



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

PETRUS BARROS OSIPE

**ÉPOCAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS EM  
SOJA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE FINAL DE CICLO**

---

LONDRINA  
2023

PETRUS BARROS OSIPE

**ÉPOCAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS EM  
SOJA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE FINAL DE CICLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri.

Londrina  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

O82e Osipe, Petrus Barros.  
Épocas e tecnologia de aplicação de fungicidas em soja para controle de doenças de final de ciclo / Petrus Barros Osipe. - Londrina, 2023.  
87 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.  
Inclui bibliografia.

1. Cercospora kikuchii - Tese. 2. NDVI - Tese. 3. Sensoriamento remoto - Tese. 4. Septoria glycines - Tese. I. Canteri, Marcelo Giovanetti . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

PETRUS BARROS OSIPE

ÉPOCAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS EM  
SOJA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE FINAL DE CICLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Cristiane Brand

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gislaine Gabardo

---

Dr<sup>a</sup>. Andressa Cristina Zamboni  
Machado

---

Prof. Dr. Gustavo Dario

Londrina, 28 de fevereiro de 2023

À minha família, pelo imenso amor, educação, apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, e por permitir que eu pudesse buscar todos os meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por iluminar os meus passos em todos os momentos da minha jornada.

À Universidade Estadual de Londrina (UEL), em especial ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA).

Ao Professor Dr. Marcelo Giovanetti Canteri, pelo apoio e orientação neste trabalho, além da amizade, caráter, e contribuições a minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos de Pós-graduação da Universidade Estadual de Londrina, em especial à Fernanda Neves Paduan, André Luis Silva, Helen Prudente, Renata Thomé, Karla Braga e Lucas Fantin, pela amizade e companheirismo durante este período e indispensável colaboração nos trabalhos desenvolvidos.

À Estação Dashen, que disponibilizou área e condições para que o trabalho fosse realizado, além dos amigos de trabalho Jethro Osipe, Robinson Osipe, Paula Fernanda de Azevedo, Guilherme Alves, Pedro Ciardulo Neto, Carlos Osipi, Marcio Aparecido, Roberval Rodrigues, Gabriel Ciscon, pela grande amizade e extremo comprometimento em auxiliar de forma indispensável para o desenvolvimento do trabalho.

Aos meus brilhantes pais Robinson Osipe e Waldenice M. Barros Osipe, por todo amor, dedicação, e conselhos ao longo do meu crescimento.

À minha família, Pamela Osipe e meu filho Matheus Osipe, por terem me propiciado amor, força, perseverança, alegria e determinação para a conclusão dessa etapa da minha vida.

Aos funcionários do Departamento de Agronomia, em especial à Helenice Kieski e José, pela gentileza, amizade e disposição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelos auxílios concedidos.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

OSIPE, P. B. **Épocas e tecnologia de aplicação de fungicidas em soja para controle de doenças de final de ciclo.** 82f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

## RESUMO

Doenças de final de ciclo na soja (DFCs), como o crestamento foliar de *Cercospora* e a mancha parda, podem reduzir a produtividade da cultura. O momento para o início do controle químico pode apresentar resultados distintos no controle de DFCs, sendo comum aplicações nos estádios reprodutivos da cultura. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade da aplicação de fungicidas em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja no controle de DFCs, além da possibilidade da utilização do sensoriamento remoto para quantificação destas doenças. Os experimentos foram conduzidos nas safras 2019/20, 2020/21 e 2021/22. Cada safra foi composta de três épocas de semeadura, com intervalo de 30 dias, sendo que na última safra o experimento foi realizado em apenas uma época de semeadura. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre estádios de aplicação (V8, R3 e R5.1) dos fungicidas picoxistrobina + tebuconazol + mancozebe e pontas de pulverização XR 11002 e TJ60-8002. As avaliações de depósito do fungicida e cobertura da pulverização foram realizadas após cada aplicação, nos estratos superiores, médios e inferiores das plantas. A severidade da doença foi estimada a partir da identificação dos primeiros sintomas, realizadas a cada 10 dias nos três estratos das plantas. Foi realizada a leitura de refletância do dossel das plantas de cada parcela com auxílio de espectro-radiômetro GreenSeeker HandHeld Model<sup>®</sup> 505. O índice de área foliar, desfolha e produtividade também foram obtidos. A cobertura e depósito da pulverização foi menor ( $p < 0,05$ ) no estrato inferior das plantas, local onde também se observou maior severidade de DFCs. A aplicação durante o estágio V8 garantiu maior depósito no estrato inferior, quando comparado aos estádios reprodutivos. Houve correlação negativa moderada a forte entre o IAF e os estádios de aplicação. O controle das doenças com aplicações em V8 foi de 12,14 e 8,78% maior que aquelas em R3 e 25,34 e 21,76% maior que em R5.1, para as pontas XR e TJ, respectivamente. A diferença entre os tratamentos para a Área Abaixo da Curva de Refletância foi significativa apenas na safra 21/2022, entretanto a desfolha pode ter interferido no processo de leitura de medidas de refletância. As aplicações de fungicidas iniciadas no estágio vegetativo proporcionaram maior cobertura, deposição e produtividade.

**Palavras-chave:** *Cercospora kikuchii*. NDVI. Sensoriamento remoto. *Septoria glycines*.

OSIPE, P. B. **Time and application technology of fungicides in soybean in the control of late season leaf diseases.** Thesis (Postgraduate Program in Agronomy) - Londrina State University, Londrina, 2023.

## ABSTRACT

Late season diseases in soybeans (LSDs), such as *Cercospora* leaf blight and brown spot, can reduce crop productivity. The moment for the start of the chemical control can present different results in the control of DFCs, being common applications in the reproductive stages of the culture. The objective of this study was to evaluate the quality of fungicide application in different phenological stages of the soybean crop in the control of LSDs, in addition to the possibility of using remote sensing to quantify these diseases. The experiments were conducted in the 2019/20, 2020/21 and 2021/22 harvests. Each season consisted of three sowing times, with an interval of 30 days, and in the last crop the experiment was carried out in only one sowing time. Treatments consisted of a combination of application stages (V8, R3 and R5.1) of picoxystrobin + tebuconazole + mancozeb fungicides and XR 11002 and TJ60-8002 spray nozzles. Evaluations of fungicide deposit and spray coverage were performed after each application, in the upper, middle and lower strata of the plants. Disease severity was estimated from the identification of the first symptoms, realized every 10 days in the three strata of the plants. The reflectance of the canopy of the plants in each plot was read using a GreenSeeker Hand Held Model® 505 spectroradiometer. The leaf area index (LAI), defoliation and productivity were also obtained. Spray coverage and deposits were lower ( $p < 0.05$ ) in the lower stratum of the plants, where the highest severity of LSDs was also observed. The application during the V8 stage ensured greater deposit in the lower stratum, when compared to the reproductive stages. There was a moderate to strong negative correlation between LAI and application stages. Disease control with applications in V8 was 12.14 and 8.78% greater than those in R3 and 25.34 and 21.76% greater than in R5.1, for the XR and TJ tips, respectively. The difference between treatments for the Area Below the Reflectance Curve was significant only in the 21/2022 season, however the defoliation may have interfered in the process of reading reflectance measurements. The fungicide applications started in the vegetative stage provided greater coverage, deposition and productivity.

**Keywords:** *Cercoposra kikuchii*, *Septoria glycines*, NDVI, remote sensing,

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Folhas de soja no estágio fenológico V8 após aplicação de calda com corante Amarelo Tartrasina Fluorescente para análise de cobertura de pontas de pulverização nos diferentes estratos da planta. 44
- Figura 2.** Folhas de soja no estágio fenológico R3 após aplicação de calda com corante Amarelo Tartrasina Fluorescente para análise de cobertura de pontas de pulverização nos diferentes estratos da planta. 44
- Figura 3.** Folhas de soja no estágio fenológico R5.1 após aplicação de calda com corante Amarelo Tartrasina Fluorescente para análise de cobertura de pontas de pulverização nos diferentes estratos da planta. 45
- Figura 4.** Correlações entre Índice de Área Foliar (IAF) e deposição da calda no inferior de plantas de soja. Dados referentes às safras 1, 2 e 3. 47
- Figura 5.** Dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C) de 1 de outubro a 30 de maio de 2019/2020 (A), 2020/2021 (B) e 2021/2022 (C) em Bandeirantes, PR. Em azul, 1ª época de semeadura e em vermelho 2ª época de semeadura. 48
- Figura 6.** Severidade (%) de DFCs no estrato superior, médio e inferior de plantas de soja tratadas com fungicida aplicado em diferentes estádios fenológicos com ponta de pulverização XR 11002. Dados da safra 3. Letras minúsculas comparam estratos das plantas e letras maiúsculas comparam épocas de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de significância. 49
- Figura 7.** Severidade (%) de DFCs no estrato superior, médio e inferior de plantas de soja tratadas com fungicida aplicado em diferentes estádios fenológicos com ponta de pulverização TJ60-8002. Letras minúsculas comparam estratos das plantas e letras maiúsculas comparam épocas de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de significância. 50
- Figura 8.** Área Abaixo da Curva de Medida de Refletância (AAR) em parcelas com aplicação de fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos. Dados referentes à safra 3. 54

**Figura 9.** Relação entre nível de desfolha (%) e medidas de refletância em parcelas com níveis de severidade de doenças de final de ciclo na soja. Dados das duas épocas de plantio referentes às safras 1 e 2. 56

**Figura 10.** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis deposição inferior, AACPD, produtividade, desfolha e AAR para tratamentos com fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos de aplicação. Dados da primeira safra. 61

**Figura 11.** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis deposição inferior, AACPD, produtividade, desfolha e AAR para tratamentos com fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos de aplicação. Dados da segunda safra. 61

**Figura 12.** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis deposição inferior, AACPD, produtividade, desfolha e AAR para tratamentos com fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos de aplicação. Dados da terceira safra. 62

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Datas de implantação dos experimentos e épocas de plantio nas três safras de soja 34
- Tabela 2.** Tratamentos com pontas de pulverização em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja, visando controle de crestamento foliar e mancha parda nas safras de 2019/20, 20/21 e 21/22. 36
- Tabela 3.** Características das pontas de pulverização utilizadas no experimento. 37
- Tabela 4.** Cobertura (%) de folhas de soja no estrato superior, médio e inferior em aplicações nos estádios V8, R3 e R5.1 da soja com pontas de pulverização de jato plano simples e jato plano duplo. Dados das duas épocas de plantio das safras 1, 2 e 3. 43
- Tabela 5.** Deposição ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) em folhas de soja no estrato superior, médio e inferior em pontas de pulverização de jato simples e jato duplo. Dados das safras 1, 2 e 3. 45
- Tabela 6.** Deposição ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) em folhas de soja no estrato inferior em diferentes estádios fenológicos com pontas de pulverização de jato simples e jato duplo. Dados das safras 1, 2 e 3. 46
- Tabela 7.** Severidade de DFCs em soja aos 28 D.A.1<sup>a</sup>. (dias após a primeira aplicação), Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) e controle relativo (%) de tratamentos com aplicação de fungicida em diferentes estádios fenológicos da cultura e pontas de pulverização 53
- Tabela 8.** P-valor do teste de Tukey a 5% de probabilidade de medidas de refletância em parcelas com diferentes estádios de aplicação de fungicida, realizadas em cada dia de leitura para as épocas 1e 2 55
- Tabela 9.** P-valor do teste do teste de Tukey a 5% de probabilidade de médias de severidade em cada dia de avaliação para a época 2 da segunda safra. 56
- Tabela 10.** Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de parcelas tratadas com fungicidas com duas pontas e pulverização e estádios fenológicos. Dados das duas épocas de plantio referentes às safras 1, 2 e 3. 59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1	CULTURA DA SOJA	15
2.2	DOENÇAS DE FINAL DE CICLO NA CULTURA DA SOJA	18
2.2.1	Crestamento foliar de Cercospora e mancha púrpura da semente	18
2.2.2	Mancha parda da soja	21
2.2.3	Época de aplicação de fungicidas no manejo de doenças de final de ciclo	23
2.4	TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO NO CONTROLE DE DOENÇAS EM SOJA	25
2.5	SENSORIAMENTO REMOTO E A UTILIZAÇÃO DE MEDIDAS DE REFLETÂNCIA NA DETECÇÃO DE DOENÇAS EM SOJA	28
	<b>ARTIGO A: ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS E PONTAS DE PULVERIZAÇÃO NO CONTROLE DE DOENÇAS DE FINAL DE CICLO</b>	<b>32</b>
3.1	RESUMO	32
3.2	ABSTRACT	32
3.3	INTRODUÇÃO	33
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.4.1	Tecnologia de aplicação: cobertura foliar, deposição e Índice de Área Foliar (IAF)	37
3.4.2	Quantificação de doenças de final de ciclo: Severidade e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)	39
3.4.2	Quantificação de doenças de final de ciclo: Refletância e Área Abaixo da Curva de Refletância (AAR)	40
3.4.4	Produtividade da cultura	41
3.4.5	Análise estatística	41
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.5.1	Cobertura e Deposição Foliar	42

3.5.2	Severidade e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)	47
3.5.3	Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) e Área Abaixo da Curva de Refletância (AAR)	54
3.5.4	Produtividade	57
3.5.5	Análise de Componentes Principais e Correlações entre variáveis	59
3.6	CONCLUSÃO	63
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A intensificação da agricultura brasileira gera competitividade com o comércio internacional. Um dos cultivos mais expressivos é a soja, que garante ao Brasil o título de maior produtor do mundo (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 2022). É essencial o entendimento sobre o ciclo de desenvolvimento desta cultura, bem como dos possíveis fatores bióticos ou abióticos que causem redução na produtividade. Cita-se, como um dos fatores bióticos, a ocorrência de doenças foliares. Devido sua incidência, ocorre a redução do tecido foliar fotossinteticamente ativo, comprometendo a conversão da energia necessária na produção de grãos.

Entre as relevantes doenças foliares da cultura da soja, estão o crestamento foliar de cercospora (*Cercospora kikuchii* (Matsumoto e Tomoyasu) M.W. Garner) e a septoriose (*Septoria glycines* Hemmi). Por ocorrerem simultaneamente no mesmo estágio de desenvolvimento da cultura, a diagnose e quantificações individuais é dificultada, por isso são consideradas como “complexo de doenças de final de ciclo” (DFCs). Os sintomas em folhas infectadas com *C. kikuchii* apresentam pontuações escuras com coloração castanho-avermelhadas e bordas difusas que resultam em crestamento e desfolha prematura. Quando em vagens, causam a mancha púrpura na semente. Os sintomas de *S. glycines* são comuns próximos às nervuras, inicialmente como pequenas manchas irregulares de coloração castanho-avermelhadas, evoluindo para coloração parda e presença de halo amarelo (MARTINS, 2003; MARTINS et al., 2004). Os danos ocasionados pelas doenças de final de ciclo incluem a desfolha prematura, ciclo de vida reduzido e conseqüentemente, perda de produtividade. De acordo com a EMBRAPA (2000), as perdas de produtividade são estimadas entre 15% e 30%.

A forma mais adequada para evitar a ocorrência de DFCs é o controle sanitário das sementes e, caso seja observada em lavouras, tratamentos com fungicidas triazóis e estrobilurinas (EMBRAPA, 2014). Aplicações de fungicidas para o controle de doenças de final de ciclo frequentemente eram recomendadas na fase reprodutiva da cultura, nos estádios R4 e R5

(MARTINS, 2003). Entretanto, o patógeno pode estar presente mesmo em estádios anteriores (ZIVANOVIC et al., 2021), levantando o questionamento sobre a eficiência de aplicações nos estádios vegetativos, a fim de reduzir o progresso da doença ou a diminuição de inóculo presente.

Outro fator relacionado ao sucesso do controle químico é a qualidade da aplicação de fungicidas. Segundo Silva (2021), ponta de jato plano simples promoveu maior deposição da calda de pulverização no estrato superior de plantas de soja, enquanto que a ponta de jato plano duplo permitiu maior diâmetro da mediano volumétrico de gotas nos estratos superior e mediano. A correta utilização da tecnologia de aplicação ainda pode garantir maior área da folha coberta com o fungicida e vencer a barreira imposta pela massa de folhas, uma vez que normalmente as DFCs se iniciam no estrato inferior da planta (FERNANDES et al., 2007).

A dificuldade da quantificação de doenças de final de ciclo torna a utilização do sensoriamento remoto, por meio de sensores multiespectrais, uma técnica promissora no monitoramento. As utilizações de medidas de refletância em soja foram destacadas como uma potencial estratégia na detecção de variações espectrais de parcelas com níveis de ferrugem asiática (KOGA, CANTERI, GODOY, 2007; HIKISHIMA et al., 2010).

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade e técnicas da aplicação de fungicidas em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja no controle de doenças de final de ciclo, além da possibilidade da utilização do sensoriamento remoto para quantificação de doenças de final de ciclo da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CULTURA DA SOJA

A cultura de maior expressão de cultivo no Brasil é a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), pertencente à família Fabaceae e gênero *Glycine*, com origem da área situada ao leste da China, consumida pelos humanos há mais de 5 mil anos foi disseminada pelos ingleses e imigrantes orientais, foi então introduzida nas Américas em 1765. Já no Brasil, o início do cultivo foi realizado em meados de 1880 no estado da Bahia (GAVAL et al., 2016; ROCHA et al., 2018).

A soja é considerada uma das principais fontes de proteínas concentradas de boa qualidade e de óleo vegetal. As sementes têm sido usadas por muitos séculos para preparar uma variedade de alimentos frescos, fermentados e secos, utilizados na alimentação humana e animal (QIU; CHANG, 2010). Além de seu uso para fins domésticos, o óleo de soja apresenta usos variados em indústrias relacionadas à produção de produtos farmacêuticos, plásticos, papéis, tintas, vernizes, pesticidas e cosméticos. Recentemente, o uso do óleo de soja como biodiesel abriu outra possibilidade de fontes renováveis de energia para usos industriais (ÖZENER et al., 2014).

Como leguminosa, a soja é capaz de utilizar nitrogênio atmosférico por meio de fixação biológica e, portanto, é menos dependente de fertilizantes sintéticos. Tendo em vista suas vastas utilidades, há ampla justificativa para seu envolvimento significativo nos principais programas de melhoramento de cultivos em todo o mundo (DOMINGO; BORDONADA, 2011).

