diretamente da qualidade da aplicação. Fatores como cobertura do alvo, densidade de gotas, uniformidade de distribuição da calda e deposição no interior do dossel influenciam significativamente o desempenho dos produtos fitossanitários (Antuniassi; Boller, 2019; Matthews; Bateman; Miller, 2014).

Nesse contexto, a agricultura de precisão tem proporcionado importantes avanços para a pulverização agrícola. A utilização de sistemas de posicionamento global (GPS), sensores embarcados, controladores eletrônicos e mapas georreferenciados permite aumentar a precisão das aplicações, reduzindo desperdícios e promovendo maior sustentabilidade dos sistemas produtivos (Wolfert *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021).

Além disso, sensores ópticos e multiespectrais têm possibilitado a detecção precoce de alterações fisiológicas provocadas por doenças, favorecendo a tomada de decisão em programas de manejo fitossanitário e contribuindo para aplicações mais assertivas (Negrisoli *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2021).

Entre as inovações disponíveis para pulverizadores terrestres destacam-se as pontas hidráulicas de jato plano angulado, conhecidas comercialmente como pontas 3D. Esses dispositivos foram desenvolvidos para melhorar a distribuição da pulverização em culturas com elevado índice de área foliar, promovendo maior

deposição das gotas em diferentes estratos do dossel (Antuniassi; Boller, 2019; Dorr *et al.*, 2013).

A inclinação dos jatos favorece a interceptação das gotas por superfícies foliares frequentemente protegidas pela arquitetura da planta, melhorando a cobertura e aumentando a probabilidade de contato dos fungicidas com o alvo biológico. Essa característica é particularmente importante para o controle de doenças foliares na cultura da soja (Raetano *et al.*, 2011; Negrisoli *et al.*, 2021).

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), popularmente conhecidas como drones agrícolas, vêm ganhando espaço no manejo fitossanitário em virtude da elevada capacidade operacional, redução do amassamento da cultura e possibilidade de aplicação em áreas de difícil acesso (MAPA, 2021; ANAC, 2023; Chechetto *et al.*, 2021).

Na cultura da soja, esses equipamentos têm sido amplamente utilizados para aplicações de fungicidas, principalmente em momentos quando a entrada de pulverizadores terrestres pode ser limitada. Além disso, a utilização de baixos volumes de aplicação aumenta a eficiência logística e operacional das pulverizações (Xiongkui *et al.*, 2017; Chechetto *et al.*, 2021).

Outro diferencial importante está associado ao efeito do fluxo de ar descendente gerado pelos rotores (*downwash*), que pode aumentar a penetração e a deposição das gotas no interior do dossel. Entretanto, a eficiência desse processo depende de fatores como altura de voo, velocidade operacional, espectro de gotas e condições meteorológicas durante a aplicação (Wen *et al.*, 2019; Martin *et al.*, 2023; Hafeez *et al.*, 2023).

Diante da importância da ferrugem da soja e da mancha-parda para a cultura da soja, bem como dos avanços observados nas tecnologias de aplicação de fungicidas, pressupõe-se que diferentes sistemas de pulverização possam influenciar significativamente a qualidade da aplicação, a deposição da calda no dossel da cultura e, conseqüentemente, a eficiência do controle fitossanitário. Nesse contexto, a hipótese deste estudo é que diferentes tecnologias de aplicação de fungicidas promovem alterações na qualidade da pulverização, influenciando a deposição da calda ao longo do dossel da soja e refletindo diretamente na eficiência do controle da mancha-parda (*Septoria glycines*) e da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), bem como na produtividade da cultura.

Com base nessa hipótese, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes tecnologias de aplicação de fungicidas sobre a qualidade da pulverização, o controle da mancha-parda (*Septoria glycines*) e da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), bem como seus reflexos sobre a produtividade da cultura.

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Avaliar a fitotoxicidade decorrente da aplicação dos fungicidas empregados nos ensaios de controle da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e da mancha-parda (*Septoria glycines*);
- Determinar a eficiência das tecnologias de aplicação no controle da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e da mancha-parda (*Septoria glycines*);
- Quantificar o progresso das doenças por meio da severidade e da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD);
- Avaliar os efeitos das diferentes tecnologias de aplicação sobre a produtividade da cultura da soja;
- Comparar a qualidade da pulverização obtida por pulverizador terrestre equipado com pontas hidráulicas de jato plano angulado (3D) e por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), por meio da avaliação da cobertura foliar, densidade de gotas, diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude relativa e potencial de deriva;

CAPÍTULO 1

QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DA MANCHA-PARDA DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas agrícolas de maior relevância econômica no mundo, constituindo importante fonte de proteína vegetal e óleo para alimentação humana e animal. Nas últimas décadas, a crescente demanda global por grãos impulsionou a expansão da cultura e o desenvolvimento de tecnologias capazes de aumentar a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Nesse cenário, o Brasil consolidou-se como um dos principais produtores e exportadores mundiais de soja, sendo o desempenho produtivo das lavouras resultado da interação entre fatores genéticos, ambientais e de manejo (Seixas *et al.*, 2020; Godoy *et al.*, 2024).

Entretanto, apesar dos avanços obtidos no melhoramento genético e nas práticas de manejo, as doenças foliares permanecem entre os principais fatores limitantes à produtividade da cultura. Entre elas destaca-se a *Septoria glycines*, responsável por reduções significativas na área fotossinteticamente ativa das plantas, antecipação da senescência foliar e diminuição do potencial produtivo das lavouras (Seixas *et al.*, 2020; Meyer *et al.*, 2023; Godoy *et al.*, 2024).

A mancha-parda ou septoriose, causada por *Septoria glycines* Hemmi, tem ampla distribuição geográfica e elevada frequência de ocorrência nas principais regiões produtoras de soja. O patógeno possui elevada capacidade de sobrevivência em restos culturais infectados, permitindo sua permanência entre safras e servindo como fonte de inóculo para novas infecções. A doença pode ser observada desde os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, persistindo durante todo o ciclo da planta. Seu desenvolvimento é favorecido por condições de elevada umidade relativa do ar, longos períodos de molhamento foliar e temperaturas compreendidas entre 15 e 30 °C, com ótimo próximo de 25 °C (Godoy *et al.*, 2023; Meyer *et al.*, 2023).

Os sintomas manifestam-se inicialmente nas folhas inferiores, caracterizando-se por pequenas pontuações castanho-avermelhadas que evoluem para manchas necróticas irregulares circundadas por halos cloróticos. Em condições favoráveis, as lesões coalescem e progridem para os estratos superiores do dossel, resultando em

amarelecimento foliar, desfolha precoce e redução da capacidade fotossintética das plantas. Embora frequentemente considerada menos agressiva que a ferrugem da soja, a mancha-parda pode ocasionar perdas expressivas de produtividade quando atinge os terços médio e superior do dossel, especialmente durante os estádios reprodutivos, período no qual ocorre intensa demanda por fotoassimilados para enchimento dos grãos (Crop Protection Network, 2019; Lin; Mideros, 2023; Godoy *et al.*, 2024).

O manejo da septoriose fundamenta-se na integração de práticas culturais e químicas. Medidas como rotação de culturas, manejo adequado dos resíduos vegetais e utilização de cultivares adaptadas contribuem para a redução da pressão de inóculo. Entretanto, o controle químico permanece como a principal ferramenta utilizada em sistemas comerciais de produção. Fungicidas pertencentes aos grupos dos inibidores da desmetilação (DMIs), inibidores da quinona externa (Qols), inibidores da succinato desidrogenase (SDHIs) e fungicidas multissítios constituem a base dos programas de manejo das doenças foliares da soja, apresentando elevada eficiência quando utilizados de forma adequada e associados a estratégias de manejo antirresistência (FRAC, 2026; Godoy *et al.*, 2024).

Todavia, o sucesso do controle químico não depende exclusivamente da eficiência intrínseca dos fungicidas empregados. A qualidade da pulverização representa um dos fatores mais importantes para o desempenho dos tratamentos fitossanitários. Parâmetros como cobertura foliar, densidade de gotas, diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude relativa, uniformidade de distribuição e deposição da calda influenciam diretamente a quantidade de ingrediente ativo efetivamente disponível sobre o alvo biológico. Dessa forma, a obtenção de adequada cobertura e deposição nos diferentes estratos do dossel constitui requisito fundamental para maximizar a eficiência dos fungicidas e reduzir perdas por deriva e evaporação (Matthews; Bateman; Miller, 2014; Antuniassi; Boller, 2019).

Em culturas com elevada densidade foliar, como a soja durante os estádios reprodutivos, a arquitetura do dossel dificulta a penetração das gotas e a distribuição uniforme da calda nos estratos intermediários e inferiores, justamente onde muitas doenças iniciam seu processo de colonização. Por essa razão, o avanço das tecnologias de aplicação tem recebido grande atenção nos últimos anos, buscando aumentar a eficiência operacional e maximizar o aproveitamento dos produtos fitossanitários (Raetano *et al.*, 2011).

Nesse contexto, os pulverizadores terrestres continuam sendo os equipamentos mais utilizados para aplicação de fungicidas na cultura da soja. A incorporação de recursos associados à agricultura de precisão, sistemas eletrônicos de controle, sensores embarcados e ferramentas de monitoramento tem proporcionado ganhos significativos em eficiência operacional e qualidade de aplicação. Além disso, tecnologias baseadas em sensoriamento remoto e monitoramento em tempo real têm contribuído para a identificação precoce de áreas com maior pressão de doenças, permitindo intervenções mais assertivas e sustentáveis (Wolfert *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021; Negrisoni *et al.*, 2022).

Entre os componentes que mais influenciam a qualidade da pulverização destacam-se as pontas de pulverização. A escolha adequada desses dispositivos determina características fundamentais do espectro de gotas, da cobertura do alvo, do potencial de deriva e da deposição da calda no interior do dossel. Nesse cenário, as pontas hidráulicas de jato plano angulado, conhecidas comercialmente como pontas 3D, têm despertado crescente interesse por apresentarem potencial para melhorar a distribuição da pulverização em culturas com arquitetura complexa (Dorr *et al.*, 2013; Antuniassi; Boller, 2019).

O principal diferencial das pontas 3D consiste na emissão de jatos inclinados em relação à vertical, proporcionando diferentes ângulos de incidência das gotas sobre as superfícies vegetais. Essa característica favorece a interceptação do alvo, aumenta a cobertura foliar e melhora a deposição da calda em regiões internas do dossel, incluindo áreas normalmente protegidas pela sobreposição das folhas. Estudos têm demonstrado que a utilização dessas pontas pode aumentar a uniformidade da pulverização e potencializar a eficiência dos fungicidas no controle de doenças foliares da soja (Raetano *et al.*, 2011; Negrisoni *et al.*, 2021).

Paralelamente aos avanços observados nos sistemas terrestres, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), popularmente conhecidas como drones agrícolas, têm assumido papel cada vez mais relevante nas operações fitossanitárias. O crescimento dessa tecnologia foi impulsionado pelos avanços da agricultura digital, pela regulamentação específica das operações aeroagrícolas e pela necessidade de aumentar a eficiência operacional das aplicações em condições que limitam o uso de pulverizadores convencionais (MAPA, 2021; ANAC, 2023).

Na cultura da soja, os drones agrícolas apresentam vantagens relacionadas à redução do amassamento da cultura, maior flexibilidade operacional, rapidez na

execução das aplicações e possibilidade de atuação em áreas de difícil acesso. Além disso, essas aeronaves operam normalmente com baixos volumes de aplicação, o que aumenta a capacidade operacional e reduz o tempo destinado ao reabastecimento. Entretanto, para que essas características resultem em eficiência agrônômica satisfatória, torna-se indispensável compreender os fatores que influenciam a deposição das gotas e a cobertura do alvo (Chechetto *et al.*, 2021; Xiongkui *et al.*, 2017).

Uma das principais particularidades das aplicações realizadas por drones é o efeito do fluxo de ar descendente gerado pelos rotores, conhecido como downwash. Esse movimento de ar favorece o deslocamento das gotas em direção ao interior do dossel vegetal, podendo aumentar a cobertura foliar e melhorar a deposição da calda nos estratos intermediários e inferiores das plantas. Entretanto, a magnitude desse benefício está diretamente relacionada a fatores como altura de voo, velocidade operacional, condições meteorológicas, tipo de ponta utilizada e espectro de gotas produzido (Wen *et al.*, 2019; Martin *et al.*, 2023).

Entre os sistemas de pulverização embarcados em drones agrícolas, destacam-se os bicos hidráulicos convencionais e os atomizadores rotativos centrífugos. Os sistemas de discos rotativos têm recebido atenção crescente devido à sua capacidade de produzir gotas mais uniformes e controlar com maior precisão o espectro de pulverização. Nesses equipamentos, a fragmentação da calda ocorre pela ação da força centrífuga gerada pelo disco em rotação, possibilitando ajustes no tamanho das gotas e aumentando a uniformidade da aplicação, característica particularmente importante em pulverizações realizadas com baixos volumes de calda (Hafeez *et al.*, 2023; Martin *et al.*, 2023).

Além do controle do tamanho das gotas, a associação entre atomizadores rotativos e o fluxo de ar gerado pelos rotores pode influenciar diretamente a cobertura foliar, a penetração no dossel e a deposição da calda. Entretanto, ainda existem lacunas de conhecimento relacionadas aos efeitos dessa tecnologia sobre a qualidade da pulverização e sua relação com a eficiência do controle de doenças foliares em condições de campo, especialmente quando comparada aos sistemas terrestres tradicionalmente utilizados pelos produtores (Chechetto *et al.*, 2021; Wen *et al.*, 2019). Diante desse cenário, torna-se necessário ampliar o conhecimento sobre a influência de diferentes tecnologias de aplicação nos parâmetros de qualidade da pulverização e no controle de doenças foliares da soja. Estudos comparativos envolvendo

pulverizadores terrestres equipados com pontas hidráulicas de jato plano angulado e drones agrícolas operando com distintos sistemas de geração de gotas podem contribuir para a compreensão dos mecanismos envolvidos na deposição da calda e na eficiência biológica dos fungicidas. Assim, a geração dessas informações poderá subsidiar recomendações técnicas mais precisas e sustentáveis, promovendo maior eficiência no manejo da mancha-parda e de outras doenças foliares de importância econômica para a cultura da soja.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Local e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos durante as safras 2024/2025 e 2025/2026 na Estação de Pesquisa e Desenvolvimento da UPL, localizada no município de Pereiras, SP (23°09'09.4"S 47°57'25.9"W). Em ambas as safras, foram mantidas as condições experimentais, incluindo a cultivar de soja utilizada, os tratos culturais, o delineamento experimental, as dimensões das parcelas, os tratamentos avaliados, os intervalos entre aplicações e os volumes de calda empregados, permitindo a comparação consistente dos resultados obtidos entre os anos agrícolas.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), composto por quatro tratamentos e seis repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes tecnologias de aplicação de fungicidas, descritas a seguir:

T1: testemunha sem aplicação de fungicidas; T2: aplicação de fungicidas com pontas tridimensionais FC-3D100-015, posicionadas no mesmo sentido do deslocamento do conjunto trator-pulverizador; T3: aplicação de fungicidas com pontas tridimensionais FC-3D100-015 posicionadas de forma alternada na barra de pulverização, com uma ponta direcionada para frente e a seguinte para trás em relação ao deslocamento do conjunto trator-pulverizador; T4: aplicação de fungicidas com drone agrícola equipado com atomizadores rotativos.

As parcelas destinadas ao tratamento com drone possuíam dimensões de 12 × 12 m (largura × comprimento), totalizando área de 144 m², enquanto as parcelas submetidas às aplicações terrestres e a testemunha apresentavam dimensões de 12 × 6 m, correspondendo a uma área total de 72 m². Em todos os tratamentos, a área útil para avaliação foi padronizada em 2,5 × 5 m (12,5 m²), localizada na região central da parcela, com o objetivo de minimizar possíveis efeitos de bordadura.

A disposição dos tratamentos na área experimental encontra-se representada no apêndice A.

1.2.2 Equipamentos de pulverização e condições operacionais

A aplicação terrestre foi realizada utilizando-se um pulverizador de barras Condor 800 AM14 Masterflow, acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um

trator Case Farmall 95. O conjunto foi equipado com pontas de pulverização de jato plano angulado FC-3D 100-015, calibradas para proporcionar uma taxa de aplicação de 90 L ha^{-1} , operando à pressão de trabalho de 200 kPa. Durante as aplicações, o motor do trator foi mantido a 1.700 rpm, permitindo a obtenção de 540 rpm na tomada de potência (TDP), condição necessária para o adequado funcionamento do equipamento.

A pulverização aérea foi realizada com um drone agrícola XAG P30, equipado com tanque com capacidade para 16 L e sistema de atomização rotativa composto por quatro bicos, com vazão máxima de $7,2 \text{ L min}^{-1}$. O equipamento possui sistema de posicionamento RTK de precisão centimétrica, sensores e radar para ajuste automático da altura de voo e desvio de obstáculos, possibilitando a operação autônoma em diferentes condições de terreno. Para as aplicações, foi adotada largura de faixa de 3 m, altura de voo de 4 m e velocidade operacional de 3 m s^{-1} , parâmetros que possibilitaram a obtenção da taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} .

Em ambos os sistemas de aplicação, o espectro de gotas se enquadrou na classe de gotas médias, conforme a classificação proposta pela ASABE (2009), visando padronizar as condições de pulverização e permitir a adequada comparação entre as tecnologias avaliadas.

1.2.3 Aplicação dos Fungicidas

Para o manejo das doenças da soja, foram utilizados fungicidas formulados comercialmente, sem a realização de mistura em tanque, uma vez que os ingredientes ativos já se encontravam combinados em uma única formulação. Foram utilizados dois produtos: Produto A, composto por azoxistrobina, mancozebe e tebuconazol; e Produto B, composto por azoxistrobina, mancozebe e prothioconazol. Em todas as aplicações, os fungicidas foram associados ao adjuvante à base de éster metílico de soja, na concentração de 0,25% (v/v).

O programa fitossanitário consistiu em quatro aplicações fungicidas (A, B, C e D), sendo a primeira realizada no período de pré-fechamento da cultura, entre os estádios fenológicos V6 e V8, e as demais efetuadas em intervalos de 14 dias.

As aplicações A e D foram realizadas com o Produto A, contendo azoxistrobina ($94 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), mancozebe ($1.194 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e tebuconazol ($112 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), associado ao adjuvante éster metílico de soja a 0,25% (v/v). As aplicações B e C foram

realizadas com o Produto B, composto por azoxistrobina (75 g i.a. ha⁻¹), mancozebe (1.050 g i.a. ha⁻¹) e protioconazol (75 g i.a. ha⁻¹), também associado ao adjuvante éster metílico de soja a 0,25% (v/v).

As doses dos ingredientes ativos foram estabelecidas conforme as recomendações registradas em bula para cada produto comercial, garantindo a aplicação das quantidades preconizadas para o manejo das doenças-alvo. Nas aplicações realizadas com pulverizador terrestre, os tratamentos T2 e T3 receberam volume de calda de 90 L ha⁻¹. Para o tratamento T4, conduzido com drone agrícola, foi adotado volume de aplicação de 30 L ha⁻¹.

