

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SENIO JOSÉ NAPOLI PRESTES

ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA E EFICÁCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DE
DOENÇAS FOLIARES NA SOJA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA NAS
SAFRAS DE 2019/2020 A 2021/2022

PONTA GROSSA
2025

SENIO JOSÉ NAPOLI PRESTES

ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA E EFICÁCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DE
DOENÇAS FOLIARES NA SOJA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA NAS
SAFRAS DE 2019/2020 A 2021/2022

Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Agronomia na
Universidade Estadual de Ponta Grossa,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova
da Costa

PONTA GROSSA
2025

P936 Prestes, Senio José Napoli
Análise epidemiológica e eficácia de fungicidas no controle de doenças foliares na soja em diferentes épocas de semeadura nas safras de 2019/2020 a 2021/2022. / Senio José Napoli Prestes. Ponta Grossa, 2023.
96 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Fitotecnia e Fitossanidade), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova Costa.

1. Epidemiologia. 2. Manejo integrado. 3. Semeadura. 4. Fungicidas. 5. Doenças - soja. I. Costa, Neumárcio Vilanova. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Fitotecnia e Fitossanidade. III.T.

CDD: 633



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA E EFICÁCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DE DOENÇAS FOLIARES NA SOJA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA NAS SAFRAS DE 2019/2020 A 2021/2022”.

Nome: Senio José Napoli Prestes

Orientador: Neumarcio Vilanova da Costa

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Neumarcio Vilanova da Costa

Prof. Dr. Marcos Vinícius Ribas Miléo

Dr. Helio Antonio Wood Joris

Ponta Grossa 21 de junho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Neumárcio Vilanova da Costa, Usuário Externo**, em 30/06/2023, às 16:31, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Helio Antonio Wood Joris, Usuário Externo**, em 30/06/2023, às 17:06, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Vinicius Ribas Milleo, Professor(a)**, em 03/07/2023, às 15:45, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **1516098** e o código CRC **153553FC**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por tudo, pois nada do que Ele me dá é oferecido sem o propósito do bem.

Aos meus pais, que abertos a vontade de Deus me concederam o privilégio de estar neste mundo e poder contribuir com a pesquisa na busca do bem e da verdade.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram o meu aprofundamento no conhecimento e no círculo de amizades que fiz neste caminho de estudos.

Ao Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa, pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho, além do suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Sou grato a minha esposa Mariane, que sempre ofereceu apoio e incentivo. Gratidão, de todo o meu coração, por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse. Sem você ao meu lado o trabalho não seria concluído.

Quero agradecer a todos os colegas do setor de fitopatologia da Fundação ABC, Edson Giovanni Kochinski, Giovana Bochnia, Thais Kuff e Ronaldo Ortiz, que não mediram esforços para me auxiliar na elaboração e análises de dados tão complexos. Obrigado pelo suporte que me fizeram acreditar mais do que eu seria capaz de realizar.

Os que não querem ser vencidos pela verdade, serão vencidos pelo erro.
(Agostinho de Hipona)

RESUMO

PRESTES, S. J. N. **Análise epidemiológica e eficácia de fungicidas no controle de doenças foliares na soja em diferentes épocas de semeadura nas safras de 2019/2020 a 2021/2022.** Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

A otimização do potencial produtivo da soja associada à redução de custos, especialmente com o uso de insumos para proteção de plantas, constitui um desafio permanente na agricultura. Desta forma, a hipótese deste estudo baseou-se no fato de que a época de semeadura (setembro a dezembro) pode influenciar a incidência e severidade de oídio (*Microsphaera diffusa*) e de ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), bem como a eficácia de diferentes fungicidas. Assim, objetivou-se avaliar a epidemiologia dessas doenças e a performance de produtos fitossanitários em três safras consecutivas (2018-2021), abrangendo quatro épocas de semeadura (setembro, outubro, novembro e dezembro) no município de Arapoti-PR. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso, com 4 repetições. Foram avaliados 8 tratamentos fungicidas: [(Protioconazol 87,5 g L⁻¹ + Trifloxistrobina 75 g L⁻¹ + Bixafen 62,5 g L⁻¹) + Mancozebe 1125 g Kg⁻¹]; [(Protioconazol 70 g L⁻¹ + Trifloxistrobina 60 g L⁻¹) + Mancozebe 1125 g Kg⁻¹]; [(Piraclostrobina 99,9 g L⁻¹ + Fluxapiroxade 50,1 g L⁻¹) + Mancozebe 1125 g Kg⁻¹]; [(Azoxistrobina 60 g L⁻¹ + Benzovindiflupir 30 g L⁻¹) + Mancozebe 1125 g Kg⁻¹]; [(Tebuconazol 95,7 g L⁻¹ + Metaminostrobin 63,8 g L⁻¹) + Mancozebe 1125 g Kg⁻¹]; [(Ciproconazol 24 g L⁻¹ + Picoxistrobina 60 g L⁻¹) + Mancozebe 1125 g Kg⁻¹]; [(Azoxistrobina 90 g Kg⁻¹ + Mancozebe 1350 g Kg⁻¹ + Ciproconazol 60 g Kg⁻¹)], além de um tratamento-testemunha. A evolução da severidade das doenças Oídio e Ferrugem da Soja foi acompanhada em cada época de semeadura utilizando as escalas de avaliação, respectivamente. A antecipação da semeadura para setembro, associada à aplicação de fungicidas, reduziu os danos de Oídio e Ferrugem, resultando em maior produtividade da cultura. Alguns fungicidas foram mais específicos para o controle de Oídio, como o fluxapiroxade (50,1 g ha⁻¹) + Piraclostrobina (99,9 g ha⁻¹), enquanto outros foram mais específicos para a Ferrugem da Soja, como o tebuconazol (95,7 g ha⁻¹) + metaminostrobin (63,8 g ha⁻¹). Outras formulações, como Bixafen (62,5 g ha⁻¹) + trifloxistrobina (75 g ha⁻¹) + protioconazol (87,5 g ha⁻¹), mostraram um espectro de ação mais amplo. A produtividade foi superior nas épocas de semeadura de setembro e outubro em comparação com novembro e dezembro. A utilização de fungicidas para o controle das doenças da soja assegurou a manutenção do potencial produtivo da cultura, apresentando eficiência de controle superior a 48% para Oídio e 70% para Ferrugem da Soja.