Para garantir maiores margens de lucro do plantio de soja, as práticas de manutenção devem ser aplicadas de forma planejada. Sendo assim, é essencial o entendimento sobre o ciclo de desenvolvimento desta planta. A metodologia de descrição destes estádios foi proposta por Fehr e Caviness (1977) e é atualmente o mais utilizado no mundo, pois possui exatidão na identificação dos estádios, o que diminui as interpretações subjetivas que podem incorrer em erros (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007)

Os estádios fenológicos da soja são subdivididos entre vegetativos e reprodutivos, designados pelas letras V e R, respectivamente. O estágio vegetativo é determinado de acordo com o nó, que é a parte do caule onde a folha se desenvolve. O estágio VE é quando os cotilédones estão acima da superfície do solo; no estágio VC é quando os cotilédones estão completamente abertos; quando no estágio V1, as folhas unifolioladas estão completamente desenvolvidas; no V2 a primeira folha trifoliolada apresenta completo

desenvolvimento, já na V3 a segunda folha, na V4 a terceira folha, V5 quarta folha e por fim na Vn a ante enésima folha trifoliada está completamente desenvolvida. Os estádios reprodutivos representam o período de florescimento-maturação, em que o R1 e o R2 caracterizam-se pelo florescimento, R3 e R4 desenvolvimento da vagem, R5 e R6 o desenvolvimento do grão e, por fim, R7 e R8 pela maturação da planta (FEHR; CAVINESS, 1977).

O desenvolvimento da soja é altamente sensível às flutuações ambientais e a água é o principal fator que tem grande impacto em sua produtividade. Além disso, os efeitos da temperatura e do fotoperíodo também são importantes para determinar a cultura da soja no espaço e no tempo. Apesar de vários estresses bióticos e abióticos e restrições de produção, houve ganhos notáveis nesta cultura ao longo dos anos (SOUZA et al., 2019).

O Brasil é considerado uma potência na produção desta oleaginosa, fato que se intensifica a cada safra. Na última década o crescimento da produção foi exponencial. A produção saltou de 69 milhões de toneladas em 2009 para 125 milhões de toneladas em 2021, um aumento de 44,8% (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 2023).

Na safra de 2022/23, o país apresentou 4,7% de acréscimo em área plantada em comparação à safra anterior, totalizando 43.459,9 mil hectares destinados ao cultivo de soja. Complementar ao crescimento de área plantada, os ganhos em produtividade também foram observados – 16,1% em relação à safra passada - refletindo no recorde de produção de 152.712,8 mil toneladas (CONAB, 2023).

O aumento de produtividade e áreas plantadas garantiu ao Brasil o título de maior produtor mundial de soja, superando os Estados Unidos. De acordo com dados da safra de 2021/2022 (FIESP, 2022), além de maior produtor, o Brasil é o país que mais exporta soja no mundo, cerca de 79,4 milhões de toneladas, 26% maior que a exportação dos Estados Unidos, segundo maior produtor.

Assegurar a máxima produtividade requer um planejamento de técnicas de manejo e monitoramento da lavoura. Um dos fatores que podem reduzir a produtividade da cultura é a incidência de doenças. Segundo o Manual de

Identificação de Doenças de Soja, publicado pela Embrapa (2014), uma lavoura de soja pode ser hospedeira de diversas classes de microrganismos, como fungos, bactérias, vírus e nematoides, sendo que há pelo menos 21 espécies de fungos associados com doenças em soja.

## 2.2 DOENÇAS DE FINAL DE CICLO NA CULTURA DA SOJA

A fase final do ciclo da soja, quando os grãos estão em maturação, é sensível quanto ao aparecimento de doenças, que ainda podem provocar prejuízos. Uma combinação de várias doenças, por ocorrerem no mesmo estágio de desenvolvimento da cultura e ter quantificações individuais dificultadas, são consideradas como “complexo de doenças de final de ciclo”, ou DFCs. Podem acometer folhas, caules, vagens e sementes e, em geral, causam a redução do ciclo pela senescência prematura, do rendimento de grãos e da qualidade das sementes (SWEETS et al., 2008).

Dentre as principais DFCs, citam-se a mancha marrom de *Septoria* (*Septoria glycines* Hemmi), crestamento foliar de *Cercospora* e mancha púrpura (*Cercospora kikuchii* T. Matsumoto & Tomoyasu), podridão seca ou mancha de *Phomopsis* (*Phomopsis sojae* (Lehman) Wehm) e antracnose (*Colletotrichum truncatum* (Schw.) Andrews & WD Moore), sendo *S. glycines* e *C. kikuchii* os patógenos prevalentes (CARMONA et al., 2010).

De acordo com Godoy et al. (2005), as DFCs podem causar reduções de rendimento superior a 20%. Devido à desfolha precoce, a incidência das DFCs faz com que o ciclo da cultura seja antecipado, prejudicando o enchimento de grãos e refletindo na redução da produtividade. Guerzoni (2001) cita que as DFCs reduziram o peso de mil grãos, acarretando em um decréscimo de 21% na produção de soja.

### 2.2.1 Crestamento foliar de *Cercospora* e mancha púrpura da semente

A importância desta doença aumentou em todos os países onde a soja é cultivada, especialmente em áreas tropicais. O fungo *Cercospora kikuchii* (Tak. Matsumoto e Tomoy.) M. W. Gardner, agente causal do crestamento foliar de *Cercospora*, é disseminado em todas as regiões produtoras de soja no Brasil,

ressaltando-se que as regiões mais quentes e chuvosas são relacionadas com os sintomas mais severos.

O gênero desse agente causal, *Cercospora*, é um dos maiores e possui muitos membros patogênicos em uma ampla gama de hospedeiros de plantas, incluindo quase todas as principais famílias em dicotiledôneas e a maioria das famílias de monocotiledôneas (SOUSA et al., 2016). Em 1954, Chupp listou mais de 1.800 nomes de espécies em sua monografia, e Pollack compilou mais de 3.000 nomes de espécies até 1987 (LURÁ et al., 2011). Atualmente, *C. kikuchii* está associada a três doenças em soja: mancha púrpura na semente, morte de plântula e crestamento foliar de cercospora (ALMEIDA et al., 2005b).

O diagnóstico de infecção por *Cercospora* é possível a partir de lesões ou culturas necróticas esporuladas. Tradicionalmente, a identificação de espécies de *Cercospora* tem sido baseada principalmente em caracteres conidiais e associação de hospedeiros (HENNING et al., 2014). Nos Estados Unidos, as espécies *Cercospora* cf. *flagellaris* e *Cercospora* cf. *sigesbeckiae* foram relatadas como agentes causais do crestamento foliar em soja (ALBU et al., 2016).

O processo de infecção de *C. kikuchii* se inicia com a penetração de hifas através do hilo, poros epidérmicos e/ou fissuras no tegumento de sementes de soja. É comum que o fungo esteja localizado no revestimento da semente, nos cotilédones e/ou no eixo hipocótilo-radícula, formando agregados de hifas, que causam necrose de células dos cotilédones e elementos vasculares (HARTMAN et al., 2015; PIOLI et al., 2000). Em plantas, a infecção ocorre com a germinação de esporos e/ou micélios do fungo, provenientes de sementes ou restos culturais infectados. Segundo Lavilla, Ivancovich e Díaz-Paleo (2022), 50 % dos conídios germinam após 2 h de incubação em condições ideais de umidade. O tubo germinativo penetra na superfície foliar através dos estômatos, que desenvolvem hifas que colonizam o mesófilo. As hifas liberam micotoxinas (ALMEIDA et al. al., 2005a) que destroem as células circundantes, necrosam os tecidos e causam os sintomas de crestamento.

*Cercospora kikuchii* produz a fitotoxina cercosporina, essencial para que o patógeno infecte a soja. A cercosporina é um fotossensibilizador e utiliza

energia luminosa para produzir superóxido de espécies de oxigênio ativado e oxigênio único. Essa toxina perilenequinona é fotoativada e não tem toxicidade no escuro. A exposição de células vegetais e tecidos à cercosporina resulta na peroxidação dos lipídios da membrana, levando à quebra destas e morte das células. Danos na membrana permitem o vazamento de nutrientes para os espaços intercelulares das folhas, permitindo o crescimento do fungos e sua esporulação. A redução no vigor, qualidade e rendimento torna-se aparente no aparecimento de lesões necróticas comumente encontradas nas folhas (ALMEIDA et al., 2005a; DAUB & CHUN, 2007). A produção de cercosporina demonstrou ser fundamental na patogênese de *C. kikuchii*, pois, segundo Upchurch et al. (1991), cepas mutantes incapazes de produzir a substância não produziram sintomas da doença em soja.

Os sintomas apresentados pelas folhas infectadas com *C. kikuchii* são pontuações escuras com coloração castanho-avermelhadas e bordas difusas que resultam em crestamento e desfolha prematura. As vagens também apresentam as pontuações castanho-avermelhadas, permitindo que o fungo atinja a semente, causando uma outra doença, conhecida como mancha púrpura. A descoloração púrpura em sementes é causada pelo acúmulo de cercosporina, que causa danos à membrana e morte celular. Sementes infectadas podem servir de inóculo primário em uma lavoura, no entanto, a infecção por *C. kikuchii* não interfere na germinação, emergência ou vigor de sementes (NETO, WEST, 1989; YORINORI, 1997; DAUB; EHRENSHAFFT, 2000; EMBRAPA, 2014).

De acordo com Lavilla, Ivancovich e Díaz-Paleo (2022), *C. kikuchii* é um patógeno policíclico que desenvolve uma nova geração de conídios a cada doze dias dentro da cultura da soja, se as condições climáticas forem favoráveis. A respeito da dispersão dos esporos de *C. kikuchii* através do ar, Kudo, Blum e Lima (2011) observaram que os maiores números de conídios foram coletados no período diurno, entre 8h e 15h, quando houve redução da precipitação e do molhamento foliar. Os autores identificaram ainda que a UR acima de 80% e temperatura entre 20 e 24°C foram mais favoráveis para a captura de conídios e a intensidade do crestamento foliar.

Em relação às condições ambientais favoráveis para a ocorrência da doença, Schuh (1991) relatou que a infecção da folha e vagem por *C. kikuchii* ocorreu em um período mínimo de 18h de molhamento foliar. Este autor também observou que temperaturas entre 15 e 30°C, com ótima de 25 °C, foram favoráveis para o aparecimento de sintomas. No entanto, o período de molhamento foliar parece ser determinante para a ocorrência da doença, uma vez que, quanto maior o período de molhamento foliar, maior a severidade da doença, independente da temperatura.

A maior severidade do crestamento foliar foi observada por Kudo, Blum e Lima (2011), durante o período reprodutivo da cultura, nos estádios R6-R7 da soja, concordando com as observações de Walters (1980), período que comumente coincide com as condições climáticas favoráveis e o cultivo da soja no Brasil. Segundo Pioli et al. (2000), o estágio fenológico R7 é o momento em que se transmite *C. kikuchii* dos carpelos para a semente.

De acordo com a EMBRAPA (2000), no Brasil as perdas provenientes da incidência do crestamento são estimadas entre 15% e 30%. Na Argentina, os danos causados pelo crestamento foliar reduziram o rendimento da soja em 11%, naqueles tratamentos que ultrapassaram 50% de severidade, e 25% quando não foi aplicado fungicida foliar (LAVILLA; IVANCOVICH, 2021). Wrather et al. (2010) estimaram que a ocorrência do crestamento foliar de *Cercospora* e mancha púrpura da semente em soja tenha reduzido a produtividade mundial da cultura em 1911,8 mil toneladas em 2006, predominando a redução de 1.086.000 t na Argentina, 720.000 t no Brasil e 85.200 t nos Estados Unidos.

### 2.2.2 Mancha parda da soja

Assim como o crestamento foliar de *Cercospora*, a mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi) está presente em todas as regiões produtoras do Brasil. Descrita pela primeira vez no Japão, em 1915, esta doença pode aparecer no estágio de plântula logo após o plantio, mas se torna mais severa quando ocorre perto da maturidade (HEMMI, 1915; WOLF, LEHMAN, 1926;

MANTÉCON, 2008). Mantécon (2008) ressalta que a presença da doença nos estádios iniciais determina sua severidade durante a fase final da safra de soja.

O fungo produz picnídios de formato globoso, que abrigam em seu interior os conídios hialinos, filiformes e recurvados. Hemmi (1940) descreveu os picnídios como globosos ou subglobosos, de paredes finas, marrons, medindo de 44 a 125 µm de diâmetro e os filiformes, hialinos, na maioria irregularmente curvos. A germinação e o desenvolvimento do tubo germinativo ocorreram em 24 a 50 horas em água, com temperatura ótima de crescimento de 24° a 28° C.

Sob umidade, uma massa de conídios é expelida através dos poros. O inóculo primário pode se originar nos restos de cultura e nas sementes infectadas. A partir dos cotilédones ou dos restos da cultura anterior, o fungo pode infectar as folhas primárias (ITO; TANAKA, 1993). Portanto, sua presença nas etapas iniciais determina sua severidade durante os estádios finais da cultura da soja. O fungo *S. glycines* é introduzido na lavoura por meio de sementes infectadas e, posteriormente, os conídios produzidos nas folhas e restos culturais são disseminados pela chuva e pelo vento (YORINORI, 1997).

A doença pode incidir no caule, pecíolos e vagens de plantas de soja. Nas folhas, é comum aparecerem nas nervuras ou muito próximas delas, inicialmente como lesões pequenas e arroxeadas, evoluindo para manchas marrons com formatos irregulares, frequentemente desenvolvem um halo amarelo ao redor da mancha. À medida que as lesões se desenvolvem, os esporos produzidos são disseminados por respingos de chuva e vento, espalhando a doença nos demais estratos das plantas. Embora as manchas foliares estejam geralmente confinadas à parte inferior da copa, a doença pode progredir para o dossel superior sob condições ambientais favoráveis. À medida que a planta se aproxima da maturidade, as folhas gravemente infectadas aparecem com coloração amarronzada e podem cair prematuramente (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; ALMEIDA et al., 2005b; SILVA et al., 2018).

A infecção por *S. glycines* é visível em plântulas com 30 a 35 dias após a semeadura e, após o enchimento das vagens, quando torna-se mais severa. Durante o desenvolvimento reprodutivo, a doença encontra-se principalmente

no estrato inferior de plantas de soja. No entanto, próximo à maturação da cultura, é possível notar sintomas da doença mesmo no estrato superior, causando amarelecimento, desfolha prematura e redução no peso das sementes, com efeitos visíveis após os estádios de completa formação de vagem (R6) e início da maturação (R7.1) (FERREIRA et al., 1979).

Molhamento foliar de no mínimo 6 horas e temperatura ótima de 25°C favorecem a infecção e desenvolvimento deste fungo (PETERSON; EDWARDS, 1982; PICININI; FERNANDES, 2003). Os danos podem incluir desfolha prematura, ciclo de vida reduzido e perdas superiores a 30% na produtividade (YORINORI, 1997). Embora a mancha marrom não seja frequentemente considerada uma ameaça econômica à produção de soja, a perda de rendimento pode ocorrer quando mais de 25% da cobertura é desfolhada no estágio de crescimento R6 (BATZER et al., 2016). De acordo com Wrather et al. (2010), estima-se que a mancha parda tenha reduzido o rendimento da cultura da soja em 1176,5 mil toneladas na Argentina, 340 mil toneladas no Brasil e 2186.3 mil toneladas na China, no ano de 2006.

Não existem cultivares de soja resistentes à mancha parda causada por *S. glycines* (LIN et al., 2020), destacando-se a importância da gestão do controle químico. De acordo com Broguin et al. (2003), a característica de resistência é governada por vários genes com menor efeito e tem herdabilidade baixa a média e não foi encontrada variabilidade patogênica entre isolados do fungo.

### 2.2.3 Época de aplicação de fungicidas no manejo de doenças de final de ciclo

A forma mais adequada para evitar a ocorrência da doença é com o controle das sementes (EMBRAPA, 2014). Embora a utilização de cultivares resistentes seja encorajada no manejo de doenças, de acordo com Lin e Mideros (2021), não há fontes genéticas de resistência a *S. glycines* disponível na soja, assim como são desconhecidas variedades resistentes ao cretamento foliar de *Cercospora* (*C. kikuchii*), apenas para a mancha púrpura da semente (ALLOATTI et al., 2015; KASHIWA et al., 2021). Kashima et al. (2021) ainda ressaltam que a resistência à mancha púrpura da semente não está

relacionada com o crestamento foliar de *Cercospora*, embora tenham em comum o mesmo agente causal.

Dessa maneira, o manejo de doenças de final de ciclo depende fortemente da aplicação de fungicidas. Os grupos químicos utilizados no controle de doenças de final de ciclo são predominantemente triazóis e estrobilurinas. Segundo Carmona, Sautua e Perez-Hernández (2019), fungicidas inibidores externos de quinonas (QoIs), inibidores de desmetilação (DMIs) e inibidores da succinato desidrogenase (SDHIs), com ação sítio-específico, por serem utilizados em repetidas aplicações, podem selecionar populações de fungos resistentes a esses modos de ação.

Os principais fungicidas utilizados no controle da doença são os sítios-específicos, do grupo químico dos benzimidazóis, estrobilurinas e triazóis aplicados em mesclas. Os benzimidazóis interferem na mitose e resultam na morte da célula, as estrobilurinas atuam bloqueando a transferência de elétrons afetando a respiração mitocondrial e os triazóis inibem a síntese de ergosterol, atuando na parede celular (HEWIT, 1998). No manejo anti-resistência para os fungicidas sítio-específicos, aparecem os fungicidas multissítios que atuam em diferentes pontos metabólicos do fungo e apresentam baixo risco de resistência (MCGRATH, 2004). Em razão da menor sensibilidade de fungos aos fungicidas sítio-específicos na cultura da soja, fungicidas multissítios têm sido reavaliados para aumentar as opções de controle de doenças na cultura.

Para *C. kikuchii*, um dos fatores importantes em relação ao controle da doença é a resistência apresentada aos fungicidas tradicionalmente usados para seu controle. Price et al. (2015) avaliaram a resistência de *C. kikuchii* a fungicidas QoI. Em média, 89% de todos os isolados selecionados entre 2011 e 2013 foram resistentes aos fungicidas QoI. Isolados exibindo resistência múltipla aos fungicidas QoI e DMI também foram detectados em 2011, 2012 e 2013 nas frequências de 34, 26 e 31%, respectivamente. Com base nesses resultados, os autores ressaltam que as estratégias de manejo da cercospora foliar utilizando aplicações no solo de fungicidas QoI ou MBC em soja, devem ser reconsideradas. Da mesma forma, Neves et al. (2022) constataram que

47,5% dos isolados de *S. glycines* testados eram resistentes aos fungicidas Qol.