Tabela 1 – Quantidade de ingrediente ativo e aplicação dos produtos

Produto	Ingrediente ativo (i.a.)	Aplicação
Produto A	Azoxistrobina (94)	AD
	Mancozeb (1194)	
	Tebuconazol (112)	
Produto B	Azoxistrobina (75)	BC
	Mancozeb (1050)	
	Protioconazol (75)	
Éster metílico de soja (0,25% V/V)		ABCD

i.a.: ingrediente ativo

As aplicações fungicidas foram realizadas de forma preventiva, ou seja, antes da observação de sintomas visíveis de septoriose (*Septoria glycines*). Essa estratégia foi adotada em função das características epidemiológicas desses patógenos, que apresentam capacidade de infecção precoce e desenvolvimento inicial assintomático, dificultando a detecção em estádios iniciais da doença e reduzindo a eficiência de medidas de controle realizadas após o estabelecimento da infecção (Seixas *et al.*, 2020; Godoy *et al.*, 2025). A proteção antecipada do dossel foliar é amplamente recomendada em programas de manejo integrado de doenças, especialmente em regiões com histórico de ocorrência dos patógenos e condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento.

A septoriose ou mancha-parda, embora normalmente apresente danos tão elevados quando a aos observados para a ferrugem da soja, possui ampla distribuição nas regiões produtoras de soja e pode comprometer significativamente o enchimento de grãos quando ocorre sob condições favoráveis de temperatura e umidade (Seixas

et al., 2020). A doença é classificada como uma doença de final de ciclo, porém o patógeno pode estar presente na lavoura desde os estádios vegetativos, sobrevivendo em restos culturais e evoluindo gradativamente do terço inferior para os estratos superiores do dossel ao longo do ciclo da cultura. Em situações de elevada severidade, a desfolha precoce pode resultar em reduções expressivas no peso dos grãos e na produtividade final da lavoura.

A superioridade das aplicações preventivas está associada ao modo de ação da maioria dos fungicidas utilizados na cultura da soja, que apresentam predominantemente atividade protetora. Quando posicionados antes da infecção, esses produtos formam uma barreira química sobre a superfície foliar, dificultando a germinação dos esporos e a penetração do patógeno nos tecidos vegetais. Por outro lado, aplicações realizadas após o estabelecimento da doença tendem a apresentar menor eficiência de controle (Godoy *et al.*, 2024; EMBRAPA, 2025).

Portanto, programas fungicidas estruturados com aplicações preventivas contribuem para a redução da pressão inicial de inóculo, retardam o progresso das epidemias, preservam a área foliar fotossinteticamente ativa e favorecem a manutenção dos componentes de rendimento da cultura. Essa estratégia torna-se ainda mais importante diante do atual cenário de redução de sensibilidade dos patógenos a fungicidas sítio-específicos, sendo considerada um dos pilares do manejo integrado de doenças da soja (Godoy *et al.*, 2025; EMBRAPA, 2025).

1.2.4 Irrigação

Durante as safras 2024/25 e 2025/26, nos períodos sem ocorrência de precipitação pluvial, foi realizada irrigação suplementar diária correspondente a uma lâmina de 10 mm de água. O objetivo dessa prática foi manter condições favoráveis ao desenvolvimento das doenças, proporcionando elevada umidade relativa do ar e prolongando o período de molhamento foliar. Tais condições são reconhecidamente essenciais para a germinação de conídios de *Septoria glycines*, bem como para os processos de infecção e progressão das epidemias. Dessa forma, buscou-se garantir pressão homogênea de doença nas áreas experimentais e condições adequadas para a avaliação da eficiência dos tratamentos e tecnologias de aplicação investigados.

1.2.5 Adubação

A análise química do solo da área experimental indicou elevada fertilidade, com condições adequadas para o desenvolvimento da cultura da soja (anexo A). O solo apresentou pH de 5,8, ausência de alumínio trocável, saturação por bases de 73% e capacidade de troca catiônica (CTC) de 104 mmolc dm⁻³, evidenciando ambiente químico favorável ao crescimento radicular e à absorção de nutrientes. Segundo Raij *et al.* (1997), valores de saturação por bases acima de 70% e ausência de alumínio tóxico são indicativos de boa condição química do solo para culturas anuais, reduzindo a probabilidade de resposta à calagem corretiva.

Os teores de fósforo (260 mg dm⁻³) e potássio (4,8 mmolc dm⁻³) foram classificados como altos a muito altos, enquanto os teores de cálcio (52 mmolc dm⁻³) e magnésio (19 mmolc dm⁻³) também se encontravam em níveis elevados. Adicionalmente, a matéria orgânica apresentou teor de 31 g dm⁻³, valor considerado adequado para áreas agrícolas intensivamente cultivadas. De acordo com Raij *et al.* (1997) e Cantarella, Quaggio e Raij (2022), solos com elevada disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio apresentam menor probabilidade de resposta agronômica à adubação corretiva, especialmente quando os nutrientes já se encontram acima dos níveis críticos estabelecidos para a cultura.

Os micronutrientes avaliados também apresentaram concentrações adequadas, sem indícios de deficiência nutricional. Além disso, a textura argilosa do solo, caracterizada por 442 g kg⁻¹ de argila, favorece a retenção de água e nutrientes, contribuindo para a manutenção da fertilidade e para a estabilidade produtiva da cultura (EMBRAPA, 2023).

Dessa forma, não houve necessidade de realização de calagem ou adubação corretiva na área experimental, uma vez que os atributos químicos do solo se encontravam acima dos níveis críticos recomendados para a soja. Conforme preconizado por Raij *et al.* (1997), Cantarella, Quaggio e Raij (2022) e EMBRAPA Soja (2023), a aplicação de corretivos e fertilizantes em solos com elevada disponibilidade de nutrientes tende a apresentar baixa resposta econômica e agronômica.

1.2.6 Avaliações

Nas safras 2024/25 e 2025/26, foram avaliadas a fitotoxidade, a severidade da mancha-parda (*Septoria glycines*), a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) e a produtividade de grãos. Adicionalmente, foram realizadas avaliações relacionadas à qualidade da pulverização, visando compreender a influência das tecnologias de aplicação sobre a deposição da calda e a eficiência dos tratamentos fitossanitários.

As variáveis utilizadas para caracterizar a qualidade da aplicação incluíram a cobertura de pulverização (%), a densidade de gotas (gotas cm⁻²), o diâmetro mediano volumétrico (DMV, µm), o potencial de risco de deriva (%) e a amplitude relativa (AR). Esses parâmetros são amplamente empregados em estudos de tecnologia de aplicação por permitirem uma avaliação detalhada da distribuição das gotas sobre o alvo, da uniformidade do espectro gerado e do potencial de perdas por deriva, fatores diretamente relacionados à eficiência biológica dos produtos fitossanitários e à sustentabilidade das aplicações (Matthews *et al.*, 2014; Ferguson *et al.*, 2016; Cunha *et al.*, 2020). Além disso, a adequada cobertura do alvo e a uniformidade das gotas constituem aspectos fundamentais para maximizar a deposição dos fungicidas no dossel da cultura, favorecendo o controle de doenças e reduzindo perdas operacionais.

1.2.6.1 Avaliação da fitotoxidade

A fitotoxidade foi avaliada visualmente antes de cada aplicação, e aos sete dias após a última aplicação. Para cada parcela foi atribuída uma nota geral utilizando uma escala percentual variando de 0 a 100%, em que 0 corresponde à ausência de sintomas e 100% representam a morte total das plantas (Reis *et al.*, 2010).

Durante as avaliações foram considerados sintomas visuais como clorose, necrose, deformações foliares, redução do crescimento e quaisquer alterações fisiológicas atribuídas à aplicação dos fungicidas, conforme critérios usualmente empregados em estudos de seletividade de produtos fitossanitários. A avaliação foi realizada antes de cada aplicação e sete dias depois da última aplicação.

1.2.6.2 Avaliação da severidade de *Septoria glycines*

A severidade da mancha-parda da soja (*Septoria glycines*) foi estimada com base na escala diagramática proposta por Soares *et al.* (2009). Em cada parcela experimental foram avaliados três pontos amostrais, nos quais foi estimado visualmente o percentual de área foliar lesionada pela doença.

As avaliações foram realizadas antes de cada aplicação dos tratamentos e aos 7, 14 e 21 dias após a última aplicação. Para atribuição das notas foi utilizada uma escala percentual de 0 a 100%, em que 0 representa ausência de sintomas e 100% correspondem ao máximo nível de severidade observado.

A eficiência dos tratamentos foi expressa por meio da porcentagem de controle da doença, calculada pela fórmula proposta por Abbott (1925):

$$Controle(\%) = \frac{T - t}{T} \times 100$$

Onde:

- T = severidade observada na testemunha;
- t = severidade observada no tratamento.

1.2.6.3 Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

O progresso da mancha-parda (*Septoria glycines*) foi quantificado por meio da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), parâmetro amplamente utilizado em estudos epidemiológicos por integrar a intensidade e a duração da doença ao longo do tempo (Campbell & Madden, 1990; Madden *et al.*, 2007).

A AACPD foi calculada a partir dos valores de severidade observados nas avaliações, utilizando a equação proposta por Campbell e Madden (1990):

$$AACPD = \sum \left[\frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} \times (T_{i+1} - T_i) \right]$$

Onde:

- Y_i = severidade da doença na avaliação i ;
- Y_{i+1} = severidade da doença na avaliação subsequente;
- T_i = tempo correspondente à avaliação i ;
- T_{i+1} = tempo correspondente à avaliação subsequente.

A AACPD possibilita uma análise mais robusta da dinâmica epidêmica das doenças, pois considera simultaneamente a intensidade dos sintomas e sua evolução durante o ciclo da cultura.

1.2.6.4 Produtividade de grãos

Para a determinação da produtividade foi realizada a colheita da área útil de cada parcela experimental utilizando uma colhedora de parcelas Wintersteiger®. O equipamento dispõe de sistema eletrônico de pesagem embarcado, permitindo a determinação individual da massa de grãos colhida em cada parcela.

Posteriormente, os valores obtidos foram corrigidos para 13% de umidade, padrão utilizado para expressar a produtividade da soja. Com base na massa corrigida, a produtividade foi calculada e extrapolada para kg ha^{-1} , permitindo a comparação entre os diferentes tratamentos avaliados.

A produtividade é considerada a variável mais importante para quantificar o retorno agrônomo e econômico das estratégias de manejo, representando a integração dos efeitos dos tratamentos sobre a proteção foliar, sanidade da cultura e manutenção do potencial produtivo (EMBRAPA, 2023).

1.2.6.5 Avaliação da deposição da pulverização

A qualidade da pulverização foi avaliada por meio da utilização de papéis hidrossensíveis, distribuídos nas parcelas experimentais imediatamente antes da realização das aplicações. Em cada parcela foi posicionado um papel hidrossensível no centro da entrelinha, à altura correspondente ao terço médio das plantas, região considerada representativa da deposição da calda fungicida no interior do dossel da cultura.

A escolha do terço médio das plantas como local de avaliação fundamentou-se na distribuição heterogênea das gotas ao longo do dossel. Em aplicações de produtos fitossanitários, uma parcela significativa das gotas é interceptada pelas folhas localizadas no terço superior da planta, enquanto os estratos inferiores apresentam maiores dificuldades de deposição em função do sombreamento, da elevada densidade foliar e das barreiras físicas impostas pela arquitetura da cultura. Nesse contexto, o terço médio representa uma região intermediária de deposição, permitindo

avaliar de forma mais equilibrada a capacidade de penetração, distribuição e retenção das gotas ao longo do dossel (Cunha *et al.*, 2010; Matthews, 2008).

Segundo Antuniassi e Boller (2019), a deposição observada no terço médio constitui um dos indicadores mais representativos da qualidade da aplicação, pois as gotas, ao atingirem essa região, já foram submetidas aos principais processos físicos envolvidos na pulverização, incluindo desaceleração, interceptação pelas folhas superiores, redistribuição no dossel e influência das condições microclimáticas da cultura. Dessa forma, as avaliações realizadas nesse estrato permitem inferir com maior precisão a eficiência operacional das tecnologias de aplicação empregadas. Matthews (2008) reforça que avaliações em regiões intermediárias do dossel proporcionam uma representação mais fiel do comportamento do espectro de gotas após a aplicação.

Além disso, Cunha *et al.* (2014) demonstraram que avaliações restritas ao terço superior podem superestimar a eficiência da pulverização, enquanto avaliações realizadas exclusivamente no terço inferior tendem a subestimar o desempenho dos sistemas de aplicação devido às limitações de penetração das gotas. A deposição varia significativamente entre os diferentes extratos do dossel, sendo o terço médio uma posição adequada para caracterizar a distribuição da pulverização em culturas com elevado índice de área foliar. Assim, essa região minimiza possíveis distorções na interpretação dos resultados, permitindo uma análise mais representativa da distribuição da calda no interior da cultura.

Essa abordagem torna-se ainda mais relevante para o manejo de doenças foliares da soja, como a mancha-parda (*Septoria glycines*), cujos processos de infecção geralmente se iniciam nas regiões mais baixas e sombreadas da planta. Nesses casos, a capacidade das gotas de atravessar o dossel e atingir os estratos internos torna-se fator determinante para a eficiência do controle químico. De acordo com Reis *et al.* (2010), a deposição adequada no terço médio está diretamente relacionada à proteção das folhas inferiores e à eficácia dos fungicidas no manejo dessas doenças. De forma complementar, Raetano *et al.* (2011) destacam que a penetração e a cobertura das gotas no interior do dossel constituem fatores decisivos para o sucesso das aplicações de fungicidas na cultura da soja.

Com o objetivo de representar de forma mais fiel as condições de deposição encontradas durante o desenvolvimento da cultura, as avaliações dos papéis hidrossensíveis foram realizadas apenas na segunda e terceira aplicações dos

fungicidas. Essa estratégia foi adotada porque, na primeira aplicação, as plantas apresentavam reduzido fechamento do dossel, permitindo que grande parte das gotas pulverizadas atingisse diretamente os papéis hidrossensíveis. Nessa condição, os valores de cobertura da pulverização e densidade de gotas tendem a ser superestimados, uma vez que praticamente não há interceptação foliar suficiente para representar a real capacidade de penetração das gotas no interior do dossel. Por outro lado, na quarta aplicação, as plantas apresentavam elevado fechamento foliar, dificultando a chegada das gotas ao terço médio e podendo resultar em subestimação da eficiência dos sistemas de aplicação. Dessa forma, a segunda e a terceira aplicações foram consideradas as mais representativas para a comparação entre as tecnologias avaliadas, pois correspondem ao período em que a cultura apresenta arquitetura intermediária, exigindo maior capacidade de penetração, distribuição e cobertura das gotas no interior do dossel (Cunha *et al.*, 2014; Antuniassi e Boller, 2019; Raetano *et al.*, 2011).

Após as aplicações, os papéis hidrossensíveis foram coletados e analisados por meio do equipamento DropScope® (SprayX), responsável pela leitura digital das gotas depositadas e pela determinação automática dos parâmetros de cobertura da pulverização (%), densidade de gotas (gotas cm⁻²), diâmetro mediano volumétrico (DMV, µm), potencial de risco de deriva (%) e amplitude relativa (AR). A utilização de papéis hidrossensíveis é amplamente empregada em estudos de tecnologia de aplicação por apresentar elevada praticidade e confiabilidade na estimativa da deposição de gotas sobre o alvo, permitindo comparações consistentes entre diferentes sistemas e estratégias de pulverização (Cunha *et al.*, 2012; Ferguson *et al.*, 2016; Matthews *et al.*, 2014). Dessa forma, os parâmetros obtidos fornecem informações fundamentais para a compreensão da qualidade das aplicações e de sua relação com a eficiência fitossanitária observada nos tratamentos avaliados.

1.2.6.7 Análise estatística

Os dados obtidos para todas as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos ($p \leq 0,05$), as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. A utilização do teste de Scott-Knott é recomendada em experimentos agrícolas por proporcionar a formação de grupos homogêneos de

médias, minimizando ambiguidades na interpretação dos resultados quando há grande número de tratamentos (Scott & Knott, 1974; Bhering *et al.*, 2008). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software ARM® (Agricultural Research Manager).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Safra 2024/25 e 2025/26 de septoriose (*Septoria glycines*)

O experimento referente à safra 2024/25 foi implantado em 08 de outubro de 2024, enquanto o experimento da safra 2025/26 foi semeado em 16 de outubro de 2025. Em ambas as safras, foi utilizada a cultivar de soja 55I57RSF IPRO (ZEUS), escolhida por sua ampla adaptação às condições da região e elevado potencial produtivo.

A população final de plantas foi estabelecida em 320.000 plantas ha⁻¹ nas duas safras, buscando proporcionar adequada uniformidade do estande e condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Antes da semeadura, as sementes foram submetidas a tratamento de sementes onfarm contendo a combinação de fungicidas e inseticidas, com o objetivo de proteger as plântulas contra patógenos e insetos de solo durante as fases iniciais de desenvolvimento, favorecendo um estabelecimento mais uniforme da lavoura.

A colheita dos experimentos foi realizada quando a cultura atingiu a maturação fisiológica e apresentou condições adequadas para a operação mecanizada. Na safra 2024/25, a colheita foi efetuada em 25 de fevereiro de 2025, enquanto na safra 2025/26 ocorreu em 27 de março de 2026.

A condução dos experimentos, desde a semeadura até a colheita, seguiu as recomendações técnicas para a cultura da soja, visando minimizar interferências externas e garantir condições adequadas para a avaliação dos tratamentos propostos. As datas de aplicação dos tratamentos fungicidas em cada safra estão apresentadas a seguir.

Tabela 2 – Data das aplicações do ensaio de *Septoria glycines*.

Aplicação	Septoriose 2024/25	Septoriose 2025/26
A	12/11/2024	26/11/2025

B	26/11/2024	10/12/2025
C	10/12/2024	24/12/2025
D	24/12/2024	07/01/2026

Durante a safra 2024/25, o volume acumulado de precipitação pluvial registrado entre a semeadura e a colheita foi de 642 mm. Na safra 2025/26, a precipitação acumulada no mesmo período foi de 704 mm. Essas condições hídricas, associadas às temperaturas predominantes e aos níveis de umidade relativa do ar observados ao longo do ciclo da cultura, influenciaram diretamente o desenvolvimento vegetativo da soja e a dinâmica epidemiológica das doenças avaliadas.

Os dados meteorológicos referentes à precipitação pluvial monitorados durante a condução dos experimentos, encontram-se apresentados no apêndice B e C. Essas informações são importantes para a contextualização das condições ambientais sob as quais os experimentos foram conduzidos, uma vez que fatores climáticos exercem influência significativa sobre o desenvolvimento da cultura, a eficiência das aplicações fitossanitárias e o progresso de doenças como a mancha-parda (*Septoria glycines*) (Campbell & Madden, 1990; Godoy *et al.*, 2016).

1.3.2 Fitotoxicidade

Tabela 3 – Fitotoxicidade (%) causada por fungicidas em plantas de soja no experimento de *Septoria glycines*, safras 2024/2025 e 2025/26. Pereiras, SP.

Trat	Fitotoxicidade (%)							
	Safr 2024/25				Safr 2025/26			
	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD
T1	0 na	0 na	0 c	0 c	0 na	0 na	0 c	0 c
T2	0 na	0 na	1,3 b	2,2 b	0 na	1 na	1,4 b	2,5 b
T3	0 na	0 na	1,2 b	2,3 b	0 na	1 na	1,4 b	2,4 b
T4	0 na	0 na	1,7 a	3,1 a	0 na	1 na	1,9 a	3,3 a
CV%	0	0	21,16	12,3	0	0	9,73	5,49

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

A baixa incidência de fitotoxicidade observada nas plantas de soja nos experimentos com *Septoria glycines*, em ambas as safras avaliadas, pode estar

associada à presença do fungicida multissítio mancozebe nas misturas fungicidas utilizadas. Estudos têm demonstrado que fungicidas do grupo dos inibidores da desmetilação (DMIs), especialmente os triazóis, podem induzir alterações fisiológicas nas plantas, incluindo redução da atividade fotossintética, desequilíbrios hormonais e aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), resultando em sintomas visíveis de fitotoxicidade. Nesse contexto, a intensidade dos danos está diretamente relacionada à capacidade da planta em neutralizar o excesso de radicais livres gerados após a aplicação dos produtos.