Há um grande questionamento a respeito sobre o momento certo de aplicação para controlar DFCs (MARTINS, 2003, CARMONA et al., 2015). O controle químico tem sido adotado de acordo com um estágio fenológico da cultura, normalmente entre R3 e R5 (NIERO et al., 2007; VIANA et al., 2008; CARMONA et al., 2017; CARMONA et al., 2018). No entanto, Carmona et al. (2015) ressaltam que, devido à facilidade de implementação, este critério baseado na fenologia foi amplamente adotado, uma vez que não requer a detecção de doenças ou diagnóstico. No entanto, ressaltam que não deve ser a única informação para decidir sobre as aplicações de fungicidas. Os autores citam que o efeito de um fungicida está fortemente relacionado com a interação deste com o fungo alvo.

Aplicações realizadas anteriormente aos estádios reprodutivos podem trazer resultados benéficos, uma vez que a doença pode ocorrer desde o início do cultivo. Além disso, os fungos podem estar presentes na parte aérea das plantas antes mesmo do aparecimento dos sintomas, como constatado por Klingelfuss e Yorinori (2001), que observaram a presença de *C. kikuchii* a partir do estágio R5.2, progredindo à medida que as plantas se aproximaram da maturação.

#### 2.4 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DE DOENÇAS EM SOJA

Aliada ao melhor momento para realizar o controle químico de doenças de final de ciclo está a tecnologia de aplicação, a fim de obter o melhor resultado. A correta aplicação do fungicida é determinante para o controle da doença, assim como para o sucesso da produtividade. Cunha e Peres (2010) salientam que os parâmetros de qualidade da aplicação de fungicidas devem ser ainda mais assegurados quando as plantas possuem grande desenvolvimento vegetativo – comumente em estádios fenológicos mais avançados e momento de maior incidência de DFCs - e, mesmo que o fungicida tenha ação sistêmica, deve-se buscar a máxima capacidade de cobertura e penetração no dossel da planta. Esse objetivo pode ser alcançado com a

escolha correta da ponta e da técnica de aplicação do fungicida, bem como do momento da aplicação.

Com a evolução da tecnologia de aplicação, é possível atingir a cobertura do dossel vegetativo, visando vencer a barreira imposta pela massa de folhas, visto que normalmente as doenças se iniciam na parte mais baixa da cultura (FERNANDES et al., 2007).

Como forma de distribuir o produto nas plantas, os pulverizadores pressurizam a calda de aplicação por um circuito hidráulico até um restritor: a ponta de pulverização. As pontas de pulverização são responsáveis por fragmentar a solução de pulverização em gotas; delimitam a faixa de pressão de trabalho; tamanho da gota; cobertura sobre o alvo; ângulo de abertura do jato, vida útil da gota e risco de deriva (MATUO et al., 2001; CHRISTMANN; GARCIA, 2017).

Segundo Leite e Serra (2013), a seleção das pontas de pulverização está diretamente ligada ao alvo e o tipo de produto utilizado, ao critério econômico e ambiental. O espectro de gotas finas ou muito finas resulta em uma maior deposição do produto sobre o alvo desejado, quando ele for comparado com espectros de gotas médias a grossas (DEBORTOLI et al., 2012). De acordo com Lenz et al. (2011), o diâmetro mediano volumétrico (DMV) para gotas finas encontra-se no intervalo de 119 a 216 $\mu\text{m}$ , para gotas médias 217 a 352 $\mu\text{m}$  e para gotas grossas 354 a 464 $\mu\text{m}$ . Visando obter uma cobertura satisfatória da pulverização sobre o alvo, é importante selecionar adequadamente as pontas de pulverização e a taxa de aplicação (volume de calda/hectare). Rotineiramente se prioriza a escolha do fungicida deixando em segundo plano a tecnologia de aplicação (GULER et al., 2007).

Deposição e cobertura são, dentro do desempenho de uma aplicação, os parâmetros mais importantes e é fundamental que sejam quantificados visando avaliar a eficiência de uma pulverização no campo (PALLADINI, 2000; YU et al., 2009). A eficácia do tratamento depende não apenas da quantidade de material depositado sobre a vegetação, mas, também, da uniformidade de cobertura do alvo (McNICHOL et al., 1997).

Aplicação eficiente requer cobertura adequada da superfície-alvo com gotas de tamanho apropriado. No caso de serem produzidas gotas muito grandes, superiores a 800  $\mu\text{m}$ , não ocorre boa cobertura da superfície, tampouco boa uniformidade de distribuição. As gotas muito grandes, pelo seu peso, normalmente não se aderem à superfície da folha e terminam no solo. No caso de gotas muito pequenas, geralmente ocorre boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição da calda, mas essas gotas podem evaporar em condições de baixa umidade relativa ou serem levadas pela corrente de ar (TEIXEIRA, 1997). Segundo WOMAC et al. (1999), os fatores que influenciam o espectro de gotas produzidas por determinada ponta de pulverização são: vazão nominal, ângulo de pulverização, pressão do líquido, propriedades da calda e modelo da ponta de pulverização.

A deposição, ou seja, a quantidade de produto que atinge a folha, é menor no estrato inferior e nas partes internas do dossel das culturas devido ao efeito “guarda-chuva” proporcionado pelas partes mais altas de algumas espécies de plantas (SILVA et al., 2014). Para as pulverizações com fungicidas, esta particularidade causa baixa eficácia no controle das doenças, que necessitam de cobertura da planta para melhor proteção (MOREIRA, 2010).

Palladini (2000) relata que as avaliações com a técnica de visualização da cobertura nas folhas foram utilizadas pela primeira vez por Staniland, em 1959, com o uso de pigmentos fluorescentes. Ele o descreveu como um método importante, principalmente pela possibilidade de localizar com precisão onde o produto se depositou, e como um valioso instrumento para demonstrar a distribuição e intensidade da cobertura obtida, bem como avaliar os efeitos da umidade, tenacidade, tipos de bicos, variações do volume de aplicação, pressão, velocidade e outras causas que afetam as operações de pulverização em diferentes culturas.

As formas mais comuns de se avaliar a deposição de calda nas plantas de soja são a utilização de algum tipo de reagente, que, após análise em espectrofotometria, podem indicar a presença do produto de deposição, ou então, a distribuição de placas de Petri ao longo da lavoura de forma aleatória, contendo papel hidrossolúvel. Este tipo de controle garante ao produtor que a

pulverização atingiu parte expressiva de sua lavoura (ANTUNIASSI; BOLLER, 2011).

De acordo com o produto utilizado para observar a deposição, se faz necessária uma análise em laboratório para obter as informações quantitativas da cobertura, que normalmente são realizadas via espectrofotometria (BAESSO et al., 2014).

Carvalho (2012) relatou a eficiência das aplicações de produtos fitossanitários utilizando gotas finas para controle de doenças como a ferrugem da soja, com resultados significativos tanto nas aplicações aéreas como nas terrestres, com destaque para a ocorrência de boa cobertura e penetração sobre o alvo. Viana et al. (2008) relataram melhor deposição e cobertura dos estratos superior-médio e inferior na cultura da soja, quando pulverizado com os bicos TJ60-8002 e XR 11002, com pressão de trabalho de 3 bar e volume de aplicação de 158 L. ha<sup>-1</sup>.

## 2.5 SENSORIAMENTO REMOTO E A UTILIZAÇÃO DE MEDIDAS DE REFLETÂNCIA NA DETECÇÃO DE DOENÇAS EM SOJA

Além da constante análise da cultura para observar se há a presença de pragas, o produtor também deve realizar um monitoramento em sua lavoura para inferir se a sua cultura está sadia. Uma das formas mais rápidas de se analisar é com a técnica de sensoriamento remoto. Este recurso utiliza imagens de satélite ou até mesmo com sensoriamento terrestre e possibilita a leitura dos índices de vegetação, distribuição espacial das áreas de cultivo, vigor das plantas e, assim, avaliação do potencial de produção, que se utilizado corretamente, pode gerar maior lucro aos produtores (GROFF et al., 2013).

As plantas emitem e refletem radiação eletromagnética capaz de ser captada por sensores especiais sensíveis a determinados comprimentos de onda (LAMPARELLI et al., 2001). A refletância foliar pode ser estudada no espectro da região do visível e região do infravermelho. As diferentes coberturas vegetativas podem ser distinguidas de acordo com seu comportamento espectral singular em relação aos elementos do solo: a radiação visual no vermelho (630-690 nm) é absorvida pela clorofila enquanto a

radiação no infravermelho próximo (760-900 nm) é fortemente refletida pelas estruturas celulares das folhas (BAUER, 1975; TUCKER; GARRATT, 1977; CAMPILLO et al., 2010).

Ao examinar a curva de refletância geral da vegetação, o desvio observado entre o vermelho e o infravermelho próximo constitui uma variável sensível à presença de vegetação verde. A resposta espectral da vegetação no vermelho está fortemente correlacionada com a concentração de clorofila, enquanto a resposta espectral no infravermelho próximo é controlada pelo índice de área foliar e pela densidade da vegetação verde. A combinação destes dois domínios espectrais permite diferenciar a vegetação dos solos e determinar a biomassa fotossinteticamente ativa através da densidade de cobertura vegetativa (VIÑA et al., 2011).

Um índice de vegetação é o resultado de transformações lineares do fator de refletância, obtido em duas ou mais bandas espectrais, resultado de soma, subtração, razão ou qualquer outra combinação. Os índices de vegetação auxiliam a interpretação e utilização dos fatores de refletância obtidos pelos sensores (WIEGAND et al., 1991).

Por serem obtidos a partir da refletância do dossel, os índices de vegetação estão sujeitos à influências dos fatores que afetam as propriedades ópticas do dossel, porém alguns índices são desenvolvidos para reduzir essas influências, como a influência do solo e da iluminação, até certo ponto, de forma a expressar melhor os parâmetros de crescimento da lavoura (MOREIRA, 1997; ZHENG et al., 2015).

Qualquer fator interno ou externo que afeta o teor de pigmento e água, assim como a estrutura interna da folha, afeta sua refletância. Os principais fatores incluem: idade, devido às mudanças na concentração de clorofila com estágio fenológico, estresses ambientais que resultam em perda de clorofila ou água, estresse mineral e sanidade. Desta forma, a refletância pode ser usada eficazmente como um índice de avaliação do estado de sanidade de culturas como a soja (CRUSIOL et al., 2018).

Quando a planta é submetida a algum tipo de estresse ela tem valores diminuídos de refletância no espectro infravermelho próximo e valores

incrementados nas faixas do vermelho, azul e amarelo do espectro visível, ou seja, uma planta sadia tem maiores valores de refletância na faixa do verde do espectro visível e na região do infravermelho próximo (NILSSON, 1995).

Como os primeiros efeitos das doenças no hospedeiro variam, determinados comprimentos de onda podem ser adequados para a diagnose de diferentes doenças. A espectroscopia, técnica que faz as leituras de refletância, tem como característica a acurácia, que permite especificar plantas e doenças, sendo que esta aumenta conforme os sintomas aumentam e pode ser aumentada utilizando-se faixas não visíveis do espectro eletromagnético (NUTTER; LITTRELL, 1996)

Resultados demonstram o potencial de utilização de medidas de refletância na quantificação de doenças nas culturas do feijoeiro, amendoim, soja, batata inglesa, trigo e gramados (CANTERI et al., 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; NUTTER; LITTRELL, 1996). Tal observação foi possível, pois existem diferenças nas respostas espectrais de uma folha sadia e uma folha doente (SILVA et al., 2000).

Como normalmente as áreas de plantio de soja são extensas, nem sempre o produtor consegue observar de forma concisa o aparecimento de patologias, porém, pode-se aderir à tecnologia de sensoriamento remoto para detectar possíveis pragas. O mapeamento pode ser realizado em uma superfície com a utilização dos componentes de refletância, absorbância e transparência, sendo que a refletância é o resultado de um fluxo refletido quando há a radiação eletromagnética incidida em uma superfície (REIS et al., 2010; JOHANN et al., 2016). No entanto, no caso do manejo de doenças, é imprescindível a realização de um procedimento laboratorial, para inferir corretamente qual o agente etiológico responsável pela infecção (REIS et al., 2010).

Caso durante o sensoriamento observe-se que há um local em que as plantas estão sendo infectadas, pode-se optar por um controle químico eficiente, que necessita de uma seleção precisa de ponta de pulverização, em que há a aplicação adequada do químico evitando a dispersão de inóculo. As pontas de pulverização mais populares em plantios de soja são as que

produzem gotas finas, que não comprometem a cobertura das plantas, porém apresentam maior potencial de deriva (CUNHA et al., 2008; REIS et al., 2010; JOHANN et al., 2016).

## ARTIGO A: ÉPOCAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS EM SOJA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE FINAL DE CICLO

### 3.1 RESUMO

A decisão para o início do controle químico de doenças de final de ciclo (DFCs) na cultura da soja deve envolver fatores relacionados ao clima, inóculo e histórico da área. Entretanto, é comum a calendarização de aplicações com base apenas no estágio fenológico da cultura, principalmente nos estádios reprodutivos. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade e técnica da aplicação de fungicidas em diferentes estádios fenológicos da cultura no controle de DFCs, além da possibilidade da utilização do sensoriamento remoto para quantificação destas doenças. O estudo foi realizado em duas épocas de plantio nas duas primeiras safras e uma única época durante a última safra. O experimento foi conduzido no município de Bandeirantes, PR, durante as safras 2019/2020; 2020/2021 e 2021/2022. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre estádios de aplicação (V8, R3 e R5.1) dos fungicidas picoxistrobina + tebuconazol + mancozebe e pontas de pulverização XR 11002 e TJ60-8002. Foram avaliadas a cobertura e a deposição da pulverização, Índice de Área Foliar (IAF), severidade, refletância, desfolha e produtividade da cultura. Não houve interação significativa entre as pontas de pulverização para quaisquer variáveis. A cobertura e deposição foram maiores no estrato inferior das plantas de soja quando a aplicação ocorreu no estágio vegetativo devido a menor IAF, estrato onde foram observados os maiores índices de severidade de doença. Aplicações iniciadas em V8 estão relacionadas com maiores ganhos em produtividade, em contrapartida, aplicações em R5.1 não possibilitaram incremento nesta variável em duas das três safras. O estágio fenológico V8 demonstrou ser adequado para o início de aplicações de fungicidas.

**Palavras-chave:** *Cercospora kikuchii*. NDVI. Sensoriamento remoto. *Septoria glycines*.

### 3.2 ABSTRACT

The decision to start the chemical control of late season leaf diseases (LSDs) must involve factors related to climate, inoculum and history of the area. However, it is common to schedule applications based only on the phenological stage of the crop, mainly in the reproductive stages. The objective of this study was to evaluate the quality of fungicide application at different phenological stages of the soybean crop in the control of LSDs, in addition to the possibility of using remote sensing to quantify these diseases. The experiment considered two planting times in two seasons, in addition to a single time during the last season. The experiment was carried out in the municipality of Bandeirantes, PR, during the 2019/2020, 2020/2021 and 2021/2022 seasons. Treatments consisted of a combination of application on different plant stages (V8, R3 and R5.1) of the fungicides picoxystrobin + tebuconazole + mancozeb and using XR

11002 and TJ60-8002 spray nozzles. Coverage, deposition, Leaf Area Index (LAI), severity, reflectance and crop productivity were evaluated. There was no significant interaction between spray tips for any variables. Coverage and deposition were higher in the lower third parts of soybean plants when the application occurred in the vegetative stage due to the lower LAI, the stratum where the highest rates of severity were observed in the plant. Applications started at V8 were related to greater gains in productivity, on the other hand, applications at R5.1 did not increase this variable in two of the three harvests. The phenological stage V8 proved to be suitable for the start of fungicide applications.

**Key-words:** *Cercospora kikuchii*. NDVI. Remote sensing. *Septoria glycines*

### 3.3 INTRODUÇÃO

Doenças que ocorrem no final do ciclo da cultura da soja podem reduzir a produtividade da cultura. O complexo de doenças de final de ciclo pode reduzir de 15 a 30% a produtividade (EMBRAPA, 2000). O crestamento foliar de *Cercospora* (*Cercospora kikuchii* (Matsumoto e Tomoyasu) M.W. Garner) e mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi), ocorrem em estádios mais avançados na cultura e são pertencentes a este complexo de doenças.

O uso de sementes de boa qualidade sanitária e tratamentos com fungicida triazóis e estrobilurinas são as principais medidas indicadas para o controle das DFCs (EMBRAPA, 2014), tendo em vista a ausência de cultivares com resistência ao crestamento foliar de cercospora e mancha parda (ALLOATTI et al., 2015; LIN; MIDEROS, 2021; KASHIWA et al., 2021).

Aplicações de fungicidas para o controle de doenças de final de ciclo frequentemente são recomendadas no estágio reprodutivo da cultura, entre R4 e R5 (MARTINS, 2003). Entretanto, a doença pode estar presente mesmo em estádios anteriores (KLINGELFUSS; YORINORI, 2001), levantando o questionamento sobre a eficiência de aplicações nos estádios vegetativos, a fim de reduzir o progresso da doença ou a redução de inóculo.

Outro fator relacionado ao sucesso do controle químico é a qualidade da aplicação de fungicidas. A cobertura da aplicação de fungicida sobre as plantas de soja em geral é pouco uniforme, principalmente na parte inferior (CUNHA, JULIATTI, REIS, 2014). Uma característica importante sobre DFCs é sua maior severidade no estrato inferior de plantas de soja, o que torna a qualidade da

aplicação ainda mais relevante (FERNANDES et al., 2007). As pontas que produzem jato plano simples promoveram maior deposição da calda de pulverização no estrato superior de plantas de soja, enquanto que a ponta de jato plano duplo permitiu maior diâmetro da mediana volumétrica de gotas nos estratos superior e mediano (SILVA, 2021).