Marques (2017) verificou que a associação de mancozebe a fungicidas triazóis reduziu significativamente a manifestação dos sintomas fitotóxicos em soja. De forma semelhante, Machry *et al.* (2017) observaram reduções médias de aproximadamente 16% nos sintomas foliares de fitotoxicidade, podendo atingir até 31% em tratamentos contendo protioconazol. Esses resultados sugerem que o mancozebe exerce um efeito protetor sobre o metabolismo vegetal, minimizando os impactos fisiológicos decorrentes da aplicação de fungicidas sistêmicos.

Além do efeito fungicida, o mancozebe é fonte de manganês (Mn) e zinco (Zn), micronutrientes que desempenham papel fundamental nos mecanismos antioxidantes das plantas. O manganês atua como componente estrutural da enzima superóxido dismutase (Mn-SOD), responsável pela conversão do radical superóxido em peróxido de hidrogênio, enquanto o zinco participa da estabilização de membranas celulares e da regulação de enzimas antioxidantes. Dessa forma, a presença desses elementos pode favorecer a manutenção do equilíbrio redox celular e reduzir os danos oxidativos provocados por condições de estresse químico (Marschner, 2012; Broadley *et al.*, 2007).

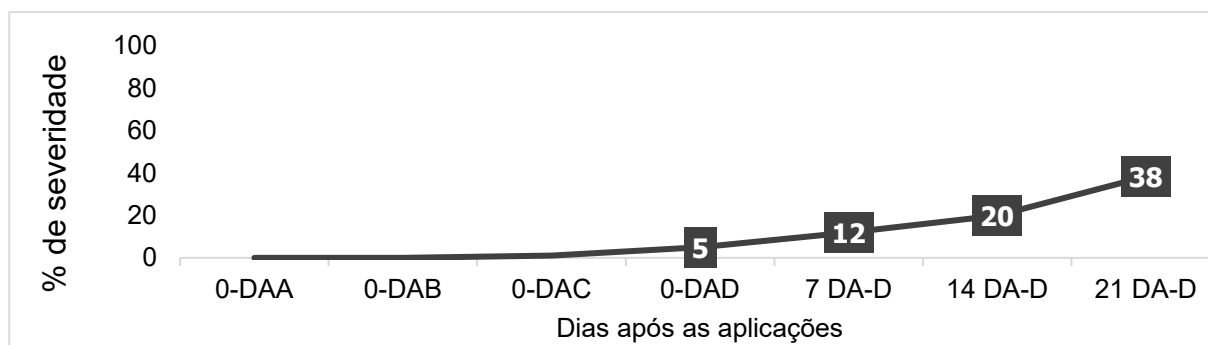
De acordo com Cakmak (2000), a deficiência ou o desequilíbrio desses micronutrientes aumenta a susceptibilidade das plantas ao estresse oxidativo devido à menor capacidade de eliminação das espécies reativas de oxigênio. Foyer e Noctor (2005) destacam que o acúmulo excessivo de EROs promove peroxidação lipídica, degradação de pigmentos fotossintéticos e danos às membranas celulares, efeitos frequentemente associados à ocorrência de fitotoxicidade após aplicações de defensivos agrícolas. Adicionalmente, Gill e Tuteja (2010) demonstraram que a eficiência dos sistemas antioxidantes enzimáticos constitui um dos principais fatores determinantes da tolerância das plantas a diferentes tipos de estresse abiótico e químico.

Dessa forma, os baixos níveis de fitotoxicidade observados no presente estudo podem ser atribuídos, ao menos parcialmente, ao efeito mitigador proporcionado pelo mancozebe presente nas misturas fungicidas, tanto pela redução direta dos efeitos adversos dos fungicidas sistêmicos quanto pelo possível fortalecimento dos mecanismos antioxidantes da planta, contribuindo para a preservação da integridade fisiológica e funcional do dossel foliar.

1.3.3 Evolução da doença

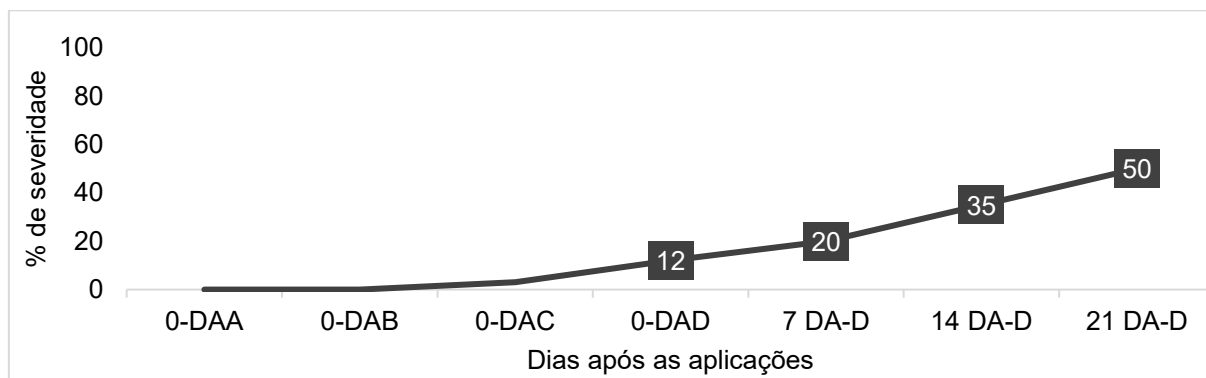
A evolução da mancha-parda (*Septoria glycines*) nas parcelas testemunhas demonstrou que a pressão da doença foi elevada em ambas as safras, permitindo uma avaliação consistente da eficiência dos tratamentos fungicidas. Observou-se aumento progressivo da severidade ao longo do ciclo da cultura, especialmente a partir dos estádios reprodutivos, comportamento compatível com a epidemiologia da doença descrita na literatura. A intensidade da doença observada nas parcelas não tratadas confirma que houve condições adequadas para o desenvolvimento do patógeno, conferindo robustez experimental e confiabilidade às comparações realizadas entre as diferentes tecnologias de aplicação e estratégias de manejo avaliadas. Abaixo segue os gráficos da evolução de *Septoria glycines* nas parcelas sem a aplicação de fungicidas nas duas safras.

Figura 1 – Evolução da severidade de *Septoria glycines* na testemunha, safra 2024/25. Pereiras, SP.



0-DAA = 0 dias após a aplicação A; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D.

Figura 2 – Evolução da severidade de *Septoria glycines* na testemunha, safra 2025/26. Pereiras, SP.



0-DAA = 0 dias após a aplicação A; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D.

A safra 2025/26 apresentou maior pressão da mancha-parda (*Septoria glycines*), o que pode ser explicado pelas condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento do patógeno, especialmente pela maior frequência e melhor distribuição das chuvas durante o ciclo da cultura. A disponibilidade de água na superfície foliar é um dos principais fatores que influenciam a infecção e a progressão da doença, favorecendo sucessivos ciclos de infecção e resultando em maior incremento da severidade ao longo do tempo. Por outro lado, embora a safra 2024/25 tenha apresentado menor evolução da doença, os níveis de severidade observados nas parcelas testemunhas foram suficientes para caracterizar uma condição de pressão adequada do patógeno, permitindo avaliar com confiabilidade a eficiência dos tratamentos e a influência das diferentes tecnologias de aplicação estudadas. Dessa forma, ambas as safras proporcionaram condições experimentais satisfatórias para a validação dos resultados, ainda que sob níveis distintos de pressão da doença.

1.3.4 Severidade da mancha parda causada por *Septoria glycines*

O controle de *Septoria glycines* apresentou comportamento semelhante nas safras 2024/2025 e 2025/2026 (Tabelas 4 e 5). De modo geral, os tratamentos realizados com pulverização terrestre proporcionaram os maiores níveis de controle da mancha-parda, não sendo constatadas diferenças significativas entre as configurações de pontas 3D posicionadas em sentido único ou alternadas na barra de

pulverização. Esses resultados indicam que ambas as disposições das pontas foram igualmente eficientes na deposição dos fungicidas e no manejo da doença.

Em contrapartida, a aplicação realizada com drone apresentou menor eficiência de controle em ambas as safras avaliadas. Na safra 2024/2025, o controle da doença com essa tecnologia foi de aproximadamente 46%, enquanto na safra 2025/2026 o controle foi de cerca de 40%. Já os tratamentos com pulverização terrestre utilizando pontas 3D apresentaram níveis de controle superiores e estatisticamente semelhantes entre si, variando de 64% a 68% nas duas safras. Esses resultados evidenciam a superioridade das aplicações terrestres em relação à aplicação com drone nas condições experimentais estudadas, refletindo diretamente na redução da severidade da doença ao longo do ciclo da cultura.

Além disso, observa-se que o aumento da pressão da doença na safra 2025/2026 reduziu a eficiência de controle em todos os tratamentos. No entanto, mesmo sob condições mais favoráveis ao desenvolvimento de *S. glycines*, as aplicações terrestres mantiveram níveis de controle significativamente superior aos observados para o drone, demonstrando maior capacidade de proteção do dossel e de supressão do progresso da doença.

Tabela 4 – Severidade e controle (%) da doença causada por *Septoria glycines* na cultura da soja e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), safra 2024/25. Pereiras, SP.

Trat	Severidade (%)							AACPD	Controle AACPD (%)
	0-DAA	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD	14-DAD	21-DAD		
T1	0 na	0 na	1 na	4,3 a	13,3 a	22,3 a	38,3 a	440,7 a	0 c
T2	0 na	0 na	1 na	2,2 b	3,5 c	6,3 c	12 c	146 c	66,27 a
T3	0 na	0 na	0 na	2,3 b	3,3 c	7,7 c	14 c	136 c	68,72 a
T4	0 na	0 na	0 na	2,1 b	6,8 b	14,5 b	21,7 b	235,2 b	46,18 b
CV%	0	0	0	54	28	12	12,7	12,4	8,8

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Tabela 5 – Severidade e controle (%) da doença causada por *Septoria glycines* na cultura da soja e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), safra 2025/2026. Pereiras, SP.

Trat	Severidade (%)						AACPD	Controle AACPD (%)
	0-DAA	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD	14-DAD	21-DAD	
T1	0 na	0 na	3,7 a	14 a	24 a	36,2 a	52 a	803,8 a 0 c
T2	0 na	0 na	1 b	3,8 c	9 c	13,5 c	20 c	281,7 c 64,83 a
T3	0 na	0 na	1 b	3,5 c	8,3 c	12,8 c	19,3 c	266,6 c 66,67 a
T4	0 na	0 na	1 b	8,5 b	15 b	22,7 b	30,5 b	474,8 b 40,9 b
CV%	0	0	36,33	11,07	8,82	9,06	7,49	6,37 5,32

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Os resultados observados corroboram os obtidos por Teixeira (2024), que, ao comparar aplicações de fungicidas realizadas por drone e por pulverizador terrestre, verificou menor eficiência da tecnologia aérea no controle das doenças foliares da soja, incluindo *Septoria glycines*. Segundo o autor, a redução da eficiência do drone esteve associada principalmente à menor deposição de calda no dossel da cultura, refletindo em maiores níveis de severidade da doença ao longo do ciclo (Teixeira, 2024). De forma semelhante, no presente estudo, a aplicação com drone apresentou menores percentuais de controle em comparação aos tratamentos realizados com pulverização terrestre equipada com pontas 3D, evidenciando a influência direta da qualidade da aplicação sobre a eficácia dos fungicidas. Esses resultados sugerem que parâmetros como cobertura foliar, densidade de gotas e uniformidade de deposição desempenham papel decisivo no manejo de *S. glycines*, contribuindo para explicar o desempenho superior das aplicações terrestres observado em ambas as safras (Cunha *et al.*, 2010; Antuniassi & Boller, 2019; Teixeira, 2024).

1.3.5 Produtividade

Não foram observadas diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos com pulverização terrestre utilizando pontas 3D posicionadas em sentido

único (T2) ou alternadas na barra de pulverização (T3). Entretanto, ambos os tratamentos diferiram estatisticamente da aplicação realizada com drone (T4), que apresentou menores rendimentos nas duas safras avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Produtividade da soja no experimento de *Septoria glycines*, safra 2024/25 e 2025/26. Pereiras, SP.

Colheita 24/25					Colheita 25/26			
TRAT	Kg	Umidade	kg ha ⁻¹	SC/ ha ⁻¹	Kg	Umidade	kg ha ⁻¹	SC/ ha ⁻¹
T1	2,4 c	12 a	3260 c	54 c	2,6 c	12 a	3485 c	58,1 c
T2	3,3 a	12,3 a	4481 a	74,6 a	3,4 a	12,3 a	4592 a	76,5 a
T3	3,3 a	12,1 a	4446 a	74,1 a	3,3 a	12,1 a	4490 a	74,8 a
T4	2,9 b	12,2 a	3924 b	65,4 b	3 b	12,2 a	4013 b	66,9 b
CV%	3,19	1,5	3,16	3,16	4,53	1,5	4,46	4,46

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; SC= saca. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Na safra 2024/2025, os tratamentos T2 e T3 alcançaram produtividades de 74,6 e 74,1 sacas ha⁻¹, respectivamente, enquanto a aplicação com drone resultou em 65,4 sacas ha⁻¹. De forma semelhante, na safra 2025/2026, os tratamentos terrestres produziram entre 74,8 e 76,5 sacas ha⁻¹, ao passo que o tratamento com drone atingiu 66,9 sacas ha⁻¹.

Comparando-se os melhores tratamentos terrestres com a aplicação via drone, verificam-se ganhos produtivos de aproximadamente 9,2 sacas ha⁻¹ na safra 2024/2025 e 9,6 sacas ha⁻¹ na safra 2025/2026. Esses resultados evidenciam que o maior controle de *Septoria glycines* proporcionado pelas aplicações terrestres refletiu diretamente na preservação da área foliar fotossinteticamente ativa e, consequentemente, no incremento da produtividade da cultura. Segundo Sinclair e Hartman (1999), a redução da área foliar funcional causada pela mancha-parda compromete a interceptação de radiação solar e reduz a produção de fotoassimilados necessários ao enchimento dos grãos. De forma semelhante, Kimati *et al.* (2005) relatam que o aumento da severidade das doenças foliares está diretamente associado à redução do potencial produtivo da soja.

Os resultados demonstram uma relação inversa entre severidade da doença e produtividade, uma vez que os tratamentos que apresentaram menores valores de

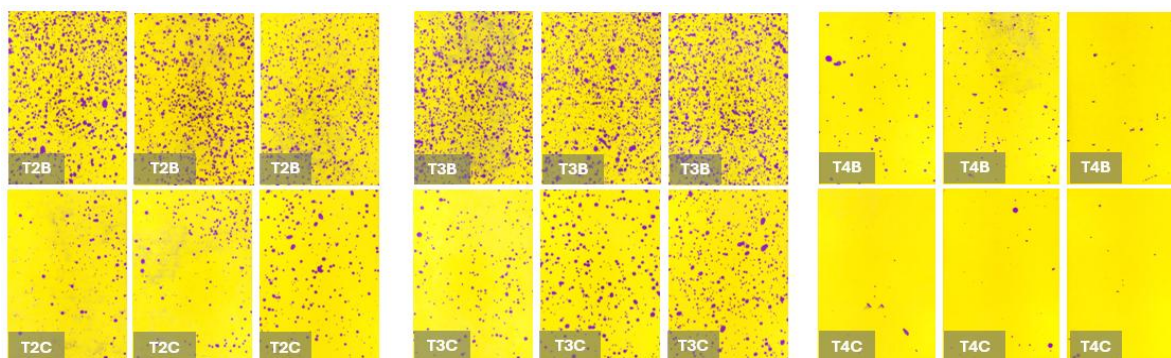
AACPD e severidade final foram também aqueles que proporcionaram os maiores rendimentos de grãos. Em contrapartida, a maior severidade observada no tratamento com drone resultou em reduções significativas de produtividade, evidenciando o impacto da mancha-parda sobre o desempenho da cultura. Essa relação entre intensidade da doença e perdas de rendimento já foi descrita por Almeida (1980a), que verificou reduções produtivas expressivas em situações de elevada severidade de *Septoria glycines*, e por Pataky e Lim (1981), que destacaram a importância do controle eficiente da doença para a manutenção do potencial produtivo da soja.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram aqueles relatados por Teixeira (2024), que também verificou menor produtividade em aplicações realizadas com drone quando comparadas à pulverização terrestre. Segundo o autor, a menor deposição dos fungicidas no interior do dossel reduziu a eficiência de controle das doenças foliares, resultando em maiores níveis de severidade e menores rendimentos da cultura. De forma semelhante, Batistella (2024) observou reduções expressivas de produtividade em aplicações realizadas com drone, associando esses resultados à menor cobertura foliar, menor densidade de gotas e menor eficiência de deposição da calda fungicida. Esses trabalhos reforçam que a qualidade da aplicação é um fator determinante para o manejo de doenças e para a obtenção de elevados rendimentos na cultura da soja.

1.3.6 Análise dos papéis hidrossensíveis

Não foi possível realizar a leitura dos papéis hidrossensíveis na safra 2024/2025, pois a ocorrência de chuva na noite anterior às aplicações resultou na presença de água retida no terço médio das plantas no momento da pulverização. Como as aplicações foram realizadas no período da manhã, as impressões das gotas nos papéis foram comprometidas pela umidade residual presente no dossel, impossibilitando a obtenção de dados confiáveis para a análise da qualidade da pulverização. Dessa forma os dados apresentados são referentes a safra 2025/26.

Figura 3 – Imagens digitalizadas dos papéis hidrossensíveis no experimento com *Septoria*, safra 25/26. Pereiras, SP



T2B= aplicação em sentido único aplicação B; T2C= aplicação em sentido único aplicação C; T3B= Aplicação em sentido alternado aplicação B; T3C= Aplicação em sentido alternado aplicação C; T4B= Drone aplicação B; T4C= Drone aplicação

Tabela 7 – Parâmetros qualitativos da pulverização em papel hidrossensível no experimento com *Septoria glycines* na cultura da soja, safra 2025/2026. Pereiras, SP.

Trat	2 Aplicação					3 Aplicação				
	CO	DS	DMV (µm)	Deriva (%)	AR	CO	DS	DMV (µm)	Deriva (%)	AR
T2	18 a	204 a	270,02 b	2,85 b	1,02 b	13,3 a	94,93 a	252,78 b	1,4 b	0,92 b
T3	18,1 a	204,5 a	275,43 b	2,73 b	1,10 b	13 a	94,7 a	261,98 b	1,1 b	0,92 b
T4	2,3 b	35,3 b	326,96 a	15,7 a	1,5 a	2,3 b	25,8 b	261,98 b	15,8 a	1,22 a
CV	5,9	1,23	13,07	5,44	9,44	6,5	1,18	3,99	12	7,13

T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; CO = Cobertura (%); DS= Densidade (gotas/cm²); DMV= Diâmetro mediano volumétrico; AR= amplitude relativa. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

1.3.7 Parâmetros qualitativos da pulverização em papel hidrossensível no experimento com *Septoria glycines* na safra 2025/2026

Os resultados obtidos por meio dos papéis hidrossensíveis demonstraram diferenças expressivas entre as tecnologias de aplicação avaliadas, evidenciando a superioridade dos tratamentos realizados com pulverizador terrestre equipado com pontas 3D em relação à aplicação com drone (Tabela 7). De maneira geral, os tratamentos T2 (pontas em único sentido) e T3 (pontas alternadas) apresentaram comportamento semelhante para todas as variáveis analisadas, não diferindo estatisticamente entre si, enquanto o tratamento com drone (T4) apresentou desempenho inferior em todos os parâmetros relacionados à deposição da pulverização.

A cobertura da pulverização manteve-se próxima de 18% na segunda aplicação e em torno de 13% na terceira aplicação para os tratamentos terrestres (T2 e T3). Em contrapartida, o tratamento com drone apresentou apenas 2,3% de cobertura em ambas as avaliações. Isso representa redução superior a 85% na cobertura foliar quando comparado às aplicações terrestres. A menor cobertura observada no tratamento com drone indica menor área da superfície foliar protegida pela calda fungicida, fator particularmente importante para fungicidas de ação protetora e multissítio, como aqueles utilizados no presente estudo.

Da mesma forma, a densidade de gotas apresentou diferenças marcantes entre as tecnologias. Na segunda aplicação, os tratamentos T2 e T3 apresentaram aproximadamente 204 gotas cm^{-2} , enquanto o drone registrou apenas 35,3 gotas cm^{-2} . Na terceira aplicação, os valores foram de aproximadamente 95 gotas cm^{-2} para os tratamentos terrestres e apenas 25,8 gotas cm^{-2} para o drone. Assim, a pulverização terrestre proporcionou densidade de gotas entre três e seis vezes superior à obtida pela aplicação aérea. Esses resultados demonstram maior probabilidade de contato do fungicida com o alvo biológico e ajudam a explicar os maiores níveis de controle de *Septoria glycines* observados nos tratamentos T2 e T3.

Em relação ao diâmetro mediano volumétrico (DMV), os tratamentos terrestres apresentaram valores entre 252 e 275 μm , enquanto o tratamento com drone apresentou DMV variando entre 283 e 327 μm . Embora gotas maiores apresentem menor suscetibilidade à evaporação, elas tendem a reduzir a quantidade de impactos por unidade de área, comprometendo a densidade de deposição e a cobertura foliar. Esse comportamento foi claramente observado no presente trabalho, no qual os maiores valores de DMV do drone estiveram associados aos menores valores de cobertura e densidade de gotas.

O potencial de deriva apresentou uma das diferenças mais expressivas entre as tecnologias avaliadas. Nos tratamentos terrestres, os valores permaneceram entre 1,1 e 2,9%, enquanto no drone foram próximos de 16% nas duas aplicações. Isso indica que uma parcela significativa do volume pulverizado não atingiu o alvo, reduzindo a eficiência da deposição da calda fungicida. Consequentemente, a menor quantidade de fungicida retida no dossel contribuiu para a redução do controle da doença observada nesse tratamento.

A amplitude relativa (AR) também reforça essa interpretação. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram valores entre 0,92 e 1,10, indicando espectro de gotas relativamente uniforme. Em contraste, o tratamento com drone apresentou valores entre 1,22 e 1,50, caracterizando maior heterogeneidade no tamanho das gotas produzidas. Tal condição favorece simultaneamente a ocorrência de gotas muito finas, mais suscetíveis à deriva, e gotas excessivamente grossas, que tendem a reduzir a cobertura e aumentar perdas por escoamento.

A análise conjunta dessas variáveis demonstra que o melhor controle de *Septoria glycines* obtido pelas aplicações terrestres não foi resultado de um único parâmetro, mas da combinação de maior cobertura foliar, elevada densidade de gotas,

menor potencial de deriva e maior uniformidade do espectro de pulverização. Por outro lado, a aplicação com drone apresentou limitações importantes relacionadas à deposição da calda no interior do dossel, refletindo diretamente nos menores níveis de controle da doença e nas menores produtividades observadas. Dessa forma, os resultados indicam que, nas condições avaliadas, a qualidade da pulverização foi determinante para a eficiência do manejo químico da mancha-parda da soja.

Os resultados observados no presente estudo estão de acordo com diversos trabalhos que demonstram a forte relação entre a qualidade da pulverização e a eficiência do controle de doenças foliares na cultura da soja. Os maiores valores de cobertura da pulverização e densidade de gotas obtidos nos tratamentos com pulverização terrestre (T2 e T3) contribuíram para uma deposição mais uniforme dos fungicidas sobre o dossel, condição essencial para maximizar a eficiência de moléculas de ação predominantemente protetora, especialmente aquelas que contêm fungicidas multissítios, como o mancozebe (Cunha *et al.*, 2014; Antuniassi; Boller, 2019).

A densidade de gotas observada nos tratamentos terrestres, superior a 200 gotas cm^{-2} na segunda aplicação e próxima de 95 gotas cm^{-2} na terceira aplicação, manteve-se acima dos níveis considerados adequados para aplicações fungicidas em culturas de dossel fechado. Segundo Matthews (2008), aplicações que proporcionam elevada densidade de gotas aumentam a probabilidade de contato entre o fungicida e o alvo biológico, favorecendo a formação de uma camada protetora mais uniforme sobre a superfície foliar. Em contrapartida, os baixos valores observados no tratamento com drone, variando entre 25 e 35 gotas cm^{-2} , reduzem significativamente a cobertura efetiva do alvo e podem comprometer o desempenho dos fungicidas (Matthews, 2008; Cunha *et al.*, 2010).

Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira (2023), que verificou maior densidade de gotas e melhor deposição da pulverização em aplicações terrestres quando comparadas à aplicação por drone em diferentes estratos do dossel da soja. Da mesma forma, Batistella (2024) observou que reduções na densidade de gotas estiveram associadas ao aumento da severidade das doenças foliares e à redução da produtividade, reforçando a importância desse parâmetro na eficiência do controle fitossanitário. Teixeira (2024) também relatou menor deposição de gotas e menor cobertura foliar em aplicações realizadas com drone, refletindo em menores níveis de controle de doenças.

A menor eficiência da aplicação com drone observada neste trabalho também pode ser explicada pelos maiores valores de potencial de deriva e amplitude relativa. Enquanto os tratamentos terrestres apresentaram deriva inferior a 3%, o tratamento com drone apresentou valores próximos a 16%, indicando que parte significativa do volume pulverizado não atingiu o alvo desejado. Segundo Zhu *et al.* (2000) e Antuniassi e Baio (2008), perdas por deriva estão diretamente associadas à redução da deposição efetiva e podem comprometer significativamente a eficiência agrônômica das pulverizações, especialmente em doenças que exigem elevada cobertura foliar.

Além disso, os maiores valores de amplitude relativa observados na aplicação com drone evidenciam um espectro de gotas menos uniforme. Cunha *et al.* (2014) destacam que espectros mais homogêneos favorecem a distribuição da pulverização e aumentam a capacidade de cobertura do alvo, enquanto espectros heterogêneos elevam simultaneamente os riscos de deriva e escoamento. Esse comportamento foi observado no presente estudo, no qual os tratamentos com melhor uniformidade de gotas também apresentaram maiores níveis de cobertura e densidade de deposição.

Especificamente para doenças como a mancha-parda (*Septoria glycines*), que tem seu desenvolvimento inicialmente concentrado nos estratos inferiores e intermediários do dossel, a capacidade de penetração das gotas assume papel fundamental. Reis *et al.* (2010) e Raetano *et al.* (2011) relatam que a eficiência dos fungicidas está diretamente relacionada à capacidade da tecnologia de aplicação em transportar o produto para o interior da planta, protegendo as regiões onde a infecção normalmente se estabelece. Dessa forma, os melhores resultados de controle obtidos nos tratamentos T2 e T3 podem ser atribuídos, pelo menos parcialmente, à maior qualidade da pulverização observada nesses tratamentos.

Portanto, os resultados obtidos reforçam que a superioridade dos tratamentos terrestres no controle de *Septoria glycines* não está associada apenas a um único parâmetro da pulverização, mas ao conjunto de características que favoreceram uma deposição mais eficiente da calda fungicida, incluindo maior cobertura, maior densidade de gotas, menor deriva e maior uniformidade do espectro de gotas. Esses fatores contribuíram diretamente para os menores valores de severidade e AACPD observados nas parcelas tratadas com pontas 3D, refletindo posteriormente em maiores produtividades.

1.4 CONCLUSÃO

A tecnologia de aplicação influenciou diretamente a qualidade da pulverização, o controle de *Septoria glycines* e a produtividade da soja.

As aplicações terrestres com pontas 3D proporcionaram maior cobertura foliar, maior densidade de gotas e menor potencial de deriva, resultando em melhor deposição dos fungicidas e maior eficiência de controle das doenças.

Não houve diferença entre as configurações de pontas 3D avaliadas, indicando desempenho semelhante entre o posicionamento em sentido único e alternado.

As aplicações de fungicidas apresentaram baixa fitotoxicidade, sem impacto sobre o desenvolvimento da cultura.

A aplicação com drone apresentou menor qualidade de pulverização, menor controle das doenças e menor produtividade quando comparada às aplicações terrestres.

Dessa forma, nas condições deste estudo, a pulverização terrestre com pontas 3D foi a tecnologia mais eficiente para o manejo de *Septoria glycines*, proporcionando maior controle das doenças e maiores produtividades da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **RBAC-E nº 94: requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil**. Brasília, DF: ANAC, 2023. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br>>. Acesso em: 16 set. 2026.

ALMEIDA, A. M. R. Efeito da mancha-parda da soja (*Septoria glycines* Hemmi) sobre a produção. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 5, n. 2, p. 279-289, 1980.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph: ASABE, 2009. (Standard S572.1).

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação e sua influência na eficiência das pulverizações agrícolas. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 125-139, 2008.

ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2019. 373 p.

BATISTELLA, Bruna Flores. **Qualidade de aplicação de fungicida na soja com pulverizador autopropelido e aeronave remotamente pilotada**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2024.

BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.; VIANA, J. M. S.; FERREIRA, A. Avaliação de métodos de agrupamento de médias em experimentos agrícolas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 89-97, 2008.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, Oxford, v. 173, n. 4, p. 677-702, 2007.

CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, Oxford, v. 146, n. 2, p. 185-205, 2000.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 532 p.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B. Fertilidade do solo e recomendação de adubação para culturas anuais. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2022. p. 701-756.

CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020.

CROP PROTECTION NETWORK. **Septoria brown spot of soybean**. Ames: Crop Protection Network, 2019. Disponível em: <<https://cropprotectionnetwork.org/encyclopedia/septoria-brown-spot-of-soybean>>. Acesso em: 16 set. 2026.

CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G. Tecnologias de aplicação de produtos fitossanitários: avanços e desafios. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-22, 2020.

CUNHA, J. P. A. R.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. F. Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 119, p. 16-22, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA JÚNIOR, J. L.; RUAS, R. A. A. Efeito de pontas de pulverização na deposição da calda em diferentes posições do dossel da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 7, p. 1239-1245, 2014.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Utilização de papéis hidrossensíveis na avaliação da pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 319-327, 2012.

DORR, G. J.; HEWITT, A. J.; ADKINS, S. W.; HANNEN, M.; ZHANG, H. A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. **Crop Protection**, v. 53, p. 109-117, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Eficiência de fungicidas para o controle das doenças de final de ciclo da soja na safra 2024/2025: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2020. (Sistemas de Produção, 17).

FERGUSON, J. C. *et al.* Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles. **Crop Protection**, v. 87, p. 51-58, 2016.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 28, n. 8, p. 1056-1071, 2005.

FRAC. **FRAC code list 2026: fungicides sorted by mode of action**. Brussels: Fungicide Resistance Action Committee, 2026. Disponível em: <<https://www.frac.info>>. Acesso em: 16 set. 2026.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C. *et al.* **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem da soja da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra**

2023/2024: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: EMBRAPA Soja, 2024. (Circular Técnica, 206).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C. *et al.* **Eficiência de fungicidas para o controle das doenças de final de ciclo da soja na safra 2024/2025: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: EMBRAPA Soja, 2025.

HAFEEZ, M.; AHMED, N.; FAROOQ, M. *et al.* Development and performance evaluation of rotary atomization systems for agricultural drones. **Drones**, v. 7, n. 4, p. 1-18, 2023.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2.

LIN, H. A.; MIDEROS, S. X. The effect of *Septoria glycines* and fungicide application on the soybean phyllosphere mycobiome. **Phytobiomes Journal**, v. 7, p. 220-232, 2023.

MACHRY, M.; NAVARINI, L.; FERRAZZA, R.; BALARDIN, R. S. Efeito da associação de mancozebe em misturas fungicidas sobre a fitotoxicidade e o controle de doenças na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 43, n. 2, p. 127-133, 2017.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics.** St. Paul: APS Press, 2007. 421 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021. Estabelece regras para operação aeroagrícola com aeronaves remotamente pilotadas. Brasília, DF: MAPA, 2021.

MARQUES, L. N. **Interação entre fungicidas sistêmicos e fungicidas multissítios na cultura da soja.** 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MARTIN, D. E.; ASHLEY, R.; THOMSON, S. J. Spray deposition characteristics of agricultural drone systems: a review. **Transactions of the ASABE**, v. 66, n. 3, p. 711-726, 2023.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 2008.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide application methods**. 4. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2014. 544 p.

MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S. **Manual de identificação de doenças de soja**. 6. ed. Londrina: EMBRAPA Soja, 2023. 79 p. (Documentos, 256).

NEGRISOLI, M. M.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G. *et al.* Tecnologias de aplicação de fungicidas em soja: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 8, p. 612-623, 2022.

PATAKY, J. K.; LIM, S. M. Effects of soybean brown spot severity on soybean yield. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 65, n. 10, p. 808-810, 1981.

PEREIRA, A. R. **Deposição da pulverização e qualidade de aplicação em soja utilizando drones agrícolas e pulverizadores terrestres**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R.; PRADO, E. P.; BAUER, F. C. **Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja**. Botucatu: FCA/UNESP, 2011.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BIANCHIN, V. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 6. ed. Passo Fundo: Berthier, 2010.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S. *et al.* (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2020. p. 227-264. (Sistemas de Produção, 17).

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean diseases. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (ed.). **Compendium of soybean diseases**. 4. ed. St. Paul: APS Press, 1999. p. 3-39.

SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA, M. C. N.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha-parda da soja (*Septoria glycines*). **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 333-338, 2009.

TEIXEIRA, P. H. **Avaliação da aplicação de fungicidas por drones agrícolas e pulverizadores terrestres no controle de doenças foliares da soja**. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2024.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

WEN, S.; HAN, J.; NING, Z.; LAN, Y.; YIN, X.; ZHANG, H. Numerical analysis and field tests of downwash airflow characteristics of multi-rotor plant protection UAVs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 350-361, 2019.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.

XIONGKUI, H. Rapid development of unmanned aerial vehicles (UAV) for plant protection and application technology in China. **Outlooks on Pest Management**, v. 28, n. 5, p. 213-216, 2017.

ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 693-712, 2021.

ZHU, H.; REICHARD, D. L.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994.

CAPÍTULO 2

QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DA FERRUGEM DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] ocupa posição de destaque entre as principais culturas agrícolas do mundo, sendo considerada uma das mais importantes commodities do agronegócio devido ao elevado teor de proteína e óleo de seus grãos e à ampla utilização na alimentação humana, animal e na produção de biocombustíveis. O Brasil consolidou-se como o maior produtor e exportador mundial da cultura, com área superior a 48 milhões de hectares e produção estimada acima de 177 milhões de toneladas na safra 2025/26, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar global e na economia nacional (CONAB, 2026; FAO, 2024).

Apesar dos avanços obtidos no melhoramento genético, no manejo agrônômico e nas tecnologias de produção, diversos fatores continuam limitando o potencial produtivo da cultura, destacando-se as doenças foliares. Entre elas, a ferrugem da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., é considerada a doença de maior impacto econômico para a sojicultura mundial, devido à sua elevada agressividade, rápida disseminação e capacidade de provocar severa desfolha precoce das plantas (Yorinori *et al.*, 2005; Hartman *et al.*, 2015).

Desde sua introdução no Brasil, na safra 2001/2002, a ferrugem da soja tornou-se um dos principais desafios fitossanitários da cultura. Em condições favoráveis de temperatura e umidade, o patógeno apresenta elevado potencial epidêmico, reduzindo significativamente a área foliar fotossinteticamente ativa e comprometendo o enchimento dos grãos. Na ausência de medidas efetivas de controle, as perdas de produtividade podem ultrapassar 80%, tornando indispensável a adoção de programas de manejo integrados e eficientes (Hartman *et al.*, 2015; Godoy *et al.*, 2016; Godoy *et al.*, 2024).

Embora estratégias como o vazio sanitário, a eliminação de plantas voluntárias e a utilização de cultivares com resistência parcial contribuam para a redução da pressão de inóculo, o controle químico continua sendo a principal ferramenta utilizada para o manejo da ferrugem da soja. Atualmente, os programas de controle são baseados em aplicações preventivas ou realizadas nos estádios iniciais da doença,

utilizando fungicidas pertencentes aos grupos dos inibidores da desmetilação (DMIs), inibidores da quinona externa (Qols), inibidores da succinato desidrogenase (SDHIs) e fungicidas multissítios (FRAC, 2026; Godoy *et al.*, 2025).

Entretanto, a eficiência do controle químico não depende exclusivamente da escolha dos fungicidas. Devido à predominância inicial da ferrugem nas folhas localizadas no terço inferior das plantas, uma aplicação eficiente exige adequada cobertura e deposição das gotas em todo o perfil do dossel, especialmente nas regiões mais internas da cultura. Dessa forma, a qualidade da pulverização assume papel determinante para o sucesso do manejo, influenciando diretamente a distribuição do fungicida, a cobertura foliar, a densidade de gotas e a eficiência biológica do tratamento (Matthews; Bateman; Miller, 2014; Antuniassi; Boller, 2019).

Nesse contexto, diversas tecnologias têm sido incorporadas aos pulverizadores terrestres visando melhorar a penetração e a distribuição da pulverização no interior do dossel da soja. Entre essas inovações destacam-se as pontas hidráulicas de jato plano angulado, conhecidas comercialmente como pontas 3D. Essas pontas produzem jatos orientados em diferentes ângulos, possibilitando maior interceptação das superfícies foliares e melhor cobertura das folhas localizadas em diferentes estratos da planta. Estudos têm demonstrado que essa configuração pode favorecer a deposição da calda em regiões onde a ferrugem normalmente se estabelece, potencializando a eficiência dos fungicidas sistêmicos e protetores (Raetano *et al.*, 2011; Antuniassi; Boller, 2019).

Paralelamente, os avanços da agricultura digital impulsionaram a adoção das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) para aplicações fitossanitárias. A regulamentação da tecnologia no Brasil e o rápido desenvolvimento dos equipamentos ampliaram significativamente sua utilização na cultura da soja, especialmente em situações em que a entrada de pulverizadores terrestres é limitada pela altura das plantas, umidade do solo ou necessidade de execução rápida das aplicações (MAPA, 2021; ANAC, 2023).

Entre as tecnologias disponíveis para ARPs destacam-se os sistemas equipados com atomizadores centrífugos de discos rotativos. Diferentemente das pontas hidráulicas convencionais, esses dispositivos promovem a fragmentação da calda por força centrífuga, produzindo gotas mais uniformes e possibilitando ajustes precisos do espectro de pulverização. Associados ao fluxo de ar descendente gerado pelos rotores da aeronave (*downwash*), os discos rotativos podem contribuir para o

transporte das gotas em direção ao interior do dossel, favorecendo a cobertura foliar e a deposição do fungicida em regiões estratégicas para o controle da ferrugem da soja (Xiongkui *et al.*, 2017; Wen *et al.*, 2019).