A quantificação de doenças de final de ciclo pode ser dificultada devido à ocorrência concomitante do crestamento foliar de *Cercospora* e septoriose, inviabilizando a avaliação individual. Diante disso, a utilização do sensoriamento remoto por meio de sensores multiespectrais é vista como técnica promissora no monitoramento sanitário. A utilização de medidas de refletância em soja for destacada como uma potencial estratégia na detecção de variações espectrais de parcelas com níveis de ferrugem asiática (KOGA, CANTERI, GODOY, 2007; HIKISHIMA et al., 2010)

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade e técnica da aplicação de fungicidas em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja no controle de doenças de final de ciclo, além da possibilidade da utilização do sensoriamento remoto para quantificação destas doenças.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Estação Dashen de Pesquisa, localizada em Bandeirantes – PR, em área experimental com solo de textura argilosa (argila 69%; silte 26%; areia 5%; M.O 1,1%; pH 5,4).

O experimento foi repetido por três safras, 19/20, 20/21 e 21/22. Nas safras de 19/20 e 20/21 foi implantado em três épocas de semeadura, com intervalo de 30 dias, e na safra 21/22 foi realizado apenas na época 2, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Datas de implantação dos experimentos e épocas de plantio nas três safras de soja.

Safra	Ano	Época 1	Época 2	Época 3
-------	-----	---------	---------	---------

Safra 1	2019/2020	27/out	25/nov	28/dez
Safra 2	2020/2021	27/out	25/nov	28/dez
Safra 3	2021/2022	-	30/nov	-

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com 15 tratamentos e 4 repetições. As parcelas tinham dimensões de 3 m de largura por 7 m de comprimento. A cultivar utilizada foi BMX Potência, com alto potencial produtivo e características de resistência à podridão radicular de *Phytophthora* (raças 1, 3 e 4), medianamente resistente à mancha olho de rã (*Cercospora sojina*) e suscetível à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*). Foi adotado espaçamento de 0,45 m entre linhas e 13 plantas m<sup>-1</sup>, com população final de 289 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Como área útil, foram consideradas as 5 linhas centrais com 6 m de comprimento (13,5 m<sup>2</sup>).

Os tratamentos consistiram na aplicação de fungicida em três estádios fenológicos da cultura da soja com pontas com jato plano e jato plano duplo, conforme Tabela 2. O manejo químico foi realizado com aplicações de picoxistrobina (26,66 g.L<sup>-1</sup>) + tebuconazole (33,33 g.L<sup>-1</sup>) + mancozeb (400 g.L<sup>-1</sup>) acrescido de óleo vegetal (0,5%v/v) como padrão para as aplicações.

**Tabela 2.** Tratamentos com pontas de pulverização em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja, visando o controle de crestamento foliar e mancha parda nas safras de 2019/20, 20/21 e 21/22.

Tipos de pontas	Estádios fenológicos		
T1 - Testemunha	-	-	-
T2 – XR 11002	V8*	R3*	R5*
T3 – XR 11002	V8	-	-
T4 – XR 11002	-	R3	-
T5 – XR 11002	-	-	R5
T6 – XR 11002	-	R3	R5
T7 – XR 11002	V8	R3	-
T8 – XR 11002	V8	-	R5
T9 – TJ60-8002	V8	R3	R5
T10 – TJ60-8002	V8	-	-
T11 – TJ60-8002	-	R3	-
T12 – TJ60-8002	-	-	R5
T13 – TJ60-8002	-	R3	R5
T14 – TJ60-8002	V8	R3	-
T15 – TJ60-8002	V8	-	R5

\* - Estádio fenológico da cultura

Foram utilizadas pontas de pulverização em jato plano, XR 11002, com pressão de 310 kPa e pontas em jato plano duplo, TJ60-8002, com pressão de 310 kPa (Tabela 3). As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado (CO<sub>2</sub>), equipado com barra de 06 bicos, sendo a faixa aplicada de 3,0 m.

**Tabela 3.** Características das pontas de pulverização utilizadas no experimento.

Ponta	Tipo da gota	Jato
XR 11002	Fina	Plano
TJ60-8002	Fina	Plano duplo

Catálogo 51A-PT - Produtos de pulverização para agricultura. SPRAYING SYSTEMS CO (2014)

As avaliações foram realizadas em duas etapas: qualidade de aplicação e a quantificação da doença.

### 3.4.1 Tecnologia de aplicação: cobertura, deposição da pulverização e Índice de Área Foliar (IAF)

Para análises de cobertura, depósito e Índice de Área Foliar (IAF) foram conduzidas em paralelo ao experimento parcelas semelhantes aos tratamentos, de modo que as análises destrutivas não comprometessem as demais avaliações a serem realizadas.

A calda a ser aplicada nas parcelas foi preparada imediatamente antes da aplicação, constituída do marcador corante Azul Brilhante FD&C (0,9 %, v v<sup>-1</sup>) para análises de depósito e do Amarelo Fluorescente LRM 100 (0,6 %, v.v<sup>-1</sup>) para análise de cobertura. A calda foi aplicada utilizando os mesmos parâmetros da aplicação do tratamento químico com fungicida. Após a aplicação, para cada um dos três estratos da planta (superior, médio e inferior), foram coletadas vinte e quatro folhas para análise de depósito e vinte e quatro folhas para análise de cobertura, obtidas aleatoriamente em cada parcela, preservadas em oito sacos com três folhas cada.

As folhas coletadas para análise de depósito foram acondicionadas em saco plástico de dimensão de 25 x 15 cm, contendo 50 mL de água destilada, onde foram lavadas por agitação manual durante 30 segundos. O líquido resultante da lavagem das folhas foi vertido em recipientes com capacidade para 100 mL e feita a leitura da absorbância utilizando o espectrofotômetro (630nm).

Para a obtenção da concentração do corante proveniente da folha após a pulverização, foi construída uma curva de calibração efetuando-se a leitura no espectrofotômetro de concentrações conhecidas do corante. A partir da reta

obtida, determinou-se a equação de regressão  $Y = 0,1006 x - 0,005$  ( $R^2 = 0,999$ ), que permitiu transformar os valores de absorvância dos tratamentos obtidos no espectrofotômetro (x) em valores de  $\text{mg L}^{-1}$ .

Ao correlacionar a concentração do corante na solução de lavagem das amostras com a obtida na calda de pulverização, foi possível estabelecer o volume capturado pelo alvo por meio da seguinte equação:

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

Onde  $C_i$  = Concentração inicial da calda de aplicação ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $V_i$  = Volume inicial em ml que depositou nos diferentes alvos (mL),  $C_f$  = Leitura da concentração final da amostra ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e  $V_f$  = Volume final de água em ml utilizado na lavagem de cada alvo (mL).

O produto desta expressão matemática foi dividido por 1000, para obter o volume em  $\mu\text{L}$  por planta, e dividido pela área foliar para obter os resultados em  $\mu\text{L cm}^2$ .

Para estimar o Índice de Área Foliar (IAF), foram efetuadas medidas de largura e comprimento do folíolo central em folhas de 6 plantas em cada parcela em cada época de aplicação, ou seja, V8, R3 e R5.1. Os dados obtidos foram utilizados para estimar o índice de área foliar através da fórmula:

$$IAF = L * C * 2,0185 * D$$

Onde L é a largura máxima do folíolo, C é o comprimento máximo, a constante 2,0185 refere-se ao formato lanceolado da folha e D é a densidade de plantas. $\text{m}^{-2}$ , obtida pela contagem de plantas em 1 metro e dividindo-se o espaçamento entre linhas de 0,45 metro (RICHTER et al., 2014).

Foi determinada a porcentagem de cobertura das gotas sobre as folhas, em análise visual, pela identificação do marcador fluorescente Amarelo. As folhas coletadas foram acondicionadas em ambiente escuro com projeção de luz ultravioleta (BL 15 BLB), procedendo a análise da porcentagem

da área foliar que apresentou coloração fluorescente, significando a área coberta pela pulverização da calda. Os níveis de cobertura foram obtidos com auxílio de uma escala diagramática pré-estabelecida. Para determinação da escala de cobertura usada na avaliação, foram coletadas 50 folhas pulverizadas separadamente, nas mesmas condições usadas no ensaio, das quais foram selecionadas 11 folhas com níveis de cobertura ascendentes entre a mínima e a máxima cobertura obtida com a tecnologia de pulverização adotada. A escala final apresentou notas entre 0 e 100% com intervalos de 10% (Figura 13, Anexo I).

### 3.4.2 Quantificação de doenças de final de ciclo: Severidade e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

A severidade de crestamento foliar de cercospora e mancha parda foi estimada a cada 10 dias, a partir do início dos sintomas, com auxílio de escala diagramática proposta por Martins et al. (2004). Foram coletadas cinco folhas do estrato inferior, médio e superior aleatoriamente, totalizando quinze folhas por parcela e sessenta por tratamento.

Os dados de severidade foram utilizados para o cálculo da Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD), por meio de integração trapezoidal através de fórmula proposta por Shaner & Finney (1977):

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right] (t_{i+1} - t_i)$$

Onde  $X$  é a severidade média da doença por parcela (porcentagem),  $X_i = X(t_i)$ ,  $n$  é o número de avaliações e  $(t_{i+1} - t_i)$  é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

A quantificação de porcentagem de desfolha ocorreu junto com a última avaliação de severidade, com auxílio de escala diagramática proposta por Hirano et al. (2010).

### 3.4.2 Quantificação de doenças de final de ciclo: Refletância e Área Abaixo da Curva de Refletância (AAR)

Os dados de refletância foram coletados semanalmente, um dia após as avaliações de severidade. Para as leituras, o espectro-radiômetro GreenSeeker Hand Held Model® 505 foi posicionado a aproximadamente um metro sobre o dossel (recomendação do fabricante), com calibração de comprimentos de onda de 660nm e 770nm, e os resultados obtidos usados para o cálculo do NDVI (Normalized Difference Vegetations Index) com a seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{VIS}}{\rho_{NIR} + \rho_{VIS}}$$

Onde  $\rho_{NIR}$ = valor de refletância no comprimento de onda de 770nm e  $\rho_{VIS}$ = valor de refletância no comprimento de onda de 660nm.

Para o cálculo da AAR, área abaixo da curva das medidas de refletância, a integração trapezoidal foi utilizada:

$$AAR = \sum_{i=1}^{n-1} [(R_{i+1} + R_i)/2](t_{i+1} - t_i)$$

Sendo R as leituras de NDVI em cada avaliação (i), e t o intervalo entre as avaliações; o número de avaliações, frequência e as datas de início e encerramento das leituras se deu como descrito no detalhamento da utilização do espectro-radiômetro.

### 3.4.4 Produtividade da cultura

A colheita foi realizada quando a cultura da soja apresentou 95% de maturação, aproximadamente em estágio fenológico R8. Com auxílio de cortador mecânico de poda, uma área de 5,4 m<sup>2</sup> (4 linhas centrais x 3 m de comprimento) foi coletada para posterior trilha mecânica e estimativa de

produtividade. Também foi avaliado a massa de 1000 grãos/parcela, coletados aleatoriamente da amostra de produtividade.

#### 3.4.5 Análise estatística

Ressalta-se que os dados da terceira época de plantio das safras 1 e 2 não foram utilizados na análise estatística devido ao baixo índice de DFCs observado durante a condução do experimento. Dessa forma, a última safra, realizada no ano de 2021/2022, contou apenas com a segunda época de plantio, que se mostrou ser a mais favorável para a ocorrência das doenças avaliadas.

Todas as variáveis analisadas (cobertura, deposição, severidade, refletância, desfolha e produtividade) foram testadas para os pressupostos da Análise Conjunta de Experimentos. As três safras e suas duas épocas de plantio foram comparadas por análise de variância, e, quando a interação se demonstrou não significativa, foi analisada a média dos três experimentos. Oposto a isso, a interação significativa entre safras e épocas de plantio implicou na análise individual das variáveis dentro de cada experimento (BANZATTO; KRONKA, 2013).

Os dados de cobertura foram semelhantes nas duas épocas de plantio e nas três safras, portanto, analisados de forma conjunta. Para os dados de deposição, foi realizada a análise conjunta das três safras, dentro de cada época de plantio. Os dados de cobertura e depósito foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, em esquema fatorial duplo, composto pelos fatores ponta de pulverização e estrato da planta (superior, médio e inferior).

Os níveis de severidade de DFCs observados nas duas épocas de plantio foram distintos entre as três safras, portanto, analisados de forma individual. Dados de severidade e AACPD foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, para cada uma das safras e épocas de plantio.

As medidas de refletância da safra 1 e 2 foram semelhantes entre si e diferiram da safra 3. A análise estatística foi realizada de forma

conjunta para as duas primeiras safras, enquanto a última safra foi analisada individualmente. Dados da safra 3 foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Dados das safras 1 e 2 foram submetidos à análise de variância pelo teste F e correlacionados por meio de regressão linear com a variável desfolha.

A produtividade foi semelhante para as duas épocas de plantio nas duas primeiras safras, submetidos à análise conjunta dos dados e posteriormente à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Dados da terceira safra foram analisados isoladamente.

Foi realizada análise multivariada pela Análise de Componentes Principais (PCA) com auxílio do software R, de acordo com metodologia descrita por Podani et al. (2021).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Cobertura e Deposição da pulverização

De acordo com Farooq et al. (2001), uma aplicação eficiente requer cobertura adequada da superfície-alvo, com gotas de tamanho apropriado, pois o tamanho destas afeta o movimento do jato em direção ao alvo e a deposição da calda. As gotas finas são mais eficazes em propiciar melhores coberturas e deposições e pode estar relacionada com melhor controle de doenças, uma vez que gotas finas teriam maior probabilidade de penetração em plantas de elevado dossel e maior capacidade de contato com esporos de patógenos, porém estão propensas à deriva (BARBER et al., 2003; CUNHA, 2003).

Mesmo com a utilização de pontas que geram gotas finas, o estrato inferior apresentou a menor cobertura foliar pela pulverização, nos estádios V8, R3 ou R5.1 (Tabela 4). A ponta de pulverização TJ60-8002 apresentou maior cobertura do estrato superior, médio e inferior em aplicações realizadas no estágio fenológico R3, quando comparada à ponta XR 11002. A cobertura de folhas localizadas no estrato inferior de plantas de soja no estágio R3 foi, em média, 40% maior com a ponta de jato duplo, TJ60-8002. De acordo

com Tormen et al. (2012), quando a aplicação de fungicidas ocorreu no estádio R1 da soja, as pontas TJ60-8002 e XR 11002 proporcionaram igual número de gotas nos três estratos do dossel na cultivar Agiara RRe Asgrow 8000 RG, com 168,33 gotas cm<sup>-2</sup>.

**Tabela 4.** Cobertura (%) de folhas de soja no estrato superior, médio e inferior em aplicações nos estádios V8, R3 e R5.1 da soja com pontas de pulverização de jato plano simples (XR 11002) e jato plano duplo (TJ60-8002). Dados das duas épocas de plantio das safras 1, 2 e 3.

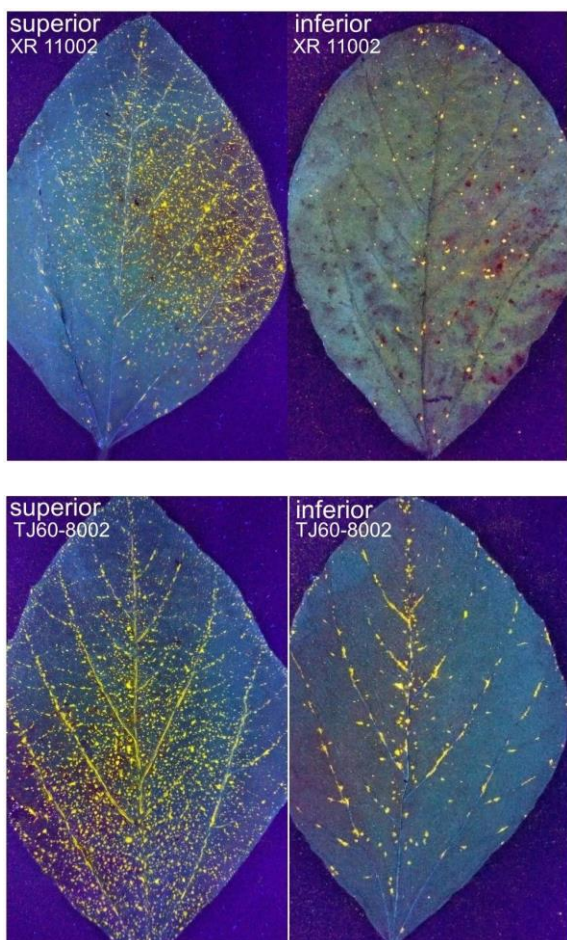
Pontas	V8		R3			R5.1		
	superior	inferior	superior	médio	inferior	superior	médio	inferior
XR 11002	72 Aa	29 Ba	70 Aa	42 Ba	19 Ca	72 Ab	47 Ba	28 Ca
TJ60-8002	69 Aa	31 Ba	79 Ab	54 Bb	32 Cb	81 Aa	50 Ba	29 Ca
CV (%)	72,29		18,24			23,86		

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste t de Tukey a 5% de significância.

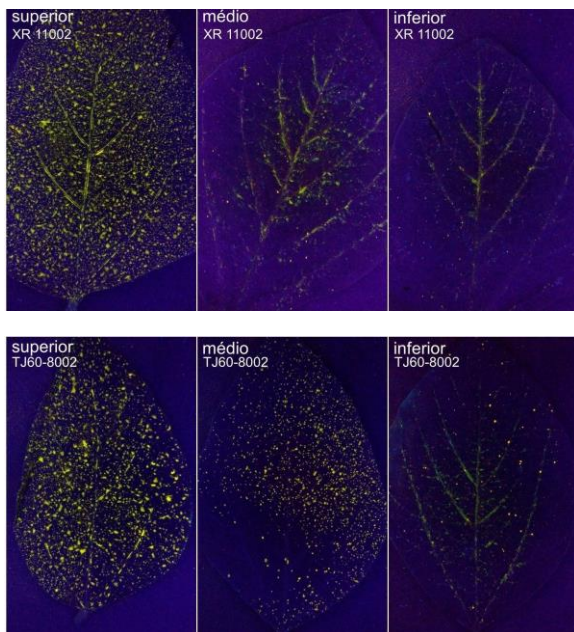
A importância do momento de aplicação visando a cobertura foliar está relacionada com a sanidade da planta, uma vez que com o desenvolvimento de novas folhas e a própria arquitetura da planta, a chegada de fungicidas no baixeiro é cada vez menor. Heiffig et al. (2006) ressaltaram que o fechamento nas entrelinhas proporciona menor circulação de ar e maior umidade, o que pode favorecer a incidência e severidade de doenças, bem como prejudica a penetração e a cobertura das gotas.

A menor cobertura de folhas com a utilização da ponta de jato plano simples (XR 11002) concorda com resultados de Limbeger (2006), que justifica este fato devido ao menor número de gotas por área e menor turbulência, onde o rompimento da barreira de folhas é dificultado, refletindo na menor cobertura.

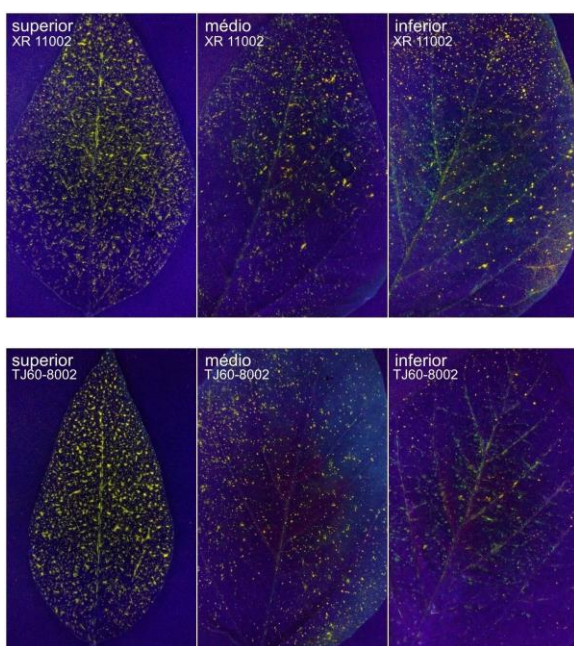
O fato de a parte inferior das plantas receber menor quantidade de produto aplicado é conhecido como efeito “guarda-chuva”, proporcionado pelas partes mais altas de algumas espécies de plantas (SILVA et al., 2014). As Figuras 1, 2 e 3 ilustram como as folhas inferiores foram prejudicadas no quesito cobertura.



**Figura 1.** Folhas de soja no estágio fenológico V8 após aplicação de calda com corante Amarelo Tartrasina Fluorescente para análise de cobertura de pontas de pulverização nos diferentes estratos da planta.



**Figura 2.** Folhas de soja no estágio fenológico R3 após aplicação de calda com corante Amarelo Tartrasina Fluorescente para análise de cobertura de pontas de pulverização nos diferentes estratos da planta.



**Figura 3.** Folhas de soja no estágio fenológico R5.1 após aplicação de calda com corante Amarelo Tartrasina Fluorescente para análise de cobertura de pontas de pulverização nos diferentes estratos da planta.

Assim como a cobertura foliar, o estrato inferior, de maneira geral, apresentou menor deposição de calda, independente do estágio fenológico que a cultura se encontrava (Tabela 5).

**Tabela 5.** Deposição ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) em folhas de soja no estrato superior, médio e inferior em pontas de pulverização de jato simples (XR 11002) e jato duplo (TJ60-8002). Dados das safras 1, 2 e 3.

Época 1								
Pontas	V8		R3*			R5.1*		
	Superior	inferior	superior	médio	inferior	superior	médio	inferior
XR 11002	0,28 Ab	0,12 Ba	0,28 Aa	0,14 Ba	0,05 Ca	0,16 Aa	0,10 Ba	0,02 Ca
TJ60-8002	0,40 Aa	0,14 Ba	0,31 Aa	0,13 Ba	0,09 Ba	0,16 Aa	0,06 Ba	0,02 Ca
CV (%)	20,65		37,75			36,86		
Época 2								
Pontas	V8		R3*			R5.1*		
	Superior	inferior	superior	médio	inferior	superior	médio	inferior
XR 11002	0,27 Ba	0,12 Aa	0,20 Ab	0,09 Ba	0,05 Ca	0,21 Aa	0,09 Ba	0,06 Ba
TJ60-8002	0,29 Ba	0,10 Aa	0,24 Aa	0,08 Ba	0,04 Ca	0,17 Ab	0,10 Ba	0,06 Ca
CV (%)	16,12		16,74			20,11		

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Aplicação no estágio V8 permitiu maior cobertura e deposição de fungicidas em folhas do estrato inferior. Tormen et al. (2012) citam que o transporte do ingrediente ativo para o interior do dossel é condição básica para o controle eficaz de pragas e doenças e atingir as camadas inferiores do dossel se torna um desafio com o desenvolvimento das plantas.

**Tabela 6.** Deposição ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) em folhas de soja no estrato inferior em diferentes estágios fenológicos com pontas de pulverização de jato simples (XR 11002) e jato duplo (TJ60-8002). Dados das safras 1, 2 e 3.

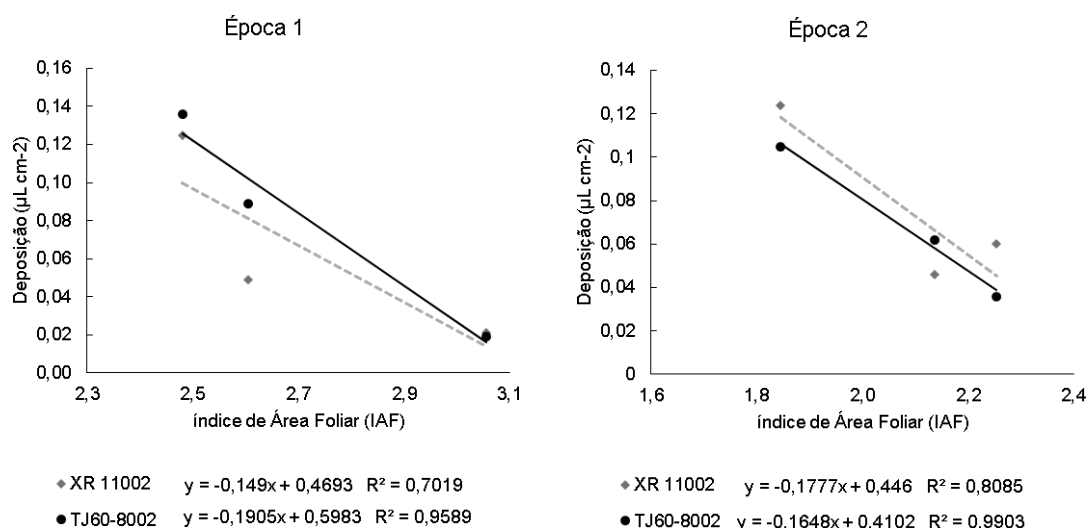
Estádio fenológico	Época 1		Época 2	
	XR 11002	TJ60-8002	XR 11002	TJ60-8002

V8	0,125 a	0,136 a	0,124 a	0,105 a
R3	0,049 b	0,088 b	0,046 b	0,062 b
R5.1	0,020 c	0,018 c	0,060 b	0,060 b
CV (%)	21,90	31,82	20,08	23,07

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Além da maior sanidade de folhas do baixeiro, aplicações de fungicidas direcionadas a este estrato da planta também podem interferir na senescência foliar. Martins (2011) cita que a utilização de fungicidas de efeito fisiológico poderia apresentar um efeito potencializador da atividade metabólica dessas folhas. Tal experimento demonstrou que a aplicação de estrobilurina piraclostrobina associada ao trizol epoxiconazol direcionada em folha do estrato inferior apresenta incrementos na fotossíntese líquida e decréscimos na atividade respiratória. Além disso, plantas com 100% de desfolha no estrato inferior demonstraram decréscimos na formação e enchimento de vagens e, conseqüentemente, diminuição da produtividade estimada em até 1740 kg ha<sup>-1</sup>.

Um dos fatores que pode estar correlacionado com a menor deposição de fungicidas no estrato inferior de plantas de soja é o Índice de Área Foliar (IAF). Houve fortes correlações entre o aumento do IAF e menor deposição do fungicida, conforme ilustra a Figura 4. O número médio de folhas em plantas no estágio V8 é menor quando comparado aos demais estádios avaliados, o que permitiu a maior deposição do fungicida.



**Figura 4.** Correlações entre Índice de Área Foliar (IAF) e deposição da calda no inferior de plantas de soja. Dados referentes às safras 1, 2 e 3.

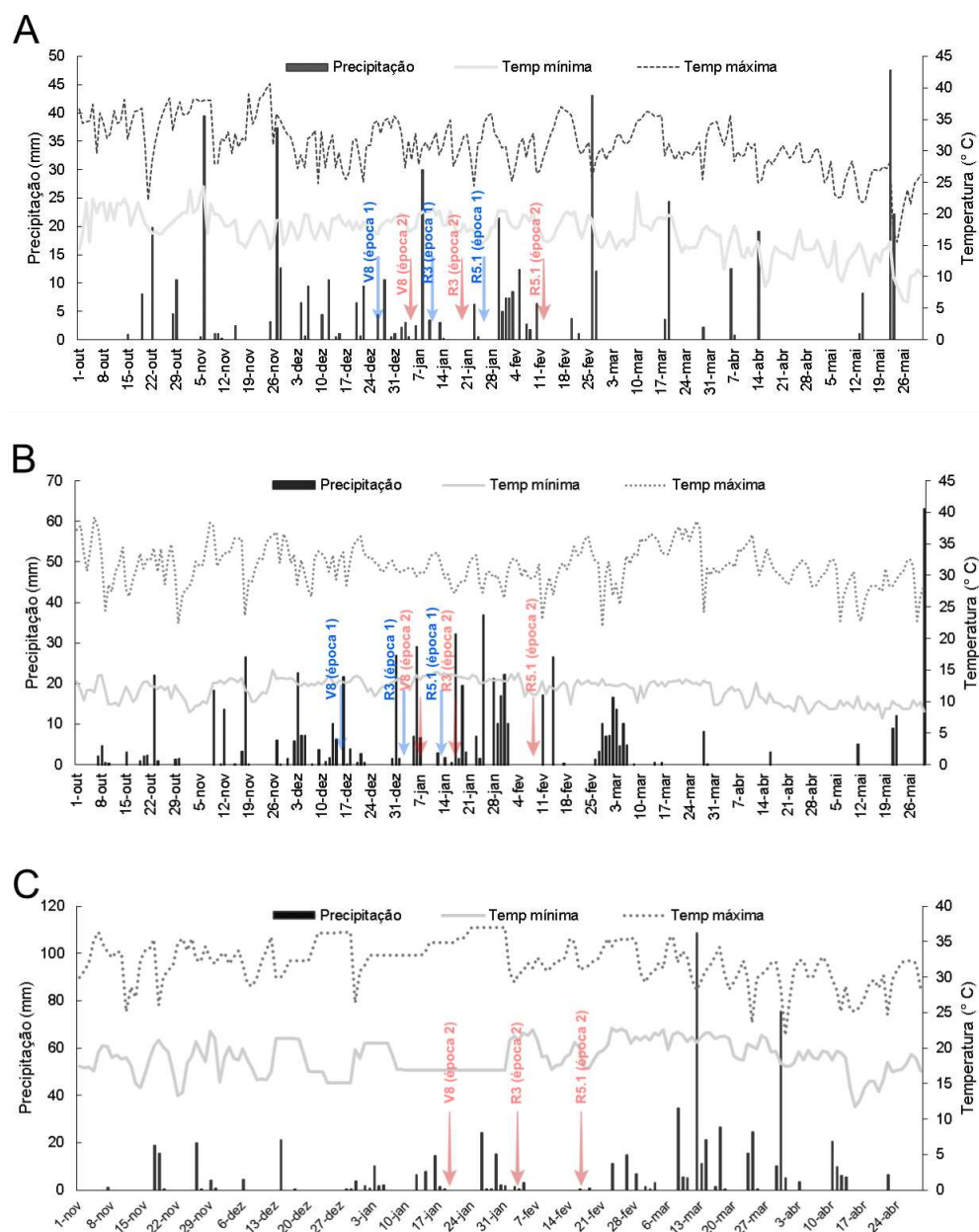
Estes resultados concordam com os de Cunha et al. (2014), que consideram que as aplicações precisam iniciar quando o IAF ainda não é muito elevado. Os autores citam que a pulverização, independente da ponta, não é capaz de promover uma elevada cobertura na região inferior de plantas quando esta encontra-se com muitas folhas. Da mesma forma, Tormen et al. (2012) citam que o IAF afeta a deposição de gotas no dossel e deve ser considerado na escolha da ponta de pulverização adequada. Hanna et al. (2009) citam que a cobertura foliar, em aplicações ocorridas em estádios reprodutivos, aumentou com a utilização de pontas com a assistência de ar.

### 3.5.2 Severidade e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

A safra 1 apresentou o menor valor de severidade na testemunha, o que pode ser explicado pela precipitação acumulada durante os meses de condução do experimento, de 532,9 mm (Figura 5), menor entre as três safras. Os níveis de doenças mais baixos resultantes podem explicar em parte a falta de uma resposta consistente às aplicações de fungicidas.

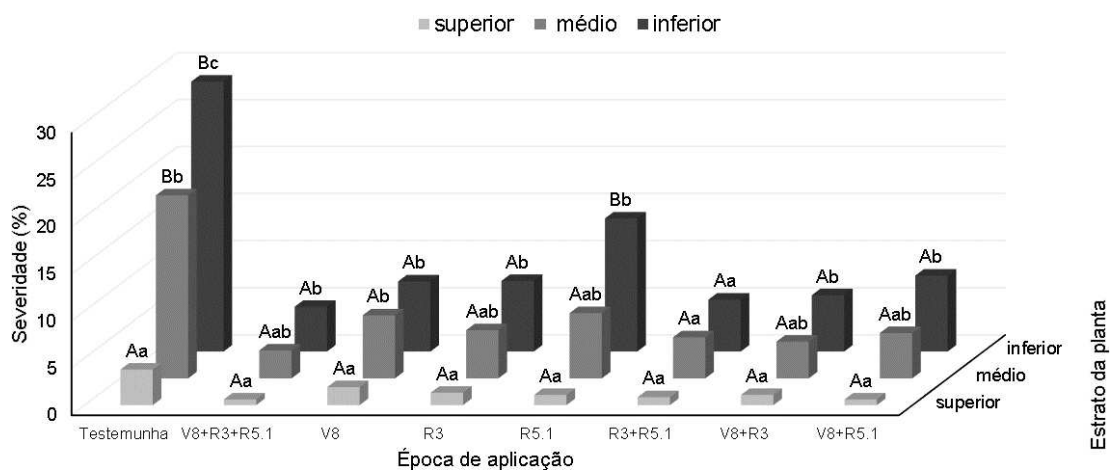
A safra seguinte (2020/2021) foi caracterizada pela precipitação de 688,4 mm e a safra 3 com 617,4 mm acumulados. A safra 3, favorecida

pelas condições ambientais ocorridas, principalmente nos meses de março e abril, proporcionou maior severidade de DFCs, portanto, o destaque foi destinado para estes dados, a fim de permitir o maior entendimento sobre a influência dos tratamentos avaliados na incidência e severidade das doenças.

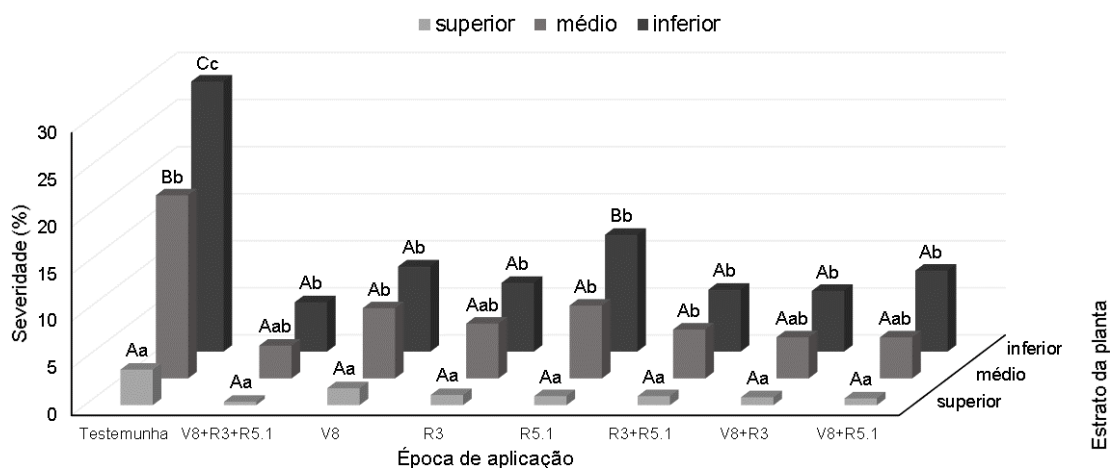


**Figura 5.** Dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (° C) de 1 de outubro a 30 de maio de 2019/2020 (A), 2020/2021 (B) e 2021/2022 (C) em Bandeirantes, PR. Em azul, 1ª época de semeadura e em vermelho 2ª época de semeadura.

Assim como já constatado por outros autores, as doenças crestamento foliar de cercospora e mancha parda foram mais severas no estrato inferior, com severidade significativamente menor no estrato médio e superior, como observadas no tratamento testemunha, sem aplicação de fungicida (Figura 6 e 7), independente da ponta de pulverização.



**Figura 6.** Severidade (%) de DFCs no estrato superior, médio e inferior de plantas de soja tratadas com fungicida aplicado em diferentes estádios fenológicos com ponta de pulverização XR 11002. Dados da safra 3. Letras minúsculas comparam estratos das plantas e letras maiúsculas comparam épocas de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de significância.



**Figura 7.** Severidade (%) de DFCs no estrato superior, médio e inferior de plantas de soja tratadas com fungicida aplicado em diferentes estádios fenológicos com ponta de pulverização TJ60-8002. Letras minúsculas comparam estratos das plantas e letras maiúsculas comparam épocas de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A interação entre pontas de pulverização não foi significativa. Para ambas as pontas, aplicações em R5.1 resultaram em maior severidade de DFCs no estrato inferior (Figura 6 e 7), quando comparadas aos demais estádios fenológicos para aplicação. Esse fato pode ser explicado pela baixa deposição de fungicida neste estrato da planta quando a pulverização ocorre em estádios avançados.

Ao avaliar apenas uma única aplicação, tanto para a ponta de jato plano simples (XR) quanto para a de jato plano duplo (TJ), aquelas realizadas em V8 demonstraram menor severidade de DFCs quando comparadas aos estádios R5.1, fato observado nas três safras e nas duas épocas de plantio (Tabela 7). Uma única aplicação de picoxistrobina + tebuconazol + mancozebe neste primeiro estágio por vezes também foi superior à aplicação em R3. O controle das doenças com aplicações em V8 foi, em média, 24,35 e 10,43% maior que aquele em R3 e 48,98 e 33,50% maior que em R5.1, para as pontas XR e TJ, respectivamente.