Apesar do crescente uso dessas tecnologias, ainda existem lacunas relacionadas ao seu desempenho comparativo em condições de campo, principalmente quanto aos parâmetros de qualidade da pulverização e seus reflexos no controle da ferrugem da soja. Estudos que relacionem cobertura, densidade de gotas, diâmetro mediano volumétrico, potencial de deriva, deposição da calda e eficiência de controle são fundamentais para subsidiar recomendações técnicas mais precisas e economicamente viáveis.

Diante desse cenário, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a qualidade da pulverização e o controle da ferrugem da soja em função de diferentes tecnologias de aplicação, comparando sistemas terrestres equipados com pontas hidráulicas de jato plano angulado (3D) e Aeronaves Remotamente Pilotadas equipadas com discos rotativos. Adicionalmente, buscou-se relacionar os parâmetros de deposição e distribuição das gotas com a severidade da doença e a produtividade da cultura, contribuindo para o aprimoramento das recomendações de tecnologia de aplicação voltadas ao manejo sustentável da ferrugem da soja da soja.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos durante as safras 2024/2025 e 2025/2026 na Estação de Pesquisa e Desenvolvimento da UPL, localizada no município de Pereiras, SP (23°09'09.4"S 47°57'25.9"W). Em ambas as safras, foram mantidas as condições experimentais, incluindo a cultivar de soja utilizada, os tratos culturais, o delineamento experimental, as dimensões das parcelas, os tratamentos avaliados, os intervalos entre aplicações e os volumes de calda empregados, permitindo a comparação consistente dos resultados obtidos entre os anos agrícolas.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), composto por quatro tratamentos e seis repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes tecnologias de aplicação de fungicidas, descritas a seguir:

T1: testemunha sem aplicação de fungicidas; T2: aplicação de fungicidas com pontas tridimensionais FC-3D100-015, posicionadas no mesmo sentido do deslocamento do conjunto trator-pulverizador; T3: aplicação de fungicidas com pontas tridimensionais FC-3D100-015 posicionadas de forma alternada na barra de pulverização, com uma ponta direcionada para frente e a seguinte para trás em relação ao deslocamento do conjunto trator-pulverizador; T4: aplicação de fungicidas com drone agrícola equipado com atomizadores rotativos.

As parcelas destinadas ao tratamento com drone possuíam dimensões de 12 × 12 m (largura × comprimento), totalizando área de 144 m², enquanto as parcelas submetidas às aplicações terrestres e a testemunha apresentavam dimensões de 12 × 6 m, correspondendo a uma área total de 72 m². Em todos os tratamentos, a área útil para avaliação foi padronizada em 2,5 × 5 m (12,5 m²), localizada na região central da parcela, com o objetivo de minimizar possíveis efeitos de bordadura.

A disposição dos tratamentos na área experimental encontra-se representada no apêndice A.

2.2.2 Equipamentos de pulverização e condições operacionais

A aplicação terrestre foi realizada utilizando-se um pulverizador de barras Condor 800 AM14 Masterflow, acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um

trator Case Farmall 95. O conjunto foi equipado com pontas de pulverização de jato plano angulado FC-3D 100-015, calibradas para proporcionar uma taxa de aplicação de 90 L ha^{-1} , operando à pressão de trabalho de 200 kPa. Durante as aplicações, o motor do trator foi mantido a 1.700 rpm, permitindo a obtenção de 540 rpm na tomada de potência (TDP), condição necessária para o adequado funcionamento do equipamento.

A pulverização aérea foi realizada com um drone agrícola XAG P30, equipado com tanque com capacidade para 16 L e sistema de atomização rotativa composto por quatro bicos, com vazão máxima de $7,2 \text{ L min}^{-1}$. O equipamento possui sistema de posicionamento RTK de precisão centimétrica, sensores e radar para ajuste automático da altura de voo e desvio de obstáculos, possibilitando a operação autônoma em diferentes condições de terreno. Para as aplicações, foi adotada largura de faixa de 3 m, altura de voo de 4 m e velocidade operacional de 3 m s^{-1} , parâmetros que possibilitaram a obtenção da taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} .

Em ambos os sistemas de aplicação, o espectro de gotas se enquadrou na classe de gotas médias, conforme a classificação proposta pela ASABE (2009), visando padronizar as condições de pulverização e permitir a adequada comparação entre as tecnologias avaliadas.

2.2.3 Aplicação dos Fungicidas

Para o manejo das doenças da soja, foram utilizados fungicidas formulados comercialmente, sem a realização de mistura em tanque, uma vez que os ingredientes ativos já se encontravam combinados em uma única formulação. Foram utilizados dois produtos: Produto A, composto por azoxistrobina, mancozebe e tebuconazol; e Produto B, composto por azoxistrobina, mancozebe e prothioconazol. Em todas as aplicações, os fungicidas foram associados ao adjuvante à base de éster metílico de soja, na concentração de 0,25% (v/v).

O programa fitossanitário consistiu em quatro aplicações fungicidas (A, B, C e D), sendo a primeira realizada no período de pré-fechamento da cultura, entre os estádios fenológicos V6 e V8, e as demais efetuadas em intervalos de 14 dias.

As aplicações A e D foram realizadas com o Produto A, contendo azoxistrobina ($94 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), mancozebe ($1.194 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e tebuconazol ($112 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), associado ao adjuvante éster metílico de soja a 0,25% (v/v). As aplicações B e C foram

realizadas com o Produto B, composto por azoxistrobina (75 g i.a. ha⁻¹), mancozebe (1.050 g i.a. ha⁻¹) e protioconazol (75 g i.a. ha⁻¹), também associado ao adjuvante éster metílico de soja a 0,25% (v/v).

As doses dos ingredientes ativos foram estabelecidas conforme as recomendações registradas em bula para cada produto comercial, garantindo a aplicação das quantidades preconizadas para o manejo das doenças-alvo.

Nas aplicações realizadas com pulverizador terrestre, os tratamentos T2 e T3 receberam volume de calda de 90 L ha⁻¹. Para o tratamento T4, conduzido com drone agrícola, foi adotado volume de aplicação de 30 L ha⁻¹.

Tabela 1 – Quantidade de ingrediente ativo e aplicação dos produtos.

Produto	Ingrediente ativo (i.a.)	Aplicação
Produto A	Azoxistrobina (94)	AD
	Mancozeb (1194)	
	Tebuconazol (112)	
Produto B	Azoxistrobina (75)	BC
	Mancozeb (1050)	
	Protioconazol (75)	
Éster metílico de soja (0,25% V/V)		ABCD

i.a.: ingrediente ativo

As aplicações fungicidas foram realizadas de forma preventiva, ou seja, antes da observação de sintomas visíveis Da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). Essa estratégia foi adotada em função das características epidemiológicas desses patógenos, que apresentam capacidade de infecção precoce e desenvolvimento inicial assintomático, dificultando a detecção em estádios iniciais da doença e reduzindo a eficiência de medidas de controle realizadas após o estabelecimento da infecção (Seixas *et al.*, 2020; Godoy *et al.*, 2025). A proteção antecipada do dossel foliar é amplamente recomendada em programas de manejo integrado de doenças, especialmente em regiões com histórico de ocorrência dos patógenos e condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento.

A ferrugem da soja, causada por *P. pachyrhizi*, é considerada a doença de maior importância econômica para a cultura da soja no Brasil. Em condições favoráveis, associadas à ausência ou ineficiência do controle químico, as perdas de

produtividade podem variar de 10% a 90%, em decorrência da intensa desfolha precoce e da redução da capacidade fotossintética da planta (Godoy *et al.*, 2025; EMBRAPA, 2025). Além disso, o patógeno apresenta elevada capacidade de dispersão por correntes de ar e rápida taxa de progresso epidêmico, tornando limitada a eficiência de aplicações realizadas após a instalação da doença. Dessa forma, estratégias baseadas em aplicações preventivas de fungicidas continuam sendo fundamentais para a manutenção da eficiência de controle e da produtividade da cultura.

Outro aspecto relevante refere-se à evolução da resistência de *P. pachyrhizi* a fungicidas sítio-específicos. Atualmente, já foram reportadas reduções de sensibilidade a ingredientes ativos pertencentes aos grupos dos inibidores da desmetilação (IDM), inibidores da quinona externa (IQe) e inibidores da succinato desidrogenase (ISDH), reforçando a necessidade da adoção de programas preventivos e do uso de misturas fungicidas com diferentes mecanismos de ação (Godoy *et al.*, 2024; Godoy *et al.*, 2025).

A superioridade das aplicações preventivas está associada ao modo de ação da maioria dos fungicidas utilizados na cultura da soja, que apresentam predominantemente atividade protetora. Quando posicionados antes da infecção, esses produtos formam uma barreira química sobre a superfície foliar, dificultando a germinação dos esporos e a penetração do patógeno nos tecidos vegetais. Por outro lado, aplicações realizadas após o estabelecimento da doença tendem a apresentar menor eficiência de controle, especialmente para patógenos de rápida evolução epidemiológica, como *P. pachyrhizi* (Godoy *et al.*, 2024; EMBRAPA, 2025).

Portanto, programas fungicidas estruturados com aplicações preventivas contribuem para a redução da pressão inicial de inóculo, retardam o progresso das epidemias, preservam a área foliar fotossinteticamente ativa e favorecem a manutenção dos componentes de rendimento da cultura. Essa estratégia torna-se ainda mais importante diante do atual cenário de redução de sensibilidade dos patógenos a fungicidas sítio-específicos, sendo considerada um dos pilares do manejo integrado de doenças da soja (Godoy *et al.*, 2025; EMBRAPA, 2025).

2.3.4 Irrigação

Durante as safras 2024/25 e 2025/26, nos períodos sem ocorrência de precipitação pluvial, foi realizada irrigação suplementar diária correspondente a uma lâmina de 10 mm de água. O objetivo dessa prática foi manter condições favoráveis ao desenvolvimento das doenças, proporcionando elevada umidade relativa do ar e prolongando o período de molhamento foliar. Tais condições são reconhecidamente essenciais para a germinação de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi*, bem como para os processos de infecção e progressão das epidemias. Dessa forma, buscou-se garantir pressão homogênea de doença nas áreas experimentais e condições adequadas para a avaliação da eficiência dos tratamentos e tecnologias de aplicação investigados.

2.3.5 Adubação

A análise química do solo da área experimental indicou elevada fertilidade, com condições adequadas para o desenvolvimento da cultura da soja (anexo A). O solo apresentou pH de 5,8, ausência de alumínio trocável, saturação por bases de 73% e capacidade de troca catiônica (CTC) de 104 mmolc dm⁻³, evidenciando ambiente químico favorável ao crescimento radicular e à absorção de nutrientes. Segundo Raij *et al.* (1997), valores de saturação por bases acima de 70% e ausência de alumínio tóxico são indicativos de boa condição química do solo para culturas anuais, reduzindo a probabilidade de resposta à calagem corretiva.

Os teores de fósforo (260 mg dm⁻³) e potássio (4,8 mmolc dm⁻³) foram classificados como altos a muito altos, enquanto os teores de cálcio (52 mmolc dm⁻³) e magnésio (19 mmolc dm⁻³) também se encontravam em níveis elevados. Adicionalmente, a matéria orgânica apresentou teor de 31 g dm⁻³, valor considerado adequado para áreas agrícolas intensivamente cultivadas. De acordo com Raij *et al.* (1997) e Cantarella, Quaggio e Raij (2022), solos com elevada disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio apresentam menor probabilidade de resposta agrônômica à adubação corretiva, especialmente quando os nutrientes já se encontram acima dos níveis críticos estabelecidos para a cultura.

Os micronutrientes avaliados também apresentaram concentrações adequadas, sem indícios de deficiência nutricional. Além disso, a textura argilosa do solo, caracterizada por 442 g kg⁻¹ de argila, favorece a retenção de água e nutrientes,

contribuindo para a manutenção da fertilidade e para a estabilidade produtiva da cultura (EMBRAPA, 2023).

Dessa forma, não houve necessidade de realização de calagem ou adubação corretiva na área experimental, uma vez que os atributos químicos do solo encontravam-se acima dos níveis críticos recomendados para a soja. Conforme preconizado por Raij *et al.* (1997), Cantarella, Quaggio e Raij (2022) e EMBRAPA Soja (2023), a aplicação de corretivos e fertilizantes em solos com elevada disponibilidade de nutrientes tende a apresentar baixa resposta econômica e agrônômica.

2.3.6 Avaliações

Nas safras 2024/25 e 2025/26, foram avaliadas a fitotoxidade, a severidade da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) e a produtividade de grãos. Adicionalmente, foram realizadas avaliações relacionadas à qualidade da pulverização, visando compreender a influência das tecnologias de aplicação sobre a deposição da calda e a eficiência dos tratamentos fitossanitários.

As variáveis utilizadas para caracterizar a qualidade da aplicação incluíram a cobertura de pulverização (%), a densidade de gotas (gotas cm^{-2}), o diâmetro mediano volumétrico (DMV, μm), o potencial de risco de deriva (%) e a amplitude relativa (AR). Esses parâmetros são amplamente empregados em estudos de tecnologia de aplicação por permitirem uma avaliação detalhada da distribuição das gotas sobre o alvo, da uniformidade do espectro gerado e do potencial de perdas por deriva, fatores diretamente relacionados à eficiência biológica dos produtos fitossanitários e à sustentabilidade das aplicações (Matthews *et al.*, 2014; Ferguson *et al.*, 2016; Cunha *et al.*, 2020). Além disso, a adequada cobertura do alvo e a uniformidade das gotas constituem aspectos fundamentais para maximizar a deposição dos fungicidas no dossel da cultura, favorecendo o controle de doenças e reduzindo perdas operacionais.

2.3.6.1 Avaliação da fitotoxidade

A fitotoxidade foi avaliada visualmente antes de cada aplicação, e aos sete dias após a última aplicação. Para cada parcela foi atribuída uma nota geral utilizando

uma escala percentual variando de 0 a 100%, em que 0 corresponde à ausência de sintomas e 100% representam a morte total das plantas (Reis *et al.*, 2010).

Durante as avaliações foram considerados sintomas visuais como clorose, necrose, deformações foliares, redução do crescimento e quaisquer alterações fisiológicas atribuídas à aplicação dos fungicidas, conforme critérios usualmente empregados em estudos de seletividade de produtos fitossanitários. A avaliação foi realizada antes de cada aplicação e sete dias depois da última aplicação.

2.3.6.2 Avaliação da severidade da ferrugem da soja

A severidade da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) foi determinada utilizando a escala diagramática desenvolvida por Godoy *et al.* (2006).

Para cada parcela experimental foram avaliados três pontos amostrais. Em cada ponto foram coletados dois trifólios do terço inferior e dois trifólios do terço médio das plantas, totalizando 12 trifólios por parcela. A severidade foi estimada pela porcentagem de área foliar afetada pela doença, utilizando a escala diagramática como referência visual.

As avaliações foram conduzidas antes de cada aplicação e aos 7, 14 e 21 dias após a última aplicação. A porcentagem de controle foi calculada por meio da fórmula de Abbott (1925), permitindo a comparação da eficiência dos tratamentos em relação à testemunha sem aplicação.

A eficiência dos tratamentos foi expressa por meio da porcentagem de controle da doença, calculada pela fórmula proposta por Abbott (1925):

$$Controle(\%) = \frac{T - t}{T} \times 100$$

Onde:

- T = severidade observada na testemunha;
- t = severidade observada no tratamento.

2.3.6.3 Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

O progresso da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) foi quantificado por meio da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), parâmetro

amplamente utilizado em estudos epidemiológicos por integrar a intensidade e a duração da doença ao longo do tempo (Campbell & Madden, 1990; Madden *et al.*, 2007).

A AACPD foi calculada a partir dos valores de severidade observados nas avaliações, utilizando a equação proposta por Campbell e Madden (1990):

$$AACPD = \sum \left[\frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} \times (T_{i+1} - T_i) \right]$$

Onde:

- Y_i = severidade da doença na avaliação i ;
- Y_{i+1} = severidade da doença na avaliação subsequente;
- T_i = tempo correspondente à avaliação i ;
- T_{i+1} = tempo correspondente à avaliação subsequente.

A AACPD possibilita uma análise mais robusta da dinâmica epidêmica das doenças, pois considera simultaneamente a intensidade dos sintomas e sua evolução durante o ciclo da cultura.

2.3.6.4 Produtividade de grãos

Para a determinação da produtividade foi realizada a colheita da área útil de cada parcela experimental utilizando uma colhedora de parcelas Wintersteiger®. O equipamento dispõe de sistema eletrônico de pesagem embarcado, permitindo a determinação individual da massa de grãos colhida em cada parcela.

Posteriormente, os valores obtidos foram corrigidos para 13% de umidade, padrão utilizado para expressar a produtividade da soja. Com base na massa corrigida, a produtividade foi calculada e extrapolada para kg ha⁻¹, permitindo a comparação entre os diferentes tratamentos avaliados.

A produtividade é considerada a variável mais importante para quantificar o retorno agrônomo e econômico das estratégias de manejo, representando a integração dos efeitos dos tratamentos sobre a proteção foliar, sanidade da cultura e manutenção do potencial produtivo (EMBRAPA, 2023).

2.3.6.5 Avaliação da deposição da pulverização

A qualidade da pulverização foi avaliada por meio da utilização de papéis hidrossensíveis, distribuídos nas parcelas experimentais imediatamente antes da realização das aplicações. Em cada parcela foi posicionado um papel hidrossensível no centro da entrelinha, à altura correspondente ao terço médio das plantas, região considerada representativa da deposição da calda fungicida no interior do dossel da cultura.

A escolha do terço médio das plantas como local de avaliação fundamentou-se na distribuição heterogênea das gotas ao longo do dossel. Em aplicações de produtos fitossanitários, uma parcela significativa das gotas é interceptada pelas folhas localizadas no terço superior da planta, enquanto os estratos inferiores apresentam maiores dificuldades de deposição em função do sombreamento, da elevada densidade foliar e das barreiras físicas impostas pela arquitetura da cultura. Nesse contexto, o terço médio representa uma região intermediária de deposição, permitindo avaliar de forma mais equilibrada a capacidade de penetração, distribuição e retenção das gotas ao longo do dossel (Cunha *et al.*, 2010; Matthews, 2008).

Segundo Antuniassi e Boller (2019), a deposição observada no terço médio constitui um dos indicadores mais representativos da qualidade da aplicação, pois as gotas, ao atingirem essa região, já foram submetidas aos principais processos físicos envolvidos na pulverização, incluindo desaceleração, interceptação pelas folhas superiores, redistribuição no dossel e influência das condições microclimáticas da cultura. Dessa forma, as avaliações realizadas nesse estrato permitem inferir com maior precisão a eficiência operacional das tecnologias de aplicação empregadas. Matthews (2008) reforça que avaliações em regiões intermediárias do dossel proporcionam uma representação mais fiel do comportamento do espectro de gotas após a aplicação.

Além disso, Cunha *et al.* (2014) demonstraram que avaliações restritas ao terço superior podem superestimar a eficiência da pulverização, enquanto avaliações realizadas exclusivamente no terço inferior tendem a subestimar o desempenho dos sistemas de aplicação devido às limitações de penetração das gotas. A deposição varia significativamente entre os diferentes estratos do dossel, sendo o terço médio uma posição adequada para caracterizar a distribuição da pulverização em culturas com elevado índice de área foliar. Assim, essa região minimiza possíveis distorções

na interpretação dos resultados, permitindo uma análise mais representativa da distribuição da calda no interior da cultura.