Quando se avaliam as duas aplicações, para ambas as pontas analisadas, o papel da primeira aplicação precoce parece ser primordial na

redução de severidade de DFCs, pois os tratamentos que iniciaram em V8 (V8+R3 e V8+R5.1) foram superiores aos tratamentos iniciados em R3 (R3+R5.1), fato observado nas duas épocas de plantio da safra 1 e na segunda época da safra 2.

O momento para início das aplicações parece também ter influência do fungicida utilizado. De acordo com Cruz et al. (2010), o uso de fungicidas triazóis, aplicados em R3 ou R5, não diminuiram significativamente os níveis de mancha parda, assim como não aumentaram o rendimento da soja. Entretanto, piraclostrobina e azoxistrobina no estágio R3 reduziram significativamente os níveis de mancha parda; no entanto, aumentos significativos no rendimento ocorreram em apenas três dos seis locais. Reznikov et al. (2019) demonstraram que a mistura de estrobilurinas e triazóis, como piraclostrobina + epoxiconazol, apresentou controle do crestamento foliar de cercospora em até 56,7%. A associação de estrobilurinas e triazóis em mistura ainda com multissítio utilizada neste estudo alcançou até 84,0% de controle de DFCs quando aplicadas em V8+R3+R5.1.

Na safra 1 (Tabela 7), época em que a severidade de DFCs não ultrapassou 11,29%, quando já realizada uma aplicação em V8, a aplicação extra nos estádios R3 ou R5.1 não se mostrou viável. Uma única aplicação em V8 não diferiu estatisticamente à duas aplicações, realizadas em V8+R3 ou V8+R5.1 e foi superior às aplicações realizadas em R3+R5.1. Por outro lado, nas safras 2 e 3, com severidade superior, o mesmo não foi observado. Resultado semelhante foi obtido por Reznikov et al. (2019) para a doença crestamento foliar de cercospora, quando em um dos três anos de cultivo a aplicação dupla, realizada em R3 + R5, demonstrou o mesmo nível de controle que aplicações únicas em R3 ou R5.

Embora as aplicações de fungicidas para o controle de DFCs sejam comumente baseadas no estágio fenológico, tipicamente entre R3 e R5, Carmona et al. (2015) destacam que não deve ser a única informação para decidir sobre aplicações de fungicidas. Estes autores desenvolveram um sistema de pontuação para o início do controle químico de DFCs e um dos fatores analisados é a quantidade de chuva prevista para os estádios R3 e R5.

Carmona et al. (2011) sugeriram que um mínimo de 65 a 90 mm de chuva durante R3–R5 é suficiente para justificar a aplicação de fungicida. Neste experimento, a precipitação entre os estádios V8-R3 e R3-R5 na segunda época de plantio foi de 39,4 e 79,5 mm para a safra 1; 103,6 e 146,0 mm para a safra 2; e 47,8 e 3,6 mm para a safra 3, respectivamente.

Os resultados obtidos neste experimento demonstram que aplicações mesmo anteriores aos estádios reprodutivos podem influenciar o controle final de DFCs. Mesmo na primeira época de cultivo nas safras 1 e 2, onde o inóculo presente na área era possivelmente menor, as aplicações em V8 ou iniciadas neste estágio foram eficientes no controle das doenças, superiores ou semelhantes às aplicações em R3 e R5.1. A presença de *Cercospora* foi observado por Zivanovic et al. (2021) em folhas assintomáticas já no estágio de crescimento V3, enquanto os sintomas aparecem em torno de R5.

São várias as dificuldades para a determinação do momento de aplicação para o controle de DFCs. Carmona et al. (2015) citam a necessidade de um sistema eficiente para prever o desenvolvimento de DFCs no campo sem depender apenas de sintomas visuais, o que ficou evidente neste trabalho pelo controle demonstrado por aplicações iniciadas em V8, quando sintomas visuais ainda não eram observados.

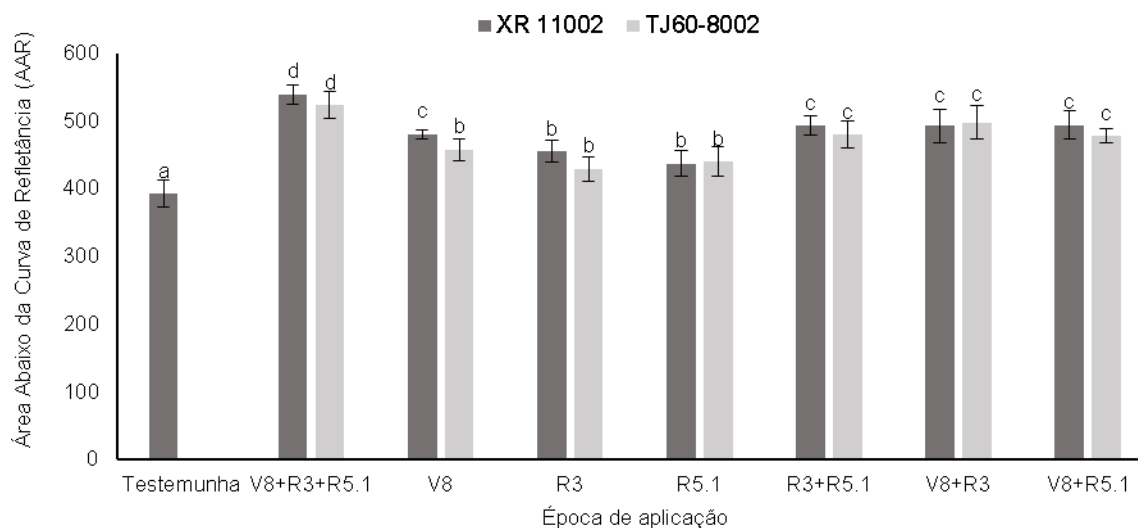
Tratamentos	1ª Safra						2ª Safra						3ª Safra		
	1ª época			2ª época			1ª época			2ª época			2ª época		
	Sev	AACPD	Contr (%)	Sev	AACPD	Contr (%)	Sev	AACPD	Contr (%)	Sev	AACPD	Contr (%)	Sev	AACPD	Contr (%)
1 - Testemunha	3,48 d	47,4 c	0	11,29 d	135,03 d	0,0	19,60 c	231,60 d	0,0	22,43 d	273,75 c	0,0	48,40 e	849,87 d	0,0
2 - XR – V8+R3+R5.1	0,72 a	8,4 a	79,3	1,20 a	15,60 a	89,4	3,92 a	37,00 a	79,3	5,92 a	59,60 a	76,8	8,24 a	136,64 a	84,0
3- XR – V8	1,44 b	16,8 a	58,6	3,12 b	43,20 b	72,4	6,64 b	69,60 b	66,8	9,20 b	112,40 a	59,6	16,35 c	271,91 b	69,0
4- XR – R3	2,16 c	27,0 b	37,9	4,16 b	58,00 c	63,1	9,44 b	94,80 b	56,9	16,08 c	166,80 b	34,7	13,87 b	255,35 b	73,1
5- XR – R5.1	2,88 d	40,8 c	14,2	5,00 c	69,40 c	55,7	11,52 c	137,20 c	41,6	16,08 c	198,00 b	30,9	21,88 d	401,52 c	57,3
6- XR – R3+R5.1	2,16 c	26,4 b	37,9	3,52 b	47,60 b	68,8	3,84 a	43,60 a	80,1	8,24 a	103,60 a	64,6	10,48 a	211,05 a	79,3
7 - XR – V8+R3	1,56 b	20,4 b	55,2	2,52 b	39,60 b	77,7	4,64 a	49,60 a	76,3	8,48 a	104,00 a	63,8	10,62 a	194,46 a	78,9
8 - XR – V8 +R5.1	1,80 b	23,4 b	48,3	2,52 b	42,00 b	77,7	6,96 b	60,00 b	66,8	7,36 a	96,40 a	71,3	13,80 b	259,18 b	74,0
9 - TJ – V8+R3+R5.1	1,08 a	15,0 a	69,0	1,56 a	17,40 a	86,2	4,96 a	54,40 a	75,1	6,40 a	96,80 a	72,1	8,96 a	151,06 a	82,5
10 - TJ – V8	1,44 b	22,8 b	58,6	3,40 b	47,00 b	69,9	7,12 b	76,40 b	64,4	10,96 b	133,60 a	54,4	17,52 c	289,59 b	64,7
11- TJ – R3	1,92 b	28,2 b	44,8	4,40 b	61,00 c	61,0	10,16 c	102,00 b	50,7	13,20 b	150,80 a	46,9	14,97 b	269,75 b	72,6
12 - TJ – R5.1	2,88 d	37,8 c	17,2	5,76 c	77,80 c	49,0	10,40 c	108,40 c	48,3	16,56 c	194,40 b	29,4	22,68 d	391,16 c	59,3
13 - TJ – R3+R5.1	1,68 b	22,2 b	51,7	3,12 b	52,20 b	72,4	6,40 b	71,60 b	68,8	9,20 a	112,80 a	63,1	12,30 b	252,35 b	75,5
14 - TJ – V8+R3	1,80 b	25,2 b	48,3	2,16 b	34,8 b	80,9	7,92 b	87,60 b	57,9	6,88 a	96,40 a	67,0	12,72 b	211,40 a	77,5
15 - TJ – V8 +R5.1	2,16 c	30,6 c	37,9	2,64 b	42,00 b	76,6	8,48 b	81,60 b	58,1	11,20 b	104,80 a	54,8	13,28 b	268,52 b	73,6
CV (%)	16,64	19,63	-	15,89	13,40	-	10,75	12,58	-	11,88	11,06	-	9,56	9,58	-

**Tabela 7.** Severidade (Sev) de DFCs em soja aos 28 dias após a terceira aplicação, Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) e controle relativo (%) de tratamentos com aplicação de fungicida em diferentes estádios fenológicos da cultura e pontas de pulverização.

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.5.3 Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) e Área Abaixo da Curva de Refletância (AAR)

A utilização da Área Abaixo da Curva de Medidas de Refletância (AAR) (Figura 8) foi sensível para identificar níveis de severidade entre os tratamentos apenas para a safra 3.



**Figura 8.** Área Abaixo da Curva de Medida de Refletância (AAR) em parcelas com aplicação de fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos. Dados referentes à safra 3.

Todos os tratamentos demonstraram maior AAR quando comparados ao tratamento testemunha, sem aplicação de fungicidas. Concordando com os dados de severidade, aplicações realizadas nos estádios V8+R3+R5.1 proporcionaram altos valores de refletância, podendo estar relacionado com a maior sanidade. A aplicação em V8 com a ponta de jato plano simples foi superior à ponta de jato plano duplo, sendo esta última semelhante às aplicações tardias em R3 ou R5.1. Uma única aplicação em V8 proporcionou resultados semelhantes às aplicações duplas em R3+R5.1, V8+R3 ou V8+R5.1.

A não significância de medidas de NDVI na detecção de mudanças espectrais nas safras 1 e 2 pode estar atribuída à menor severidade observada nestes experimentos em comparação à safra 3. No entanto, uma análise visual dos dados permitiu observar diferenças nítidas entre medidas de NDVI nas

últimas avaliações da primeira e segunda safra. A fim de detalhar as análises sobre o NDVI dos tratamentos com diferentes níveis de severidade, dados de medidas de refletância individuais de cada dia de avaliação foram submetidos à análise de variância, buscando identificar possíveis diferenças, e, caso observadas, a partir de qual momento elas puderam ser detectadas.

As medidas de refletância apenas diferiram entre os tratamentos no último dia da leitura da 2ª época (Tabela 8). No entanto, as doenças já estavam presentes no campo experimental, conforme demonstra os dados de severidade na Tabela 9, em que os tratamentos diferiram com níveis de severidade de DFCs desde o início das avaliações.

**Tabela 8.** P-valor do teste de Tukey a 5% de significância de medidas de refletância em parcelas com diferentes estádios de aplicação de fungicida, realizadas em cada dia de leitura para as épocas 1 e 2.

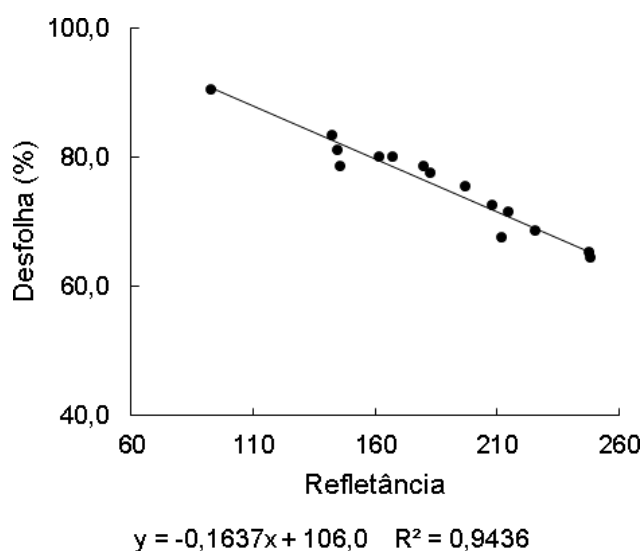
Safra 1			
1ª época		2ª época	
Data de leitura	p valor	Data de leitura	p valor
06/fev	0,4058	28/fev	0,9093
14/fev	0,6199	07/mar	0,1347
21/fev	0,8732	14/mar	0,6321
28/fev	0,0289	28/mar	0,3133
		04/abr	0,3638
Safra 2			
1ª época		2ª época	
Data de leitura	p valor	Data de leitura	p valor
23/jan	0,99999	04/fev	0,99881
04/fev	0,48702	17/fev	0,98752
17/fev	0,52134	24/fev	0,98829
24/fev	0,18508	06/mar	0,90897
06/mar	0,29072	13/mar	4,1807e <sup>-07</sup>

Ressalta-se que, na mesma época em que foram observadas diferenças entre medidas de refletância de cada tratamento na época 2 da segunda safra, não foi possível a realização da avaliação de severidade devido ao alto índice de desfolha.

**Tabela 9.** P-valor do teste de Tukey a 5% de significância de médias de severidade em cada dia de avaliação para a época 2 da segunda safra.

2ª época	
Data de	p valor
<u>avaliação</u>	
04/fev	1,13e <sup>-01</sup>
14/fev	1,66e <sup>-06</sup>
24/fev	1,16e <sup>-06</sup>
06/mar	7,25e <sup>-12</sup>
16/mar	desfolha*

Diante disso, acredita-se que a diferença entre medidas de refletância de cada tratamento observada na última avaliação da 2ª época (Tabela 8) se deve à desfolha e não às modificações ópticas propriamente ditas causadas pelas DFCs. A correlação entre desfolha e medidas de refletância pode embasar tal hipótese, conforme ilustrado na Figura 9.



**Figura 9.** Relação entre nível de desfolha (%) e medidas de refletância em parcelas com níveis de severidade de doenças de final de ciclo na soja. Dados das duas épocas de plantio referentes às safras 1 e 2.

Um estudo realizado por Brodbeck et al. (2017) sobre a utilização do sensoriamento remoto por Sistemas Aéreos Não Tripulados

(UAS), com a utilização de medidas de Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) para a detecção de doenças em soja, obteve resultados semelhantes. No primeiro experimento, os autores relataram que a variabilidade de medidas de NDVI e NDRE não foi significativa mesmo quando a cultura apresentava sintomas visíveis da doença ferrugem asiática. Os autores ainda citam que medidas NDRE foram mais precisas na detecção desta doença.

Assim como ressaltado por Brodbeck et al. (2017), em que relatam a utilização de câmera multiespectral na detecção de doenças na soja com o intuito de complementar o monitoramento de campo, estes resultados sugerem que, embora grande parte da variabilidade detectada se deva a doenças, parte da variabilidade pode ser atribuída a outros fatores, como a desfolha. Portanto, a combinação entre o conhecimento prático do campo, padrões climáticos, fases da cultura e práticas de manejo são fundamentais para entender a variabilidade observada por medidas de refletância.

#### 3.5.4 Produtividade

Um estudo realizado por Bandara et al. (2020), utilizando dados anuais de 28 estados produtores de soja no período de 2005 a 2015 nos Estados Unidos, estabelece uma relação entre as perdas estimadas de produtividade da soja devido a doenças foliares e o uso de fungicidas foliares. A relação entre a produtividade da soja e o uso de fungicidas foi significativa e positiva na maioria dos anos do estudo, sugerindo que os fungicidas foliares conferiram benefícios de rendimento na maioria dos anos.

Ganhos pronunciados em produtividade ocorreram especialmente durante a safra com maiores níveis de severidade, como observado na terceira safra deste estudo. A aplicação de picoxistrobina + tebuconazol + mancozebe em qualquer estágio fenológico, seja ele vegetativo ou reprodutivo, em aplicações únicas ou triplas, proporcionou maiores produtividades quando comparado à testemunha sem fungicida durante a terceira safra.

Para as safras 1 e 2, as aplicações ocorridas no estágio fenológico R5.1 para ambas as pontas não proporcionaram ganho em produtividade,

concordando com resultados obtidos por Cruz et al. (2010) com o uso de fungicidas triazóis aplicados em R3 ou R5. Hanna et al. (2009) também observaram que a produtividade de soja não foi afetada pelos tratamentos aplicados durante os estádios reprodutivos tardios (R3 – R5).

Não foram observadas interações significativas entre as duas pontas, XR 11002 e TJ60-8002, no rendimento da cultura (Tabela 10). Cunha et al. (2014) também observaram a falta de significância entre pontas de pulverização na produtividade da soja, atribuindo este fato aos diversos fatores, como a ocorrência e agressividade do patógeno na área, tolerância ou resistência parcial da cultivar, interação da cultivar com o manejo empregado ou mesmo a própria variabilidade experimental.

Nesse sentido, o estágio fenológico e o número de aplicações de fungicida indica ter sido primordial para assegurar a produtividade da cultura. O ganho em produtividade quando realizadas três aplicações, em V8+R3+R5.1, foi em média 25,27 e 25,03% para as pontas XR 11002 e T60-8002, nas safras 1 e 2, e 36,22 e 32,62% para a safra 3, respectivamente.

O início das aplicações também apresentou relação entre ganhos em produtividade nas safras 1 e 2. Aplicações realizadas em V8 garantiram 12,90 e 10,14% maior produtividade em relação à testemunha, respectivamente para pontas de jato simples e duplo. O ganho foi decrescente à medida que a aplicação ocorreu nos estádios seguintes, com incremento de apenas 3,16 e 2,75% em aplicações em R5.1. Em contrapartida, aplicações em V8, R3 ou R5.1 durante a safra 3 não diferiram estatisticamente em relação ao ganho em produtividade, com aumento médio do rendimento em 14,73%.

Ao realizar duas aplicações, a escolha do momento de início parece não ter influência sobre os ganhos em produtividade durante a safra 1 e 2, uma vez que aplicações em R3+R5.1; V8+R3 ou V8+R5.1 apresentaram ganhos semelhantes, em média 17,6 e 17,7%, para ponta simples e dupla, respectivamente. Vale ressaltar que, nas safras 1 e 2, uma aplicação em V8 com a ponta XR 11002 não diferiu estatisticamente à duas aplicações em quaisquer estádios fenológicos.

**Tabela 10.** Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de parcelas tratadas com fungicidas com duas pontas e pulverização em estádios fenológicos e aumento relativo em relação a testemunha. Dados das duas épocas de plantio referentes às safras 1, 2 e 3.

Tratamentos	Safras 1 e 2		Saфра 3	
	Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Aumento relativo (%)	Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Aumento relativo (%)
1 - Testemunha	2529,3	a	-	-
2 - XR – V8+R3+R5.1	3168,5	d	25,27	36,22
3- XR – V8	2855,5	c	12,90	18,84
4- XR – R3	2746,9	b	8,60	15,87
5- XR – R5.1	2609,2	a	3,16	11,15
6- XR – R3+R5.1	3028,70	c	19,74	23,32
7 - XR – V8+R3	2962,9	c	17,14	25,66
8 - XR – V8 +R5.1	2933,3	c	15,97	18,55
9 - TJ – V8+R3+R5.1	3162,3	d	25,03	32,62
10 - TJ – V8	2785,8	b	10,14	12,71
11- TJ – R3	2826,5	b	11,75	16,31
12 - TJ – R5.1	2598,8	a	2,75	13,53
13 - TJ – R3+R5.1	3011,1	c	19,05	25,51
14 - TJ – V8+R3	3013,6	c	19,15	28,97
15 - TJ – V8 +R5.1	2910,5	c	15,07	22,79
CV (%)	4,87		4,12	

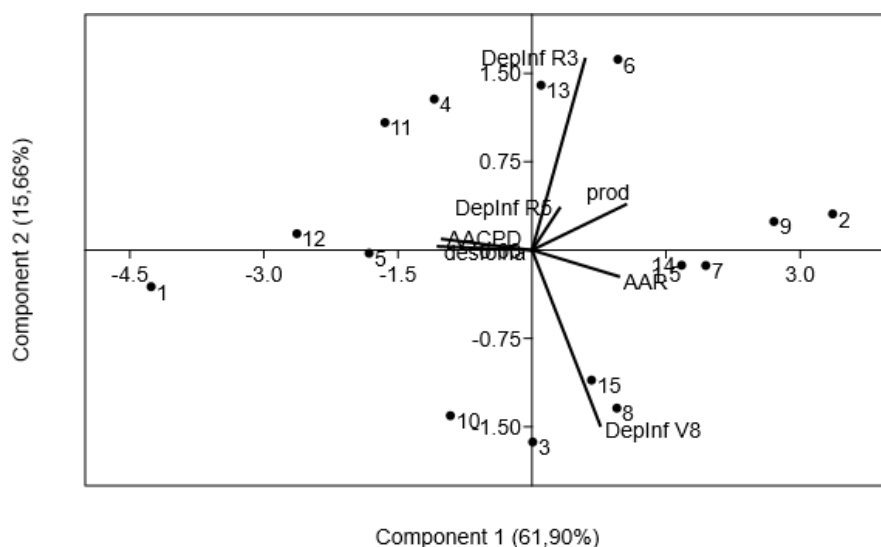
\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.5.5 Análise de Componentes Principais e Correlações entre variáveis

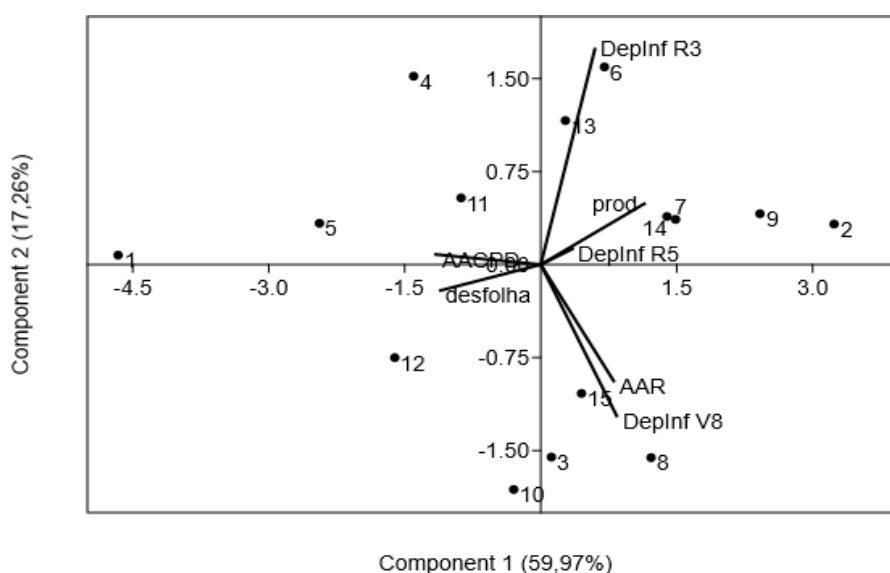
Dentre as técnicas multivariadas, a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma metodologia que reduz o número de variáveis a um número limitado de novas variáveis, que são os Componentes Principais (CP). Esse método pode ser usado para atribuir a importância das variáveis originais, ou seja, aquelas que apresentam maior peso e são mais importantes do ponto de vista estatístico (MOITA NETO; MOITA, 1998).

Há uma transformação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável (Componente Principal 1) seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante, e assim por diante (ODDEN; KVALHEIM, 2000). Cada Componente Principal representa um percentual da variância dos dados, sendo ideal que, no resultado final, parte relevante da variabilidade seja representada por, no máximo, três CP (HAIR et al., 2005).

Uma das vantagens principais da modelagem dos dados em termos da ACP é a facilidade de visualização dos principais componentes em mais de duas dimensões. A representação gráfica (Figuras 13, 14 e 15) permite visualizar a dispersão dos tratamentos em função dos escores dos componentes principais e quais variáveis explicam a variabilidade dos dados. As variáveis produtividade, Área Abaixo da Curva de Refletância (AAR), deposição inferior em V8, R3 e R5.1, componentes do eixo 1, explicam em 61,90; 59,97 e 63,05% a variação dos dados obtidos nas safras 1, 2 e 3, respectivamente. Da mesma forma, a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) e a desfolha, componentes do eixo 2, explicam 15,66; 17,26 e 15,28% a variação dos dados.

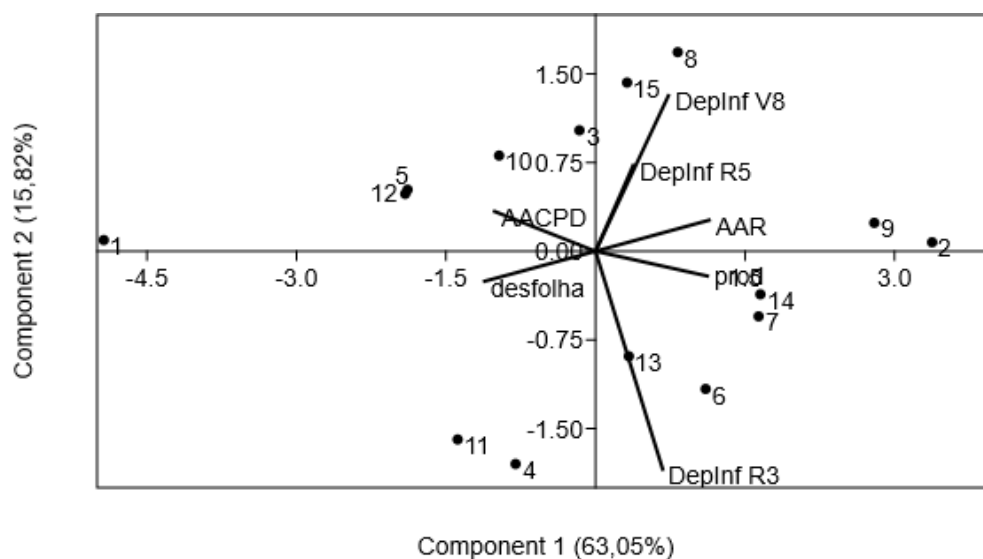


**Figura 10.** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis deposição inferior, AACPD, produtividade, desfolha e AAR para tratamentos com fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos de aplicação. Dados da primeira safra.



**Figura 11.** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis deposição inferior, AACPD, produtividade, desfolha e AAR para tratamentos com

fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos de aplicação. Dados da segunda safra.



**Figura 12.** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis deposição inferior, AACPD, produtividade, desfolha e AAR para tratamentos com fungicidas com duas pontas de pulverização e estádios fenológicos de aplicação. Dados da terceira safra.

Ambas as pontas de pulverização proporcionaram resultados semelhantes, independente do estágio fenológico para aplicação. As aplicações repetidas nos três estágios fenológicos V8+R3+R5 pelas pontas XR 11002 e TJ60-8002, representadas nos gráficos pelos pontos 2 e 9, respectivamente, garantiram as maiores produtividades e medidas de refletância, conseqüentemente apresentando menor progresso de doenças de final de ciclo e menor desfolha (Figuras 10, 11 e 12). A desfolha apresenta-se contrária às medidas de AAR, assim como a AACPD encontra-se oposta à produtividade. Estes resultados são explicados pela correlação negativa entre desfolha e AAR, demonstrada no item 3.5.3.

Os tratamentos com aplicações de fungicidas apenas em R3 ou R5.1 (representados pelos pontos 4, 5, 11 e 12, nas Figuras 10, 11 e 12)

evidenciaram não serem suficientes para assegurar a produtividade da soja, enquanto as aplicações em V8 (pontos 3 e 10) ficaram adjacentes à linha da produtividade. A diferença entre estes estádios fenológicos compreende a deposição do fungicida no estrato inferior, que conseqüentemente acarretou maior severidade de DFCs no estrato inferior em aplicações realizadas em R5.1.

Duas aplicações, realizadas em V8 e repetidas em R3 (pontos 7 e 14, para as pontas jato simples e duplo, respectivamente) representaram os tratamentos mais próximos à produtividade, atrás da aplicação tripla. Assim como demonstrado anteriormente, o número de aplicações aliado ao estágio fenológico no início da aplicação teve papel fundamental no controle da doença e no rendimento da cultura.

### 3.6 CONCLUSÃO

Não foram observadas diferenças significativas entre as pontas de jato plano simples ou jato plano duplo, XR 11002 e TJ60-8002, no controle de DFCs. Aplicações de fungicidas com início no estágio fenológico V8 permitem maior cobertura e deposição foliar, controle de doenças de final de ciclo e maior produtividade. A utilização de medidas de refletância pode ser influenciada pela desfolha causada pelas DFCs.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A cobertura e deposição foliar apresentaram valores maiores quando as aplicações ocorreram no estágio fenológico V8, influenciadas pelo baixo Índice de Área Foliar (IAF).

Aplicações de fungicidas, em qualquer estágio fenológico da cultura, permitiram maior sanidade e medidas de refletância. Entretanto, o número de aplicações e o momento de início do controle químico apresentaram influência nos ganhos destas variáveis. O estágio fenológico V8 demonstrou ser adequado para o início de aplicações de fungicidas nas três safras analisadas.

Os resultados obtidos demonstram que a aplicação calendarizada pode não ser a melhor opção para a determinação do início do controle químico de DFCs, já que aplicações em R5.1, frequentemente empregadas, não proporcionaram ganho em produtividade durante as safras 1 e 2.

## REFERÊNCIAS

ALBU, S.; SCHNEIDER, R. W.; PRICE, P. P.; DOYLE, V. P. *Cercospora* cf. *flagellaris* and *Cercospora* cf. *sigesbeckiae* are associated with Cercospora Leaf Blight and Purple Seed Stain on soybean in North America. **Phytopathology**, v. 106, n. 11, p. 1376–1385, 2016. <https://doi.org/10.1094/phyto-12-15-0332-r>

ALMEIDA, A.M.R.; PIUGA, F.F.; MARIN, S.R.R.; BINNECK, E.; SARTORI, F.; COSTAMILAN, L.M.; TEIXEIRA, M.R.O.; LOPES, M. Pathogenicity, molecular characterization, and cercosporin content of Brazilian isolates of *Cercospora kikuchii*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 6, p. 594-602, 2005a.

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças da soja. In: KIMATI, H. AMORIN, L. REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A.; AMARGO, L. E. A. (Eds.) **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 569-588, 2005b.

ALLOATTI, J.; LI, S.; CHEN, P.; JAUREGUY, L.; SMITH, S. F.; FLOREZ-PALACIOS, L.; ORAZALY, M.; RUPE, J. Screening a diverse soybean germplasm collection for reaction to purple seed stain caused by *Cercospora kikuchii*. **Plant Disease**, v. 99, p. 1140-1146, 2015.

AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. **Soy stats**. 2023. Disponível em: <<http://soystats.com/>>. Acesso em: jan. 2023.

ANTUNIASSI, U. A.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Fepaf, 105-119. 2011.

BAESSO, M.M.; TEIXEIRA, M.M.; RUAS, R. A.; BAESSO, E. R. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, 61, 780-785. 2014.

BANDARA, A. Y.; WEERASOORIYA, D. K.; CONLEY, S. P.; BRADLEY, C. A.; ALLEN, T. W.; ESKER, P. D. Modeling the relationship between estimated fungicide use and disease-associated yield losses of soybean in the United States I: Foliar fungicides vs foliar diseases. **PLoS One**, v. 15, n. 6, 2020.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. (4ª edição). Jaboticabal: Funep. 237 p. 2013.

BARBER, J.A.S.; PARKIN, C. S.; CHOWDHURY, A. B. M. N. U. Effect of application method on the control of powdery mildew (*Bulmeria graminis*) on spring barley. **Crop Protection**, v.22, p.949-957, 2003.

BATZER, J.C.; KANDEL, Y.R.; BRADLEY, C.A.; CHILVERS, M.I.; TENUTA A.U., WISE, A.K.; HERNÁNDEZ, E., MUELLER, D.S. Effect of seed treatment on early season brown spot caused by *Septoria glycines* of soybean. **Plant Health Progress**, v. 17, n. 4, p. 223-228, 2016.

BAUER, M. E. **The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops**. West Lafayette, Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1975.

BRODBECK, C.; SIKORA, E.; DELANEY, D.; PATE, G.; JOHNSON, J. Using Unmanned Aircraft Systems for Early Detection of Soybean Diseases. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 802–806, 2017.  
Doi:10.1017/s2040470017001315

CAMPILLO, C.; GARCIA, M.A., DAZA, C., PRIETO, M.H. Study of a non-destructive method for estimating the leaf area index in vegetable crops using digital images. **Hortscience**, v. 45, n. 10, p. 1459-1463, 2010.

CANTERI, M. G.; DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Uso de radiômetro de múltiplo espectro na avaliação de fungicidas para controle de ferrugem do feijoeiro. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia. 29, p.350. Campo Grande. Resumos. Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1996.

CANTERI, M. G. **Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro**. 1998. 81 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP.

CANTERI, M. G.; VITTI, A. J.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade do amendoim. **Summa Phytopathologica**, v.25, n.3. p.228-233, 1999.

CARMONA, M.; MOSCHINI, R.; CAZENAVE, G.; SAUTUA, F. Relação entre a precipitação registrada em estados reprodutivos de soja e severidade de *Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii*. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 71 – 78, 2010.

CARMONA, M.; SAUTUA, F.; PERELMAN, S.; REIS, E. M.; GALLY, M. Relationship between late soybean diseases complex and rain in determining grain yield responses to fungicide applications. **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 10, p. 687-693, 2011.

CARMONA, M.; SAUTUA, F.; PERELMAN, S.; GALLY, M.; REIS, E. M. Development and validation of a fungicide scoring system for management of late season soybean diseases in Argentina. **Crop Protection**, v. 70, p. 83–91, 2015. Doi:10.1016/j.cropro.2015.01.01

CARMONA, M.A.; SAUTAA, F.J.; PÉREZ-HERNANDES, O. Copper phosphite enhances efficacy of a strobilurin-triazole fungicide in controlling late season foliar diseases of soybean. **Crop Protection**. v.115, p.130-134, 2019

CARMONA, M.A.; SAUTAA, F.J.; PÉREZ-HERNANDES, O.; MANDOLESI, J.I. AgroDecisor EFC: First Android™ app decision support tool for timing fungicide applications for management of late-season soybean diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 144 p. 310-313. 2018.

CARVALHO, B. O. **Fungicida e ativador de defesa no controle da ferrugem asiática, na produção e na qualidade das sementes de soja**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2012.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra 2022/2023** – Quarto levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 08 jan 2023.

CHRISTMANN, P. E. T. P.; GARCIA, L. C. **Pontas de pulverização na aplicação de fungicidas em soja**. XXVI Encontro Anual de Iniciação Científica, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2017. Disponível em: [https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2017/10\\_Polyana\\_Elvira\\_tobias\\_Pinto\\_Christmann-150512961592432.pdf](https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2017/10_Polyana_Elvira_tobias_Pinto_Christmann-150512961592432.pdf).

CRUSIOL, L.G.T.; NANNI, M.R.; FURLANETTO, R.H.; SILVA, G.F.C.; SILVA, M.C.; SIBALDELLI, R.N.R.; MERTZ-HENNING, L.M.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B. Sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento do déficit hídrico na cultura da soja. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: **Anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

CRUZ, C. D.; MILLS, D.; PAUL, P. A.; DORRANCE, A. E. Impact of brown spot caused by *Septoria glycines* on soybean in Ohio. **Plant Disease**, v. 94, n. 7, p. 820-826, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. D. Tecnologia de aplicação de fungicida no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em Minas Gerais e Goiás. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 950-957, 2014.

CUNHA, J. P. A. R.; PERES, T. C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum**, v. 32, n. 4, p. 597-602, 2010. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i4.2502.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v.21, p.325-32, 2003.