Essa abordagem torna-se ainda mais relevante para o manejo de doenças foliares da soja, como a ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) cujo processo de infecção geralmente se iniciam nas regiões mais baixas e sombreadas da planta. Nesse caso, a capacidade das gotas de atravessar o dossel e atingir os estratos internos torna-se fator determinante para a eficiência do controle químico. De acordo com Reis *et al.* (2010), a deposição adequada no terço médio está diretamente relacionada à proteção das folhas inferiores e à eficácia dos fungicidas no manejo dessas doenças. De forma complementar, Raetano *et al.* (2011) destacam que a penetração e a cobertura das gotas no interior do dossel constituem fatores decisivos para o sucesso das aplicações de fungicidas na cultura da soja.

Com o objetivo de representar de forma mais fiel as condições de deposição encontradas durante o desenvolvimento da cultura, as avaliações dos papéis hidrossensíveis foram realizadas apenas na segunda e terceira aplicações dos fungicidas. Essa estratégia foi adotada porque, na primeira aplicação, as plantas apresentavam reduzido fechamento do dossel, permitindo que grande parte das gotas pulverizadas atingisse diretamente os papéis hidrossensíveis. Nessa condição, os valores de cobertura da pulverização e densidade de gotas tendem a ser superestimados, uma vez que praticamente não há interceptação foliar suficiente para representar a real capacidade de penetração das gotas no interior do dossel. Por outro lado, na quarta aplicação, as plantas apresentavam elevado fechamento foliar, dificultando a chegada das gotas ao terço médio e podendo resultar em subestimação da eficiência dos sistemas de aplicação. Dessa forma, a segunda e a terceira aplicações foram consideradas as mais representativas para a comparação entre as tecnologias avaliadas, pois correspondem ao período em que a cultura apresenta arquitetura intermediária, exigindo maior capacidade de penetração, distribuição e cobertura das gotas no interior do dossel (Cunha *et al.*, 2014; Antuniassi e Boller, 2019; Raetano *et al.*, 2011).

Após as aplicações, os papéis hidrossensíveis foram coletados e analisados por meio do equipamento DropScope® (SprayX), responsável pela leitura digital das gotas depositadas e pela determinação automática dos parâmetros de cobertura da pulverização (%), densidade de gotas (gotas cm⁻²), diâmetro mediano volumétrico (DMV, µm), potencial de risco de deriva (%) e amplitude relativa (AR). A utilização de

papéis hidrossensíveis é amplamente empregada em estudos de tecnologia de aplicação por apresentar elevada praticidade e confiabilidade na estimativa da deposição de gotas sobre o alvo, permitindo comparações consistentes entre diferentes sistemas e estratégias de pulverização (Cunha *et al.*, 2012; Ferguson *et al.*, 2016; Matthews *et al.*, 2014). Dessa forma, os parâmetros obtidos fornecem informações fundamentais para a compreensão da qualidade das aplicações e de sua relação com a eficiência fitossanitária observada nos tratamentos avaliados.

2.3.6.6 Análise estatística

Os dados obtidos para todas as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos ($p \leq 0,05$), as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. A utilização do teste de Scott-Knott é recomendada em experimentos agrícolas por proporcionar a formação de grupos homogêneos de médias, minimizando ambiguidades na interpretação dos resultados quando há grande número de tratamentos (Scott & Knott, 1974; Bhering *et al.*, 2008). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software ARM® (Agricultural Research Manager).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Safra 2024/25 e 2025/26 de ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)

O experimento referente à ferrugem da soja foi implantado em 11 de dezembro de 2024, na safra 2024/2025, e em 08 de dezembro de 2025, na safra 2025/2026. A colheita foi realizada quando as plantas atingiram a maturação fisiológica e apresentaram condições adequadas para a operação mecanizada. Na safra 2024/2025, a colheita ocorreu em 24 de abril de 2025, enquanto na safra 2025/2026 foi realizada em 14 de abril de 2026.

Em ambas as safras, foi utilizada a cultivar CZ 37B43 IPRO, escolhida em função do seu potencial produtivo e ampla adaptação às condições de cultivo da região. O estande final foi padronizado em 280.000 plantas ha^{-1} , buscando garantir adequada uniformidade da população de plantas e condições favoráveis ao

desenvolvimento da cultura. As sementes utilizadas foram provenientes de tratamento industrial, dispensando a necessidade de tratamento complementar na propriedade. Não foi realizada adubação no momento da semeadura.

A condução dos experimentos foi realizada de forma padronizada nas duas safras, mantendo-se as condições de manejo, tratamentos fitossanitários, tecnologias de aplicação e critérios de avaliação. Essa uniformidade experimental visou reduzir a influência de fatores externos e proporcionar maior confiabilidade na comparação dos resultados obtidos entre as tecnologias de pulverização avaliadas.

As datas de aplicação dos tratamentos fungicidas em cada safra estão apresentadas a seguir.

Tabela 2 – Data das aplicações do ensaio de ferrugem da soja.

Aplicação	Ferrugem 2024/25	Ferrugem 2025/26
A	06/01/2025	16/01/2026
B	20/01/2025	30/01/2026
C	03/02/2026	13/02/2026
D	17/02/2025	27/02/2026

Durante a safra 2024/2025, a precipitação pluvial acumulada entre a semeadura e a colheita foi de aproximadamente 312 mm. Na safra 2025/2026, o volume acumulado de precipitação atingiu cerca de 704 mm. Além do maior volume total de chuvas, observou-se na safra 2025/2026 uma distribuição mais uniforme das precipitações ao longo do ciclo da cultura, proporcionando condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem da soja da soja.

A disponibilidade hídrica associada às condições de temperatura e umidade relativa do ar registradas durante a condução dos experimentos exerceu influência direta sobre a dinâmica epidemiológica de *Phakopsora pachyrhizi*. A ocorrência frequente de períodos de molhamento foliar favoreceu a germinação dos urediniósporos, a infecção dos tecidos foliares e o progresso da doença ao longo do ciclo da cultura, fatores considerados essenciais para o desenvolvimento da ferrugem da soja.

Dessa forma, as condições climáticas observadas durante ambas as safras contribuíram para o estabelecimento da doença em níveis adequados para a avaliação dos tratamentos. Entretanto, a maior frequência e melhor distribuição das precipitações na safra 2025/2026 proporcionaram condições mais favoráveis ao

desenvolvimento da ferrugem da soja, resultando em maior pressão da doença quando comparada à safra 2024/2025. Ainda assim, a intensidade da doença observada na primeira safra foi suficiente para permitir a adequada discriminação dos tratamentos e a avaliação consistente da eficiência das tecnologias de aplicação estudadas. Os dados meteorológicos referentes à precipitação pluvial, temperatura média do ar e umidade relativa do ar, monitorados durante a condução dos experimentos, encontram-se apresentados no Apêndice D e E.

2.3.2 Fitotoxicidade

Tabela 3 – Fitotoxicidade (%) causada por fungicidas em plantas de soja no experimento de ferrugem da soja, safra 2024/2025 e 2025/26. Pereiras, SP.

Trat	Fitotoxicidade (%)							
	Safr 24/25				Safr 25/26			
	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD
T1	0 na	0 na	0 na	0 b	0 na	0 na	0 na	0 c
T2	0 na	0 na	0 na	1,1 a	0 na	0 na	1 na	2 b
T3	0 na	0 na	0 na	1,2 a	0 na	0 na	1 na	2,2 b
T4	0 na	0 na	0 na	1,3 a	0 na	0 na	1 na	3,1 a
CV%	0	0	0	18,3	0	0	0	17,85

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Na safra 2024/2025, não foram observadas diferenças significativas de fitotoxicidade entre os tratamentos avaliados. Já na safra 2025/2026, os tratamentos conduzidos com pulverização terrestre utilizando pontas 3D (T2 e T3) apresentaram menores níveis de fitotoxicidade em comparação ao tratamento com aplicação via drone (T4), embora não tenham diferido estatisticamente entre si. Entretanto, independentemente da safra ou da tecnologia de aplicação utilizada, os valores de fitotoxicidade permaneceram inferiores a 4%, caracterizando sintomas leves, sem potencial para comprometer o desenvolvimento das plantas ou a produtividade da cultura.

Os baixos níveis de fitotoxicidade observados podem estar relacionados à presença do fungicida multissítio mancozebe na composição das misturas fungicidas

utilizadas ao longo do ciclo. Fungicidas pertencentes ao grupo dos inibidores da desmetilação (DMIs), especialmente os triazóis, são reconhecidos por induzir alterações fisiológicas temporárias nas plantas, incluindo desequilíbrios metabólicos e aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem resultar em sintomas de fitotoxicidade. Entretanto, evidências na literatura demonstram que a associação do mancozebe a fungicidas sistêmicos pode reduzir significativamente esses efeitos.

Marques (2017) verificou que a adição de mancozebe a fungicidas triazóis foi eficiente na mitigação dos sintomas fitotóxicos em soja. De forma semelhante, Machry *et al.* (2017) observaram reduções médias de aproximadamente 16% na fitotoxicidade foliar, alcançando até 31% de redução em tratamentos contendo protioconazol. Esses resultados indicam que o mancozebe exerce importante papel protetor sobre o metabolismo vegetal, contribuindo para reduzir os efeitos adversos provocados pelos fungicidas sistêmicos.

Além da sua ação fungicida, o mancozebe é fonte de manganês (Mn) e zinco (Zn), micronutrientes diretamente envolvidos nos mecanismos antioxidantes das plantas. O manganês participa da composição da enzima superóxido dismutase (Mn-SOD), responsável pela desintoxicação de radicais livres, enquanto o zinco atua na estabilização de membranas celulares e na regulação de enzimas relacionadas à defesa antioxidante (Broadley *et al.*, 2007; Marschner, 2012). Segundo Cakmak (2000), esses elementos desempenham papel fundamental na proteção das células vegetais contra danos oxidativos. Adicionalmente, Foyer e Noctor (2005) e Gill e Tuteja (2010) destacam que a eficiência dos sistemas antioxidantes está diretamente relacionada à capacidade das plantas em tolerar diferentes tipos de estresse químico e fisiológico.

Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que a baixa fitotoxicidade observada em ambas as safras pode ser atribuída, ao menos parcialmente, ao efeito mitigador proporcionado pelo mancozebe presente nas formulações fungicidas utilizadas, contribuindo para a manutenção da integridade fisiológica das plantas e garantindo que os sintomas observados permanecessem em níveis incapazes de limitar o desempenho agrônomo da cultura.

2.3.3 Evolução da doença

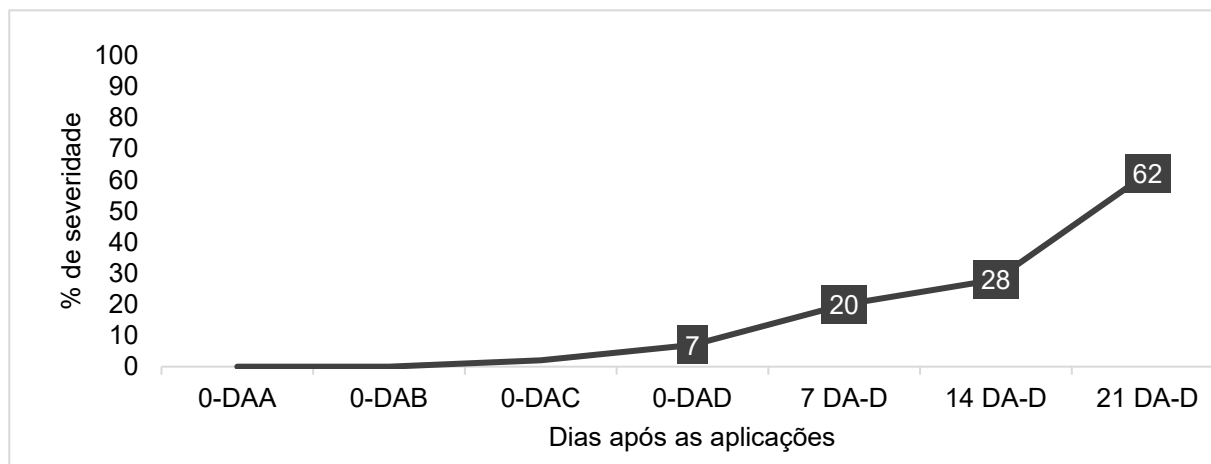
A evolução da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) nas parcelas testemunhas evidenciou elevada pressão da doença em ambas as safras avaliadas, proporcionando condições adequadas para a avaliação da eficiência dos tratamentos fungicidas. Observou-se incremento progressivo da severidade ao longo do ciclo da cultura, com intensificação dos sintomas a partir dos estádios reprodutivos, comportamento compatível com a epidemiologia da ferrugem da soja descrita na literatura. A elevada capacidade de multiplicação e disseminação do patógeno, associada às condições favoráveis de temperatura e umidade, contribuiu para o rápido progresso da doença durante o período experimental.

A intensidade da ferrugem observada nas parcelas sem aplicação de fungicidas confirma que houve pressão suficiente da doença para permitir adequada discriminação entre os tratamentos avaliados, conferindo robustez experimental e maior confiabilidade às comparações realizadas entre as diferentes tecnologias de aplicação. Além disso, a ocorrência da doença em níveis expressivos possibilitou a avaliação consistente do efeito das aplicações fungicidas sobre a severidade, a AACPD e a produtividade da cultura.

A maior evolução da ferrugem da soja observada nas parcelas testemunhas está de acordo com a biologia do patógeno, que apresenta elevada dependência de períodos prolongados de molhamento foliar e alta umidade relativa do ar para germinação dos urediniósporos, infecção e esporulação. Dessa forma, as condições ambientais registradas durante a condução dos experimentos favoreceram o estabelecimento e a progressão da doença, garantindo condições adequadas para a validação dos resultados obtidos.

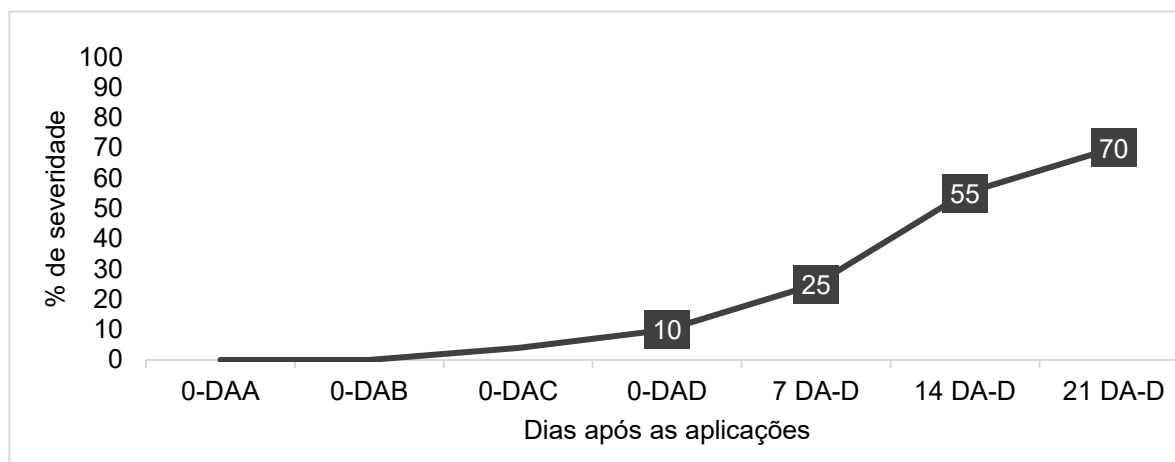
Abaixo são apresentados os gráficos da evolução da severidade de *Phakopsora pachyrhizi* nas parcelas testemunhas, sem aplicação de fungicidas, durante as safras 2024/2025 e 2025/2026.

Figura 1 – Evolução da severidade *Phakopsora pachyrhizi* na testemunha, safra 2024/2025. Pereiras, SP.



0-DAA = 0 dias após a aplicação A; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D.

Figura 2 – Evolução da severidade *Phakopsora pachyrhizi* na testemunha, safra 2025/2026. Pereiras, SP.



0-DAA = 0 dias após a aplicação A; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D.

2.3.4 Severidade da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*

O controle da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) apresentou comportamento semelhante nas safras 2024/2025 e 2025/2026 (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 – Severidade (%) da ferrugem Asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) na cultura da soja após tratamento fungicida, safra 2024/2025. Pereiras, SP.

Trat	Severidade (%)							AACPD	Controle AACPD (%)
	0-DAA	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD	14-DAD	21-DAD		
T1	0 na	0 na	2,7 a	8,3 a	23 a	30,5 a	62,2 a	717 a	0 c
T2	0 na	0 na	1 b	3 b	4,5 c	7,3 c	12 c	170 c	76,21 a
T3	0 na	0 na	1 b	3,3 b	4 c	7 c	12,5 c	170 c	76,29 a
T4	0 na	0 na	1 b	3,7 b	8,8 b	15,8 b	24,7 b	311 b	56,47 b
CV%	0	0	28,82	18,82	15,58	10,4	11,73	12,41	8,8

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Tabela 5 – Severidade (%) da ferrugem asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) na cultura da soja após tratamento fungicida, safra 2025/2026. Pereiras, SP.

TRAT	Severidade (%)							AACPD	Controle AACPD (%)
	0-DAA	0-DAB	0-DAC	0-DAD	7-DAD	14-DAD	21-DAD		
T1	0 na	0 na	4,7 a	12 a	26 a	55,3 a	71,5 a	1011 a	0 c
T2	0 na	0 na	1 b	3 b	7,2 c	23,5 c	33,8 c	379 c	62,56 a
T3	0 na	0 na	1 b	3,3 b	7,7 c	24,8 c	34 c	396 c	60,86 a
T4	0 na	0 na	1 b	3,7 b	12 b	34,8 b	45,8 b	543 b	46,27 b
CV%	0	0	27	15	9	4,4	2,7	3,31	4

TRAT= Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; 0-DAB = 0 dias após a aplicação B; 0-DAC = 0 dias após a aplicação C; 0-DAD = 0 dias após a aplicação D; 7-DAD = 7 dias após a aplicação D; 14-DAD = 14 dias após a aplicação D; 21-DAD = 21 dias após a aplicação D. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

De maneira geral, os tratamentos realizados com pulverização terrestre proporcionaram os maiores níveis de controle da ferrugem da soja, não sendo observadas diferenças significativas entre as configurações de pontas 3D posicionadas em sentido único ou alternadas na barra de pulverização. Esses resultados indicam que ambas as disposições das pontas apresentaram desempenho equivalente quanto à deposição dos fungicidas e à proteção do dossel contra o desenvolvimento da doença.

Por outro lado, a aplicação realizada com drone apresentou menor eficiência de controle em ambas as safras avaliadas. Na safra 2024/2025, o controle da ferrugem da soja obtido com essa tecnologia foi de aproximadamente 56%, enquanto na safra 2025/2026 o controle foi de cerca de 46%. Em contraste, os tratamentos conduzidos com pulverização terrestre utilizando pontas 3D apresentaram níveis de controle superiores e estatisticamente semelhantes entre si, variando de 76% na safra 2024/2025 e entre 60 e 63% na safra 2025/2026. Esses resultados evidenciam a superioridade das aplicações terrestres em relação à aplicação com drone nas condições experimentais estudadas, refletindo diretamente na redução da severidade da ferrugem da soja ao longo do ciclo da cultura.

Além disso, observa-se que o aumento da pressão da doença na safra 2025/2026 reduziu a eficiência de controle em todos os tratamentos avaliados. No entanto, mesmo sob condições mais favoráveis ao desenvolvimento de *P. pachyrhizi*, os tratamentos com pulverização terrestre mantiveram níveis de controle significativamente superior aos observados para a aplicação com drone, demonstrando maior capacidade de deposição dos fungicidas no dossel e maior eficiência na supressão do progresso da doença.

A maior eficiência dos tratamentos terrestres pode estar relacionada à melhor qualidade da pulverização, caracterizada por maior cobertura foliar, maior densidade de gotas e menor potencial de deriva, fatores fundamentais para o controle da ferrugem da soja. Como a infecção por *P. pachyrhizi* ocorre predominantemente nos estratos inferiores e intermediários do dossel, tecnologias que favorecem a penetração e a distribuição uniforme dos fungicidas tendem a proporcionar maior proteção das folhas e, conseqüentemente, melhores níveis de controle da doença. Nesse contexto, os resultados obtidos reforçam a importância da qualidade da aplicação como componente essencial do manejo químico da ferrugem da soja da soja.

Os resultados observados no presente estudo corroboram diversos trabalhos que demonstram a influência direta da tecnologia de aplicação na eficiência do controle da ferrugem da soja da soja. Os maiores níveis de controle obtidos nos tratamentos com pulverização terrestre utilizando pontas 3D podem ser atribuídos à maior deposição da calda fungicida no dossel, favorecendo a proteção das folhas e reduzindo o progresso da doença ao longo do ciclo da cultura. Segundo Reis *et al.* (2010) e Raetano *et al.* (2011), a eficiência dos fungicidas no controle de *Phakopsora*

pachyrhizi está diretamente relacionada à capacidade da pulverização em promover adequada cobertura e distribuição das gotas nos diferentes estratos da planta.

A superioridade das aplicações terrestres observada neste trabalho também está de acordo com os resultados obtidos por Teixeira (2024), que verificou maiores níveis de controle da ferrugem da soja quando fungicidas foram aplicados por pulverizador terrestre em comparação à aplicação com drone. O autor atribuiu esse comportamento à maior cobertura da pulverização e à melhor deposição do fungicida no interior do dossel, fatores fundamentais para maximizar a eficiência dos produtos utilizados no manejo da doença.

Resultados semelhantes foram relatados por Pereira (2023), que observou menor severidade da ferrugem da soja em tratamentos conduzidos com pulverização terrestre quando comparados a aplicações realizadas com drones utilizando baixos volumes de calda. Segundo os autores, a redução da densidade de gotas e da cobertura foliar proporcionada pela aplicação aérea comprometeu a proteção do dossel e favoreceu o progresso da doença.

Balardin *et al.* (2006) destacam que o sucesso do controle químico da ferrugem da soja depende da capacidade de os fungicidas atingirem os locais de infecção do patógeno no interior da planta. Como a doença normalmente se inicia nos estratos inferiores do dossel, tecnologias que favorecem a penetração e a distribuição uniforme das gotas tendem a proporcionar melhores resultados de controle. Esse comportamento foi observado no presente estudo, em que os tratamentos com pulverização terrestre apresentaram menores valores de severidade e AACPD em ambas as safras.

Da mesma forma, Alves *et al.* (2021) demonstraram que aplicações que promovem maior cobertura foliar e maior densidade de gotas resultam em incrementos significativos na eficiência dos fungicidas utilizados no manejo da ferrugem da soja. Segundo os autores, a redução da deposição da calda limita a formação da barreira protetora sobre a superfície foliar, reduzindo a capacidade de supressão do patógeno.

Além disso, os resultados obtidos refletem diretamente o impacto da qualidade da aplicação sobre a produtividade da cultura. Godoy *et al.* (2024) ressaltam que a manutenção da área foliar verde e a redução da severidade da ferrugem constituem fatores fundamentais para preservar o potencial produtivo da soja. Assim, o maior

controle proporcionado pelos tratamentos terrestres explica, em grande parte, os maiores rendimentos observados quando comparados à aplicação com drone.

2.3.5 Produtividade

Não foram observadas diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos com pulverização terrestre utilizando pontas 3D posicionadas em sentido único (T2) ou alternadas na barra de pulverização (T3). Entretanto, ambos os tratamentos diferiram estatisticamente da aplicação realizada com drone (T4), que apresentou menores rendimentos nas duas safras avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Produtividade da soja no experimento com *Phakopsora pachyrhizi*, safras 24/25 e 25/26. Pereiras, SP.

Trat	Safr 24/25				Safr 25/26			
	kg	Umidade	kg/ha	SC/ha	kg	Umidade	kg/ha	SC/ha
T1	2,4 c	10,6 a	3311 c	55,18 c	2,3 c	10,6 a	3198 c	53,31 c
T2	3,3 a	12,3 a	4497 a	74,94 a	3,2 a	12,3 a	4347 a	72,45 a
T3	3,3 a	12,1 a	4396 a	73,27 a	3,2 a	12,1 a	4284 a	71,4 a
T4	3 b	12,2 a	3969 b	66,14 b	2,9 b	12,2 a	3857 b	64,28 b
CV%	4,94	13,79	5,13	5,13	4,47	13,79	4,73	4,73

TRAT=Tratamento; T1= Testemunha; T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; SC= saca. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Na safra 2024/2025, os tratamentos T2 e T3 alcançaram produtividades de 74,9 e 73,3 sacas ha⁻¹, respectivamente, enquanto a aplicação com drone resultou em 66,1 sacas ha⁻¹. De forma semelhante, na safra 2025/2026, os tratamentos terrestres produziram entre 71,4 e 72,5 sacas ha⁻¹, ao passo que o tratamento com drone atingiu 64,3 sacas ha⁻¹. Esses resultados demonstram que a maior eficiência de controle da ferrugem da soja proporcionada pelas aplicações terrestres refletiu diretamente na preservação da área foliar fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, no aumento da produtividade da cultura.

A relação entre severidade da ferrugem da soja e produtividade foi evidente nas duas safras avaliadas. Os tratamentos que apresentaram menores valores de severidade e AACPD foram também aqueles que registraram os maiores rendimentos de grãos. Em contrapartida, o tratamento com aplicação via drone apresentou maior

progresso da doença e menores produtividades, evidenciando o impacto negativo de *Phakopsora pachyrhizi* sobre o desempenho agrônômico da cultura.

A ferrugem da soja é reconhecida como uma das doenças de maior potencial destrutivo da soja, principalmente devido à intensa desfolha precoce causada pelo patógeno. A redução da área foliar verde compromete a interceptação da radiação solar, reduz a atividade fotossintética e limita o enchimento dos grãos, refletindo diretamente na produtividade final da cultura (Yorinori *et al.*, 2005; Hartman *et al.*, 2015). Dessa forma, a manutenção da sanidade foliar ao longo do ciclo constitui fator fundamental para a preservação do potencial produtivo da soja.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram aqueles relatados por Teixeira (2024), que também observou menores produtividades em aplicações realizadas com drone quando comparadas à pulverização terrestre. Segundo o autor, a menor deposição dos fungicidas no interior do dossel contribuiu para maiores níveis de severidade das doenças foliares e, conseqüentemente, menores rendimentos da cultura. De forma semelhante, Batistella (2024) verificou reduções significativas de produtividade associadas à menor cobertura foliar e menor densidade de gotas em aplicações realizadas com aeronaves remotamente pilotadas.

Assim, os resultados evidenciam que a superioridade da pulverização terrestre no controle da ferrugem da soja refletiu diretamente em maiores produtividades nas duas safras avaliadas. A melhor qualidade da pulverização, caracterizada por maior cobertura foliar, maior densidade de gotas e menor potencial de deriva, contribuiu para aumentar a eficiência dos fungicidas e minimizar os danos causados por *P. pachyrhizi*, resultando em melhor desempenho produtivo da cultura.

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os tratamentos com pulverização terrestre proporcionaram ganhos produtivos entre 7 e 9 sacas ha⁻¹ em relação à aplicação com drone, evidenciando que a maior eficiência de controle da ferrugem da soja refletiu diretamente no rendimento da cultura. Esse comportamento está de acordo com os resultados relatados por Teixeira (2024), que observou redução da produtividade em aplicações realizadas com drone utilizando baixos volumes de calda quando comparadas à pulverização terrestre. Segundo o autor, a menor deposição de fungicidas no interior do dossel resultou em maiores níveis de severidade da doença e menores rendimentos da soja.

Resultados semelhantes foram obtidos por Batistella (2024), que verificou produtividades significativamente superior em tratamentos conduzidos com

pulverizadores terrestres quando comparados a aplicações realizadas com drones. O autor associou esses ganhos à maior cobertura da pulverização, maior densidade de gotas e melhor deposição dos fungicidas ao longo do dossel, fatores que contribuíram para a redução da severidade das doenças foliares e maior preservação da área foliar fotossinteticamente ativa.

A relação observada entre severidade da ferrugem da soja e produtividade também é amplamente descrita na literatura. Yorinori *et al.* (2005) relatam que *Phakopsora pachyrhizi* pode provocar intensa desfolha precoce, reduzindo drasticamente a capacidade fotossintética das plantas e comprometendo o enchimento dos grãos. De forma semelhante, Hartman *et al.* (2015) destacam que a manutenção da área foliar verde durante os estádios reprodutivos constitui um dos principais fatores responsáveis pela preservação da produtividade em lavouras sob pressão da doença.

Os resultados encontrados também estão de acordo com os ensaios cooperativos conduzidos pela EMBRAPA Soja, nos quais maiores níveis de controle da ferrugem da soja estiveram consistentemente associados à manutenção do potencial produtivo da cultura. Godoy *et al.* (2024; 2025) demonstraram que reduções na severidade da doença resultam em incrementos significativos na produtividade, especialmente em situações de elevada pressão do patógeno.

Adicionalmente, Reis *et al.* (2010) e Raetano *et al.* (2011) ressaltam que a eficiência do controle químico da ferrugem da soja depende diretamente da capacidade da tecnologia de aplicação em promover adequada cobertura e penetração dos fungicidas no interior do dossel. Como os tratamentos T2 e T3 apresentaram maior cobertura foliar, maior densidade de gotas e menores níveis de deriva quando comparados ao tratamento com drone, os maiores níveis de produtividade observados neste trabalho são compatíveis com o comportamento esperado para aplicações que proporcionam melhor qualidade de deposição da calda fungicida.

Dessa forma, os resultados indicam que os ganhos produtivos observados nos tratamentos com pulverização terrestre não foram consequência apenas da aplicação dos fungicidas, mas também da superior qualidade da pulverização proporcionada pelas pontas 3D. A maior eficiência de deposição observada nesses tratamentos resultou em menor severidade da ferrugem da soja, menores valores de AACPD e incrementos produtivos de até 9 sacas ha⁻¹ em relação à aplicação realizada com

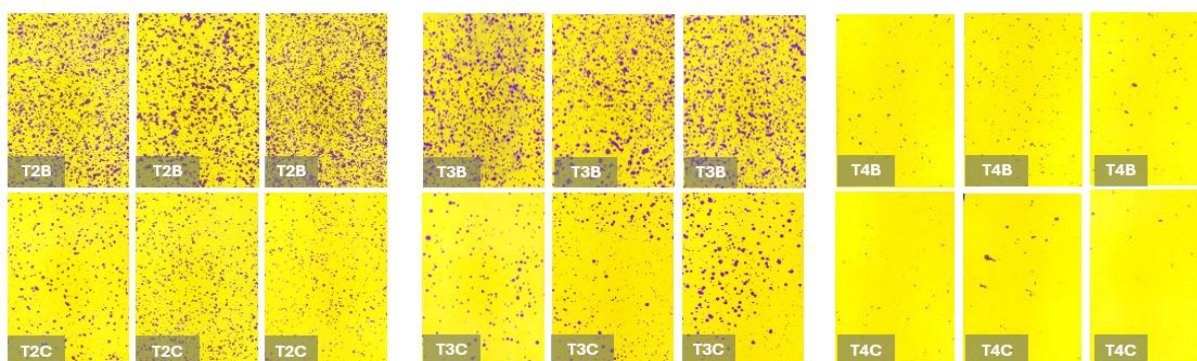
drone, corroborando os resultados obtidos em estudos recentes sobre tecnologia de aplicação na cultura da soja.

2.3.6 Análise dos papéis hidrossensíveis

A caracterização da qualidade da pulverização por meio de papéis hidrossensíveis foi realizada em ambas as safras, durante a segunda (B) e a terceira aplicação (C) dos fungicidas. Essas avaliações foram conduzidas em estádios fenológicos considerados mais representativos para o estudo da deposição da pulverização no interior do dossel, permitindo uma interpretação mais consistente da cobertura, densidade e distribuição das gotas geradas pelas diferentes tecnologias de aplicação.

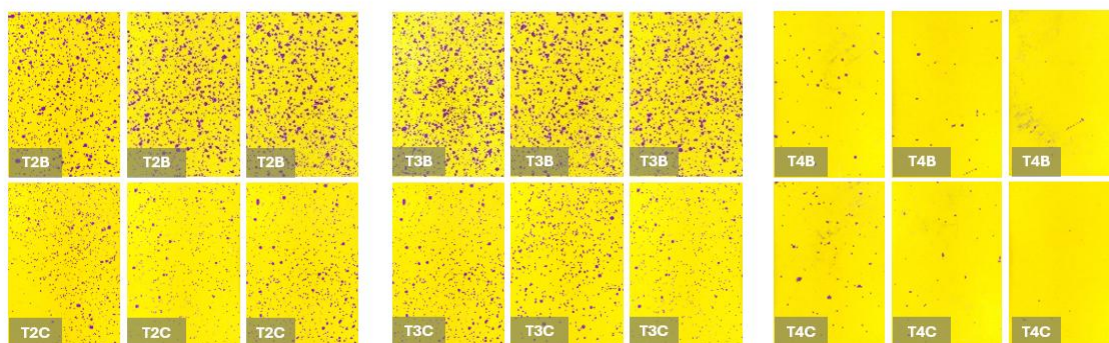
As imagens digitalizadas dos papéis hidrossensíveis obtidas durante as avaliações encontram-se apresentadas nas figuras a seguir e ilustram o comportamento da pulverização em cada tratamento, permitindo a visualização das diferenças relacionadas à deposição e à qualidade da aplicação entre os sistemas avaliados.

Figura 3 – Imagens digitalizadas dos papeis hidrossensíveis no experimento com ferrugem da soja, safra 24/25. Pereiras, SP.



T2B= aplicação em sentido único aplicação B; T2C= aplicação em sentido único aplicação C; T3B= Aplicação em sentido alternado aplicação B; T3C= Aplicação em sentido alternado aplicação C; T4B= Drone aplicação B; T4C= Drone aplicação C.

Figura 4 – Imagens digitalizadas dos papéis hidrossensíveis no experimento com ferrugem da soja, safra 25/26. Pereiras, SP.



T2B= aplicação em sentido único aplicação B; T2C= aplicação em sentido único aplicação C; T3B= Aplicação em sentido alternado aplicação B; T3C= Aplicação em sentido alternado aplicação C; T4B= Drone aplicação B; T4C= Drone aplicação C.

Tabela 7 - Parâmetros qualitativos da pulverização em papel hidrossensível no experimento com *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja, safra 2024/2025. Pereiras, SP.

2 Aplicação						3 Aplicação				
Trat	CO	DS	DMV (µm)	Deriva (%)	AR	CO	DS	DMV (µm)	Deriva (%)	AR
T2	19,07 a	204,48 a	281,5 b	1,75 b	0,84 b	14,92 a	91,28 a	271,53 b	1,97 b	0,75 b
T3	19,3 a	203,85 a	271,3 b	1,73 b	0,77 b	15,02 a	91,32 a	272,39 b	2,13 b	0,77 b
T4	6,88 b	41,42 b	321,2 a	12,91 a	1,05 a	2,50 b	19,88 b	316,57 a	14,95 a	1,07 a
CV	4,67	1,67	6,83	10,94	15,49	8,25	3,13	3,18	6,52	11,19

T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; CO = Cobertura (%); DS= Densidade (gotas/cm²); DMV= Diâmetro mediano volumétrico; AR= amplitude relativa. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Tabela 8 - Parâmetros qualitativos da pulverização em papel hidrossensível no experimento com *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja, safra 2025/2026. Pereiras, SP.

2 Aplicação						3 Aplicação				
Trat	CO	DS	DMV (µm)	Deriva (%)	AR	CO	DS	DMV (µm)	Deriva (%)	AR
T2	16,08 a	185 a	303,95 b	0,94 b	0,84 a	8,87 a	76,12 a	321 b	0,71 b	0,65 a
T3	16,23 a	184,27 a	301,33 b	1,03 b	0,80 a	8,94 a	75,00 a	322,5 b	0,74 b	0,70 a
T4	2,14 b	48 b	327,72 a	16,83 a	1,12 b	0,53 b	16,65 b	336,5 a	11,6 a	1,19 b
CV	4,65	3,66	1,24	19,46	9,87	6,52	2,86	3,99	15,86	10,97

T2= Pontas em único sentido; T3= Pontas alternada; T4= Aplicação com drone; CO = Cobertura (%); DS= Densidade (gotas/cm²); DMV= Diâmetro mediano volumétrico; AR= amplitude relativa. Médias seguidas pelas mesmas letras na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

2.3.7 Qualidade da pulverização e sua relação com o controle da ferrugem da soja

A análise conjunta dos parâmetros qualitativos da pulverização demonstrou que as aplicações terrestres realizadas com pontas 3D, independentemente do posicionamento na barra (T2 e T3), apresentaram desempenho superior ao tratamento realizado com drone (T4) em ambas as safras avaliadas. De maneira geral, os tratamentos terrestres proporcionaram maior cobertura da pulverização, maior densidade de gotas, menor potencial de deriva e menor amplitude relativa, características diretamente associadas à maior deposição dos fungicidas no dossel da cultura.

A cobertura da pulverização variou entre 14,9 e 19,3% na safra 2024/2025 e entre 8,9 e 16,2% na safra 2025/2026 para os tratamentos terrestres, enquanto a aplicação com drone apresentou valores significativamente inferiores, variando de apenas 0,5 a 6,9%. Considerando que a ferrugem da soja necessita de elevada cobertura foliar para o adequado posicionamento dos fungicidas, principalmente em folhas localizadas no interior do dossel, a menor cobertura observada na aplicação com drone ajuda a explicar os maiores níveis de severidade da doença observados nesse tratamento. Segundo Reis *et al.* (2010) e Raetano *et al.* (2011), a cobertura da superfície foliar constitui um dos fatores mais importantes para a eficiência dos fungicidas utilizados no controle da ferrugem da soja, uma vez que o patógeno se desenvolve predominantemente em tecidos localizados no interior da planta.

O mesmo padrão foi observado para a densidade de gotas. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram valores entre 75 e 204 gotas cm^{-2} , enquanto a aplicação com drone apresentou densidades variando entre 16 e 48 gotas cm^{-2} . Esses resultados evidenciam uma superioridade marcante das aplicações terrestres quanto à deposição da pulverização. Segundo Matthews (2008), aplicações fungicidas eficientes devem proporcionar densidade suficiente de gotas para garantir adequada cobertura do alvo, especialmente em culturas de dossel denso. Da mesma forma, Cunha *et al.* (2010) destacam que elevados valores de densidade de gotas aumentam significativamente a probabilidade de contato entre o ingrediente ativo e o alvo biológico. Os resultados observados neste trabalho corroboram aqueles relatados por Pereira (2023), que verificou maior densidade de gotas e melhor deposição da pulverização em aplicações terrestres quando comparadas à aplicação com drone em diferentes estratos do dossel da soja. Batistella (2024) também observou que

reduções na densidade de gotas estiveram diretamente relacionadas ao aumento da severidade das doenças foliares e à redução da produtividade.