CUNHA, J. R.; MOURA, E. C.; JÚNIOR, J. S.; ZAGO, F. A.; JULIATTI, F. C. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Eng. Agríc**, v. 28, n. 2, p. 283-291, 2008.

DAUB, M. E.; CHUNG, K. R. Cercosporin: a photoactivated toxin in plant disease. Online. **APSnet Features**, v. 10, 2007.

DAUB, M. E., EHRENSHAFT, M. The photoactivated *Cercospora* toxin cercosporin: contributions to plant disease and fundamental biology. **Annual Review of Phytopathology**, v. 38, n. 1, p. 461-490,2000.

DEBORTOLI, M. P.; TORMEN, N. R.; BALARDIN, R. S.; FAVERA, D. D.; STEFANELLO, M. T.; PINTO, F. F.; UEBEL, J. D. Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem-asiática-da-soja em cultivares com

diferentes arquiteturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 920-927, 2012.

DOMINGO, J. L.; BORDONABA, J. G. A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. **Environment International**, v. 37, n. 4, p. 734-742, 2011.

EMBRAPA (2000) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil 2000/01**. Londrina. EmbrapaCNPSo

EMBRAPA. **Manual de identificação de doenças de soja** (5 ed.). Londrina: Documentos 256. 2014.

FARIAS, J. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Embrapa, Circular Técnica 48, 1-8. 2007.

FAROOQ, M.; BALACHANDAR, R.; WULFSOHN, D.; WOLF, T.M. Agriculture sprays in cross-flow and drift. **Journal Agric. Eng. Res.**, v. 78, n. 4, p. 347-358, 2001.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. (Vols. special report, 80). Ames: Iowa State University of Science And Technology. 1977.

FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M. C.; RAMONI, G. N. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Engenharia Agrícola**, v. 27, 728-733. 2007.

FERREIRA, L.P.; LEHMAN, P.S.; ALMEIDA, J, A.M.R. **Doenças da soja no Brasil**. Londrina:EMBRAPA, CNPSo, 1979. 42p. (EMBRAPA.CNPSo.Circular Técnica, 1).

FIESP. Federação das indústrias do estado de São Paulo.

<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/attachment/file-20190613210035-boletimsojajunho2019/>. Acesso em 05 de julho, 2019.

FIESP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Safra Mundial de Soja 2022/23** - 7º Levantamento do USDA. Novembro de 2022.

Disponível em:

<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/>. Acesso em jan. 2023.

GAVAL, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M.; FREITAS, P. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

GUERZONI, R.A. **Efeito das doenças foliares de final de ciclo (*Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomoyasu) Gardner) na duração da área foliar sadia da soja**. Piracicaba, 2001. 49p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GULER, H. ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASAE**. v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007.

GROFF, E. C.; NANNI, M. R.; POVH, F. P.; CEZAR, E. Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja. **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 517-526. 2013.

GUERZONI, R.A. **Efeito das doenças foliares de final de ciclo (*Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomoyasu) Gardner) na duração da área foliar sadia da soja**. Piracicaba, 2001. 49p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

HANNA, H. M.; ROBERTSON, A. E.; CARLTON, W. M.; WOLF, R. E. Nozzle and carrier application effects on control of soybean leaf spot diseases. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 1, p. 5-13, 2009.

HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. **Compendium of soybean diseases and pests** (5th ed.). American Phytopathological Society, 2015.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar na cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HEMMI, T. A new brown-spot disease of the leaf of *Glycine hispida* Maxim. caused by *Septoria glycines* sp.n. **Trans. Sapporo Nat. Hist. Soc.** v.6, p.12-17, 1915.

HEMMI, T. Studies on septorioses of plants. VI. *Septoria glycines* Hemmi causing the brown spot disease of Soy Bean. **Memoirs of the College of Agriculture**, Kyoto University, n. 47 pp.1-14, 1940.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, Á. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P. **Manual de identificação de doenças de soja**. Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E), 2014.

HEWIT, H. **Fungicides in crop protection**. Chapter 4. Fungicide Performance. England, CABI, p.87-153. 1998.

HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; SILVA, A. J. D. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 96-103, 2010.

HIRANO M.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A.J.; XAVIER, S.A.; CANTERI, M.G. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.3, p.248-250, 2010.

ITO, M.F.; TANAKA, M.A.S. **Soja**: principais doenças causadas por fungos, bactérias e nematóides. Campinas. Fundação Cargill. (Série Técnica, 186). 1993.

JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital modis na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o Estado do Paraná – Brasil. **Eng. Agríc**, v. 36, n. 1, p. 126-142, 2016.

KASHIWA, T.; LAVILLA, M. A.; PALEO, A. D.; IVANCOVICH, A. J. G.; YAMANAKA, N. The use of detached leaf inoculation for selecting *Cercospora kikuchii* resistance in soybean genotypes. **PhytoFrontiers**, 2021.  
<https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-01-21-0002-TA>

- KLINGELFUSS, L.H.; YORINORI, J.T. Infecção latente de *Colletotrichum truncatum* e *Cercospora kikuchii* em soja. **Fitopatologia Brasileira**. v. 26, p. 158-164, 2001.
- KOGA, L. J.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 4, p. 571-579, 2007.
- KUDO, A. S.; BLUM, L. E. B.; LIMA, M. A. Aerobiologia de *Cercospora kikuchii*. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1682-1688, 2011.
- LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E., **Geoprocessamento e agricultura de precisão**. Guaíba. 118 p. 2001.
- LAVILLA, M.; IVANCOVICH, A. Relación entre enfermedades y rendimiento de granos de soja. **Agronomía Mesoamericana**, v. 32, n. 2, p. 141–148, 2021. <http://doi.org/10.15517/am.v32i2.44057>.
- LAVILLA, M.; IVANCOVICH, A.; DÍAZ-PALEO, A. Tizón Foliar y la Mancha Púrpura de la semilla causados por *Cercospora kikuchii* en soja (*Glycine max* L. Merr.). **Agronomy Mesoamerican**, v.33, n. 3, p. 48494-48494, 2022.
- LEITE M. F.; SERRA J. C. V. Avaliação dos impactos ambientais na aplicação dos agrotóxicos. **Ambiência**, v. 9, n. 3, p. 675-682, 2013.
- LENZ, G.; BALARDIN, R. S.; MINUZZI, S. G.; TORMEN, N. R.; MARQUES, L. N. Espectro de gotas e idade de trifólios na taxa de absorção e efeito residual de fungicidas em soja. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1702-1708, 2011.
- LIN, H. A.; MIDEIROS, S. X. Accurate quantification and detection of *Septoria glycines* in soybean using quantitative PCR. **Current Plant Biology**, v. 25, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100192>

LIN, H. A.; VILLAMIL, M. B.; MIDEROS, S. X. Characterization of *Septoria* brown spot disease development and yield effects on soybean in Illinois.

**Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 43, n. 1, p.62-72, 2020.

doi:10.1080/07060661.2020.17553

LURÁ, M.C.; LATORRE RAPELA M.G.; VACCARI M.C.; MAUMARY R.; SOLDANO A.; MATTIO M.; GONZÁLEZ A.M. Genetic diversity of *Cercospora kikuchii* isolates from soybean cultured in Argentina as revealed by molecular markers and cercosporin production. **Mycopathologia**, v. 171, n. 5, p. 361-371, 2011.

MARTINS, K. V. **Caracterização fisiológica e influência das folhas senescentes do estrato inferior na produtividade da cultura de soja**. 78p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2011.

MARTINS, M. C. **Produtividade da soja sob influência de ocorrência natural de *Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomoyasu) Gardner com e sem controle químico**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2003.

MARTINS, M.C.; GUERZONI, R.A.; CÂMARA, G.M.S.; MATTIAZZI, P.; LOURENÇO, S.A.; AMORIM, L. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 179-184, 2004.

MANTECÓN, J.D. Efficacy of chemical and biological strategies for controlling the soybean brown spot (*Septoria glycines*). **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 35, n. 2, p. 211-214, 2008.

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. **Tecnologia de aplicação e equipamentos**. In: ABEAS - Curso de proteção de plantas. Módulo 2. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 85 p. 2001.

MCGRATH, M. T. **What are fungicides?** The Plant Health Instructor. 2004.

MOITA NETO, J.M.; MOITA, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, p.467-469, 1998.

NETO, J. F.; WEST, S. H. Effects of *Colletotrichum truncatum* and *Cercospora kikuchii* on viability and quality of soybean seed. **Journal of Seed Technology**, v. 13, n. 2, p.136-149, 1989.

NEVES, D. L.; WANG, A.; WEEMS, J. D.; KELLY, H. M.; MUELLER, D. S., FARMAN, M.; BRADLEY, C. A. Identification of *Septoria glycines* isolates from soybean with resistance to quinone outside inhibitor fungicides. **Plant Disease**, v. 106, n. 10, p. 2631-2637, 2022.

NIERO, A.R.; TRATCH, R.; PINTO JR, A.R. Eficácia dos fungicidas no controle de doenças de final de ciclo (DFC) da soja. **Revista Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 19-25. 2007.

NUTTER, F. W. JR.; LITTREL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, v. 15, n.2, p.135- 142, 1996.

ODDEN, W.; KVALHEIM, O.M. Application of multivariate modelling to detect hydrocarbon components for optimal discrimination between two source rock types. **Applied Geochemistry**, v. 15, p. 611-627, 2000.

ÖZENER, O.; YÜKSEK, L.; ERGENÇ, A. T.; ÖZKAN, M. Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. **Fuel**, 115, 875-883, 2014.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2000.

PETERSON, D.J.; EDWARDS, H.H. Effects of temperature and leaf wetness period on brown spot disease of soybeans. **Plant Disease**, v.66, n.11, p.995-998, 1982.

PICININI, E.C.; FERNANDES, J.M. **Doenças de soja**: diagnose, epidemiologia e controle. Passo Fundo: EMBRAPA, 103p. 2003 (EMBRAPA, Documentos, 16).

PIOLI, R. N.; BENAVIDEZ, R.; MORANDI, E. N.; BODRERO, M. Epidemiological study of diseases associated with soybean carpels and seeds in Santa Fe Province, Argentina. **Fitopatología**, v. 35, n. 2, p. 111-118, 2000.

PODANI, J.; KALAPOS, T.; BARTA, B.; SCHMERA, D. Principal component analysis of incomplete data—A simple solution to an old problem. **Ecological Informatics**, v. 61, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2021.10123.

PRICE III, P. P.; PURVIS, M. A.; CAI, G.; PADGETT, G. B.; ROBERTSON, C. L.; SCHNEIDER, R. W.; ALBU, S. Fungicide resistance in *Cercospora kikuchii*, a soybean pathogen. **Plant disease**, v. 99, n. 11, p. 1596-1603. 2015.

QIU, L.; CHANG, R. Z. **The origin and history of soybean**. The soybean: botany, production and uses, p. 1-23, 2010.

REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; CUNHA, J. R.; ALVES, S. F. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine max* L.). **Eng. Agríc**, v. 30, n. 5, p. 958-966, 2010.

REZNIKOV, S.; DE LISI, V.; CLAPS, P., GONZÁLEZ, V., DEVANI, M. R., CASTAGNARO, A. P.; PLOPER, L. D. Evaluation of the efficacy and application timing of different fungicides for management of soybean foliar diseases in northwestern Argentina. **Crop Protection**, v. 124, 2019.

doi:10.1016/j.cropro.2019.10484

RICHTER, G. L.; ZANON JÚNIOR, A.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRÄULICH, B.; ROCHA, T. S. M. D.; CERA, J. C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 73, p. 416-425, 2014.

ROCHA, B. G.; AMARO, H. T.; PORTO, E. M.; GONÇALVES, C. C.; DAVID, A. M.; LOPES, E. B. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 376-384, 2018.

SCHUH, W. Influence of temperature and leaf wetness period on conidial germination in vitro and infection of *Cercospora kikuchii* on soybean.

**Phytopathology**, v.81, n.10, p.1315-1318, 1991.

SHANER, G.; FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, 70, p. 1183-1186, 1977.

SILVA, B. M.; RUAS, R. A. A.; SICHOCKI, D.; DEZORDI, L. R.; CAIXETA, L. F. Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes partes da planta de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*).

**Engenharia na agricultura**, v.22 n.1, p. 17-24, 2014.

SILVA, E. A.; SILVA, J. F. V.; MONICO, J. F. G.; HIROMOTO, D. M. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematoide do cisto da soja. **Viçosa, Editora UFV**. 453p, 2000.

SILVA, J. M. **Desempenho de combinações de fungicidas químicos e sua influência com aspectos fitossanitários da soja (*Glycine max*)**. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal Goiano, 2018.

SILVA, N. G. **Deposição de calda na cultura da soja em função de pontas de pulverização e taxas de aplicação**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Brown spot. In: G. L. HARTMAN, J. B.; SINCLAIR.; J. C. RUPE. **Compendium of Soybean Diseases**, 4 ed., eds. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 1999.

SOUSA, F. A. et al. Patologia em sementes de soja. **Revista Científica-Cultural**, v. 1, n. 1, p. 7-7, 2016.

SOUZA, R; NARDI, A.E. **Práticas na cultura da soja**. Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste, v. 4, p. e21204-e21204, 2019.

SPRAYING SYSTEMS CO. **Catálogo 51A-PT** - Produtos de pulverização para agricultura. Wheaton: Spraying Systems Co., 2014. 160p.

SWEETS, L. E.; WRATHER, A.; WRIGHT, S. **Manejo Integrado de Pragas: Doenças da Soja**. Programas de proteção de plantas, Faculdade de Agricultura e Recursos Naturais Universidade de Missouri, 2008. Disponível em: [http://ipm.missouri.edu/ipm\\_pubs/ipm1002.pdf](http://ipm.missouri.edu/ipm_pubs/ipm1002.pdf)

TORMEN, N. R.; DA SILVA, F. D.; DEBORTOLI, M. P.; UEBEL, J. D.; FÁVERA, D. D.; BALARDIN, R. S. Deposição de gotas no dossel e controle químico de

*Phakopsora pachyrhizi* na soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 802-808, 2012.

TUCKER, C. L.; GARRATT, M. W. Leaf optical system modeled as stochastic process. **Applied Optical**, v.16, p.635-642, 1977.

UPCHURCH, R. G.; WALKER, D. C.; ROLLINS, J. A.; EHRENSHAFT, M., DAUB, M. E. Mutants of *Cercospora kikuchii* altered in cercosporin synthesis and pathogenicity. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, n. 10, p. 2940-2945, 1991.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; DE SOUZA, G.V.R. Deposição de gotas no dossel da soja por diferentes pontas de pulverização hidráulica e pressões de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.4, 428-435, 2008.

VIÑA, A. et al. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3468-3478, 2011.

ZIVANOVIC, M.; WARD, B.; PRICE, P. P.; CHEN, Z. Y. Elucidation of factors contributing to onset of *Cercospora* leaf blight during later reproductive development of soybean. **Plant Pathology**, v. 70, n. 9, p. 2074-2085, 2021.

WALTERS, H. J. Soybean leaf blight caused by *Cercospora kikuchii*. **Plant Disease**, v. 64, n. 10, p. 961-962, 1980.

WIEGAND, G. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E. Vegetation indices in crop assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.105-119, 1991.

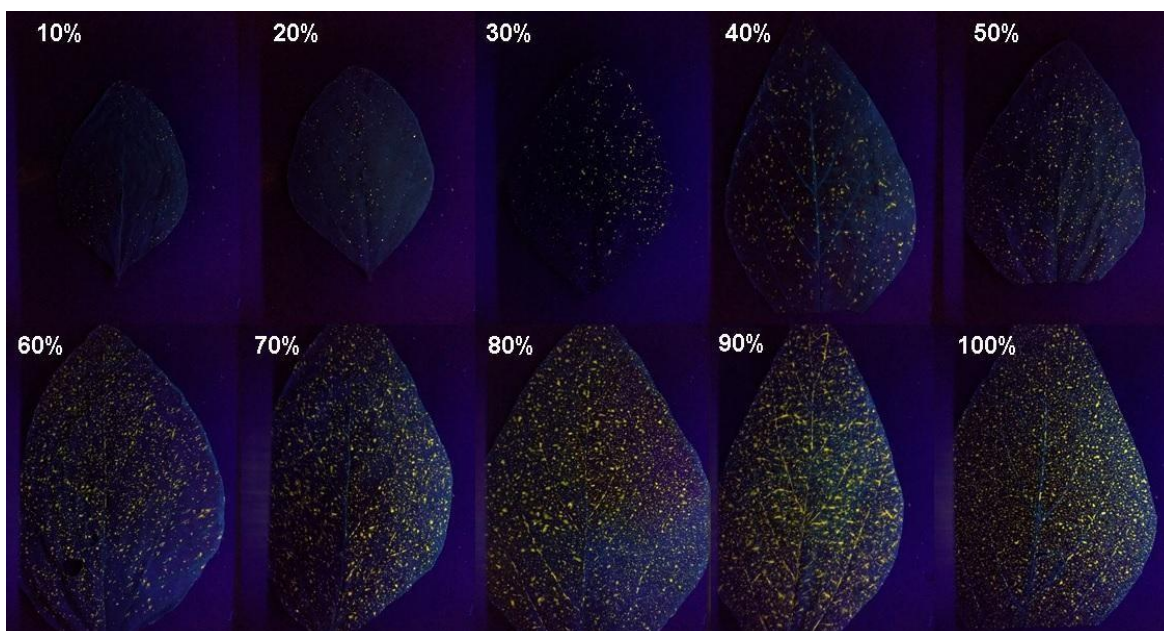
WOLF, J.; LEHMAN, S.G. Brown-spot disease of soybean. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.33, n.4, p.365-74, 1926.

WRATHER, A.; SHANNON, G.; BALARDIN, R.; CARREGAL, L.; ESCOBAR, R.; GUPTA, G. K.; TENUTA, A. Effect of diseases on soybean yield in the top eight producing countries in 2006. **Plant Health Progress**, v. 11, n. 1, p. 29, 2010.

YORINORI, J. T. Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) – Controle de Doenças. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. **Controle de doenças de plantas grandes culturas**. Viçosa/ MG: UFV. v. 2. p. 953-1024, 1997.

YU, Y; ZHU, H.; FRANTZ, J.M.; REDING, M.E.; CHAN, K.C.; OZKAN, H.E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, v. 104, n. 3, p. 324-334, 2009.

## ANEXO I



**Figura 13.** Escala com níveis de cobertura da pulverização de fungicidas em folhas de soja