Em relação ao diâmetro mediano volumétrico (DMV), os tratamentos terrestres apresentaram valores compreendidos entre aproximadamente 271 e 322 μm , enquanto a aplicação com drone apresentou DMV ainda mais elevado, atingindo valores entre 317 e 337 μm . Embora gotas maiores apresentem menor suscetibilidade à evaporação e à deriva, seu aumento excessivo reduz o número de impactos por unidade de área, resultando em menores densidades de gotas e menores níveis de cobertura. Cunha *et al.* (2010), Matthews (2008) e Antuniassi e Baio (2008) relatam que a eficiência da pulverização depende do equilíbrio entre tamanho de gotas, cobertura e deposição. Esse comportamento foi claramente observado nos tratamentos com drone, nos quais o maior DMV esteve associado aos menores níveis de cobertura e densidade de gotas, refletindo posteriormente em menor eficiência de controle da ferrugem da soja.

O potencial de deriva também demonstrou forte influência sobre a eficiência da aplicação. Enquanto os tratamentos terrestres apresentaram valores geralmente inferiores a 3%, a aplicação com drone registrou deriva variando entre 11 e 17%. Isso significa que uma parcela considerável do volume pulverizado não atingiu o alvo biológico, reduzindo a quantidade efetiva de fungicida depositada no dossel. Segundo Zhu *et al.* (2000), Matthews (2008) e Antuniassi e Baio (2008), perdas elevadas por deriva estão diretamente associadas à redução da deposição efetiva e ao comprometimento da eficiência agrônômica dos defensivos. Resultados semelhantes foram observados por Teixeira (2024), que relatou maiores perdas por deriva em aplicações realizadas com drone, refletindo em menores níveis de controle das doenças foliares da soja.

A amplitude relativa apresentou comportamento semelhante. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram valores geralmente inferiores a 0,9, indicando espectro de gotas mais homogêneo e distribuição mais uniforme da pulverização. Já o tratamento com drone apresentou valores superiores a 1,0 em todas as avaliações, evidenciando maior heterogeneidade do espectro de gotas. Segundo Cunha *et al.* (2014), Matthews (2008) e Antuniassi e Baio (2008), espectros mais uniformes favorecem a deposição das gotas e aumentam a eficiência da pulverização, enquanto espectros heterogêneos elevam simultaneamente os riscos de deriva e escoamento. Esse comportamento foi claramente observado neste estudo, em que os tratamentos terrestres apresentaram

simultaneamente menores valores de AR, maior cobertura da pulverização e maior densidade de gotas.

A integração desses parâmetros explica diretamente os resultados fitossanitários observados. Os tratamentos terrestres, que apresentaram maior cobertura, maior densidade de gotas, menor deriva e maior uniformidade do espectro de pulverização, foram também aqueles que proporcionaram os maiores níveis de controle da ferrugem da soja, com valores entre 60 e 76% de controle da AACPD. Em contrapartida, o tratamento com drone apresentou menores níveis de deposição da pulverização e controles variando entre 46 e 56%.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Balardin *et al.* (2006), que destacam que o sucesso do controle químico da ferrugem da soja depende diretamente da qualidade da pulverização e da capacidade de os fungicidas atingirem os locais de infecção do patógeno dentro do dossel. Alves *et al.* (2021) também verificaram que aplicações que proporcionam maior cobertura foliar e maior densidade de gotas resultam em aumentos significativos na eficiência dos fungicidas utilizados para o manejo de *Phakopsora pachyrhizi*.

Essa superioridade refletiu diretamente na produtividade da cultura. Os tratamentos terrestres produziram entre 71 e 75 sacas ha^{-1} , enquanto o tratamento com drone apresentou produtividades entre 64 e 66 sacas ha^{-1} . Resultados semelhantes foram observados por Teixeira (2024) e Batistella (2024), que relataram menores produtividades em tratamentos conduzidos com drones, associando esse comportamento à menor cobertura foliar, menor densidade de gotas e maior severidade das doenças foliares. Além disso, Godoy *et al.* (2024; 2025) demonstraram que incrementos no controle da ferrugem da soja estão diretamente relacionados à preservação da área foliar verde e ao aumento da produtividade da soja.

Portanto, os dados obtidos mostram que a eficiência das aplicações não depende de um único parâmetro isolado, mas da interação entre cobertura, densidade de gotas, tamanho de gotas, uniformidade do espectro e potencial de deriva. Nas condições avaliadas, as pontas 3D proporcionaram a melhor combinação desses fatores, resultando em maior eficiência de deposição da calda fungicida, maior controle da ferrugem da soja, menores valores de AACPD e maiores produtividades da cultura da soja.

2.4 CONCLUSÃO

A tecnologia de aplicação influenciou diretamente a qualidade da pulverização, o controle de *Phakopsora pachyrhizi* e a produtividade da soja.

As aplicações terrestres com pontas 3D proporcionaram maior cobertura foliar, maior densidade de gotas e menor potencial de deriva, resultando em melhor deposição dos fungicidas e maior eficiência de controle das doenças.

Não houve diferença entre as configurações de pontas 3D avaliadas, indicando desempenho semelhante entre o posicionamento em sentido único e alternado.

As aplicações de fungicidas apresentaram baixa fitotoxicidade, sem impacto sobre o desenvolvimento da cultura.

A aplicação com drone apresentou menor qualidade de pulverização, menor controle das doenças e menor produtividade quando comparada às aplicações terrestres.

Dessa forma, nas condições deste estudo, a pulverização terrestre com pontas 3D foi a tecnologia mais eficiente para o manejo de *Phakopsora pachyrhizi*, proporcionando maior controle das doenças e maiores produtividades da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, T. C. Qualidade da aplicação e deposição de fungicidas na cultura da soja para controle da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 1-10, 2021.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2008. p. 173-212.
- BALARDIN, R. S.; MADALOSSO, M. G.; DEBORTOLI, M. P.; LENZ, G.; GULART, C. A.; ZEMOLIN, C. R. Influência de adjuvantes e volumes de calda na deposição de fungicidas para controle da ferrugem da soja da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32, n. 3, p. 230-235, 2006.
- BATISTELLA, Bruna Flores. **Qualidade de aplicação de fungicida na soja com pulverizador autopropelido e aeronave remotamente pilotada**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2024.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, Cambridge, v. 173, n. 4, p. 677-702, 2007.
- CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, Cambridge, v. 146, n. 2, p. 185-205, 2000.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulica e controle químico em culturas agrícolas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. esp., p. 1153-1160, 2010.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Caracterização do espectro de gotas em pulverizações agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 920-929, 2014.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 28, n. 8, p. 1056-1071, 2005.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; PIMENTA, C. B. **Relatório dos ensaios cooperativos para avaliação da eficiência de fungicidas no controle da ferrugem da soja da soja, safra 2023/2024**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2024.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; PIMENTA, C. B. **Relatório dos ensaios cooperativos para avaliação da eficiência de fungicidas no controle da ferrugem da soja da soja, safra 2024/2025**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2025.

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 and pests**. 5. ed. St. Paul: APS Press, 2015. p. 56-59.

MACHRY, M.; DEUNER, C. C.; SILVA, F.; MENEGHELLO, G. E.; GONÇALVES, M. J. Efeito do mancozebe associado a fungicidas sistêmicos sobre a fitotoxicidade em soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 4, p. 396-404, 2017.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MARQUES, L. N. **Manejo de fungicidas e fitotoxicidade em soja associada ao uso de mancozebe**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 2008.

PEREIRA, A. R. **Deposição da pulverização e qualidade de aplicação em soja utilizando drones agrícolas e pulverizadores terrestres**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R.; MILLER, P. C. H. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: SILVA, J. F.; FERREIRA, L. R. (ed.). **Tópicos especiais em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2011. p. 249-308.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BIANCHIN, V. Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, n. 130, p. 16-20, 2010.

TEIXEIRA, P. H. **Avaliação da aplicação de fungicidas por drones agrícolas e pulverizadores terrestres no controle de doenças foliares da soja**. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2024.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. E.; GODOY, C. V.; NUNES JÚNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 89, n. 6, p. 675-677, 2005.

ZHU, H.; FOX, R. D.; OZKAN, H. E.; BRAZEE, R. D. Development of a scanning system for evaluation of spray deposits. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 3, p. 571-576, 2000.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V. Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018. p. 657-690.

ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2019. 373 p.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 710, de 31 de março de 2023. Aprova a Emenda nº 03 ao RBAC-E nº 94. Brasília, DF: ANAC, 2023. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br>>. Acesso em: 16 set. 2026.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K. Agricultural spraying using unmanned aerial vehicles: a review of current research and future trends. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 37, n. 4, p. 613-623, 2021.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. **Ferrugem asiática da soja: monitoramento nacional e informações técnicas**. Londrina: Embrapa Soja, 2026. Disponível em: <<https://www.consorcioantiferrugem.net>>. Acesso em: 16 set. 2026.

CROP PROTECTION NETWORK. **Septoria brown spot of soybean**. Ames: Crop Protection Network, 2019. Disponível em: <<https://cropprotectionnetwork.org/encyclopedia/septoria-brown-spot-of-soybean>>. Acesso em: 16 set. 2026.

DORR, G. J.; HEWITT, A. J.; ADKINS, S. W.; HANNEN, J. F. Aerial and ground spray application technology and spray deposition in crops. **Crop Protection**, v. 44, p. 78-87, 2013.

FRAC. Fungicide Resistance Action Committee. **FRAC code list 2026: fungal control agents sorted by mode of action**. Brussels: FRAC, 2026. Disponível em: <<https://www.frac.info>>. Acesso em: 16 set. 2026.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C. et al. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem da soja da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2023/2024: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja, 2024.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C. et al. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem da soja da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2024/2025: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja, 2025. (Circular Técnica, 219).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C. et al. **Eficiência de fungicidas para o controle das doenças de final de ciclo da soja na safra 2024/2025: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja, 2025.

HAFEEZ, A.; SHARMA, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Drone-based pesticide application in agriculture: opportunities and challenges. **Agronomy**, v. 13, n. 5, 2023.

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. ed. St. Paul: APS Press, 2015.

LIN, F.; MIDEROS, S. X. Soybean disease management and epidemiology of foliar diseases. **Plant Disease**, v. 107, p. 2101-2115, 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021. Estabelece regras para operação aeroagrícola com drones. Brasília, DF: MAPA, 2021.

MARTIN, D. E.; FRITZ, B. K.; HUANG, Y. Spray deposition characteristics from multi-rotor unmanned aerial application systems. **Transactions of the ASABE**, v. 66, n. 2, p. 451-463, 2023.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide application methods**. 4. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2014.

MEYER, M. C.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M. **Doenças da soja: reconhecimento e manejo**. Londrina: Embrapa Soja, 2023.

NEGRISOLI, M. M.; ANTUNIASSI, U. R.; CUNHA, J. P. A. R. Tecnologias digitais aplicadas à pulverização agrícola e proteção de plantas. **Engenharia Agrícola**, v. 42, e20220015, 2022.

NEGRISOLI, M. M.; RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. Deposição de pulverizações em soja utilizando pontas anguladas. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 5, p. 634-645, 2021.

OLIVEIRA, J. L.; MEYER, M. C.; GODOY, C. V. **Ferrugem da soja da soja: situação atual e perspectivas de manejo no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2025.

RAETANO, C. G.; BAUER, F. C.; ANTUNIASSI, U. R. et al. **Assistência de ar e tecnologias de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: FEPAF, 2011.

SEIXAS, C. D. S.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2020. p. 713-761.

WEN, S.; HAN, J.; NING, Z.; LAN, Y. Downwash distribution and spray deposition characteristics of a multi-rotor UAV. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 37-45, 2019.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.

XIONGKUI, H.; BONDS, J.; HERBST, A.; LANGENAKENS, J. Recent development of unmanned aerial vehicles for plant protection in East Asia. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 18-30, 2017.

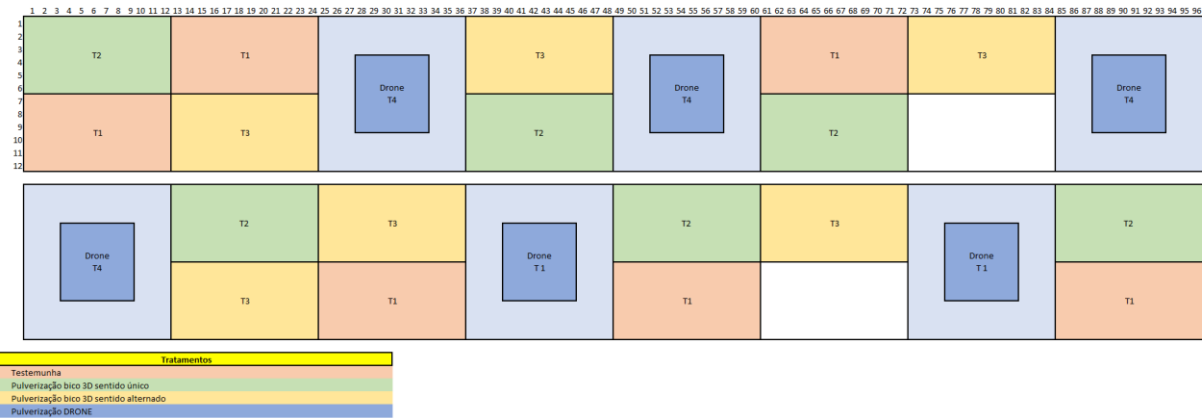
YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D. et al. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, n. 6, p. 675-677, 2005.

ZHANG, C.; WALTERS, D.; KOVACS, J. M. Applications of low altitude remote sensing in agriculture upon farmers' decision making: a review. **Remote Sensing**, v. 13, n. 5, 2021.

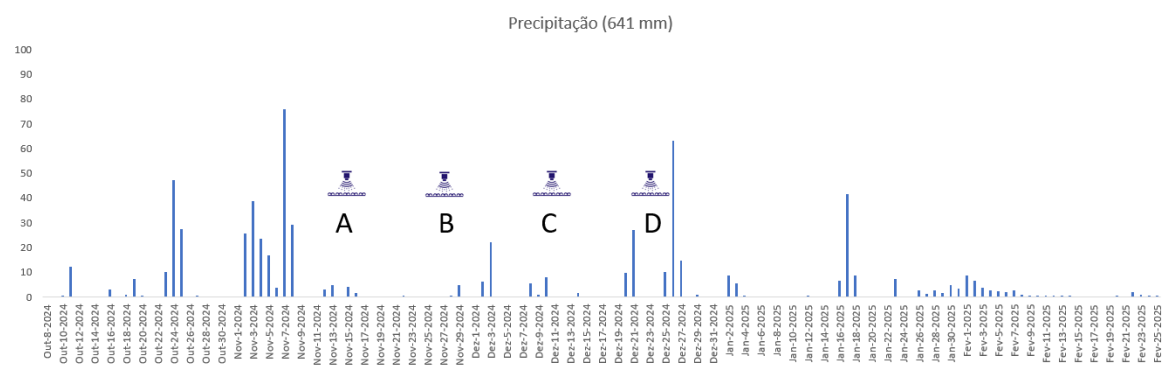
ANEXO A - ANÁLISE DE SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Parâmetro	Resultado
pH (CaCl ₂)	5,8
MO (Matéria Orgânica)	31 g/dm ³
Carbono	18 g/dm ³
P (Fósforo)	260 mg/dm ³
K (Potássio)	4,8 mmolc/dm ³
Ca	52 mmolc/dm ³
Mg	19 mmolc/dm ³
Al ³⁺	0
H+Al	28 mmolc/dm ³
SB	76 mmolc/dm ³
CTC	104 mmolc/dm ³
V%	73%
B	0,31 mg/dm ³
Cu	5,0 mg/dm ³
Fe	24 mg/dm ³
Mn	12,8 mg/dm ³
Zn	1,8 mg/dm ³
Argila	442 g/kg (44,2%)
Areia	242 g/kg (24,2%)
Silte	316 g/kg (31,6%)

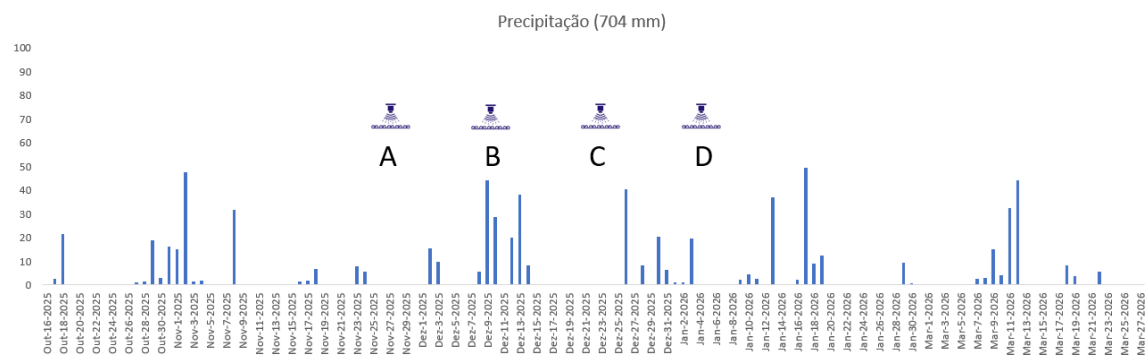
APÊNDICE A – Croqui da área experimental



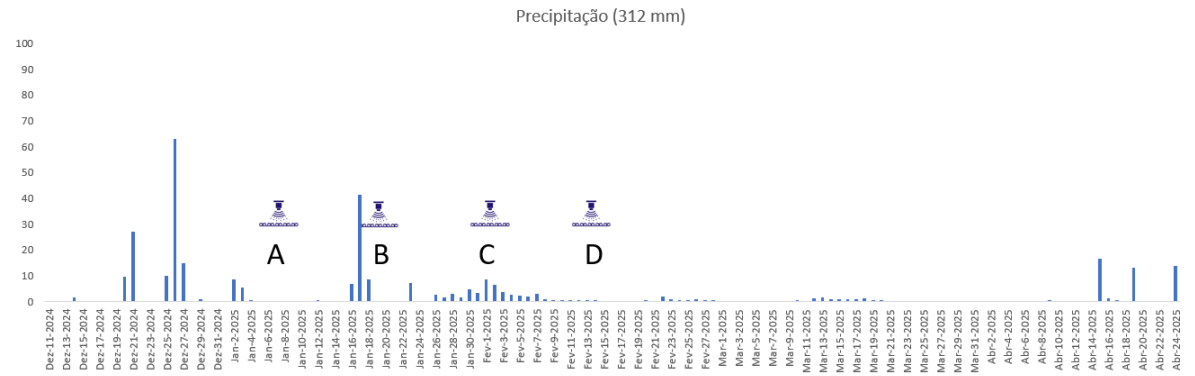
APÊNDICE B - Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento com *Septoria glycines* na safra 2024/2025. Dados acumulados entre 08/10/2024 e 25/02/2025. Pereiras, SP.



APÊNDICE C - Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento com Septoria glycines na safra 2025/2026. Dados acumulados entre 16/10/2025 e 27/03/2026. Pereiras, SP.



APÊNDICE D - Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento com *Phakopsora pachyrhizi* na safra 2024/2025. Dados acumulados entre 11/12/2024 e 24/04/2025. Pereiras, SP.



APÊNDICE E - Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento com *Phakopsora pachyrhizi* na safra 2025/2026. Dados acumulados entre 08/12/2025 e 14/04/2026. Pereiras, SP.