Palavras-chave: epidemiologia; manejo integrado; semeadura; fungicidas; doenças em soja.

ABSTRACT

PRESTES, S. J. N. **Epidemiological analysis and effectiveness of fungicides in the control of foliar diseases in soybean at different sowing times in the 2019/2020 to 2021/2022 harvests.** Dissertation (Master Science in Agronomy), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

The optimization of soybean yield potential associated with cost reduction, especially through the use of crop protection inputs, is a constant challenge in agriculture. In this way, the hypothesis of this study was based on the fact that the sowing time (September to December) may influence the incidence and severity of powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) and Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*), as well as the efficacy of different fungicides. Thus, the objective was to evaluate the epidemiology of these diseases and the performance of crop protection products over three consecutive seasons (2018–2021), covering four sowing periods (September, October, November, and December) in the municipality of Arapoti-PR. The experimental design was randomized blocks, with 4 replications. Eight fungicide treatments were evaluated: [(Prothioconazole 87.5 g L⁻¹ + Trifloxystrobin 75 g L⁻¹ + Bixafen 62.5 g L⁻¹) + Mancozeb 1125 g Kg⁻¹]; [(Prothioconazole 70 g L⁻¹ + Trifloxystrobin 60 g L⁻¹) + Mancozeb 1125 g Kg⁻¹]; [(Pyraclostrobin 99.9 g L⁻¹ + Fluxapyroxad 50.1 g L⁻¹) + Mancozeb 1125 g Kg⁻¹]; [(Azoxystrobin 60 g L⁻¹ + Benzovindiflupyr 30 g L⁻¹) + Mancozeb 1125 g Kg⁻¹]; [(Tebuconazole 95.7 g L⁻¹ + Metominostrobin 63.8 g L⁻¹) + Mancozeb 1125 g Kg⁻¹]; [(Cyproconazole 24 g L⁻¹ + Picoxystrobin 60 g L⁻¹) + Mancozeb 1125 g Kg⁻¹]; [(Azoxystrobin 90 g Kg⁻¹ + Mancozeb 1350 g Kg⁻¹ + Cyproconazole 60 g Kg⁻¹)], in addition to a control treatment. The progression of powdery mildew and soybean rust severity was monitored in each sowing period using the respective assessment scales. Advancing the sowing to September, combined with fungicide application, reduced damage from powdery mildew and rust, resulting in higher crop productivity. Some fungicides were more specific for powdery mildew control, such as fluxapyroxad (50.1 g ha⁻¹) + pyraclostrobin (99.9 g ha⁻¹), while others were more specific for soybean rust, such as tebuconazole (95.7 g ha⁻¹) + metominostrobin (63.8 g ha⁻¹). Other formulations, such as bixafen (62.5 g ha⁻¹) + trifloxystrobin (75 g ha⁻¹) + prothioconazole (87.5 g ha⁻¹), showed a broader spectrum of action. Yield was higher in the September and October sowing periods compared to November and December. The use of fungicides to control soybean diseases ensured the maintenance of the crop's yield potential, showing control efficiency greater than 48% for powdery mildew and 70% for soybean rust.

Keywords: epidemiology; integrated management; seeding; fungicides; diseases in soybeans.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala fenológica da Soja: valores numéricos e descrição dos estádios de crescimento avaliados no estudo	41
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de temperatura média observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja.....	34
Figura 2 - Dados de umidade relativa do ar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja	34
Figura 3 - Dados de radiação solar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja	34
Figura 4 - Dados de precipitação pluvial observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja	35
Figura 5 - Dados de temperatura média observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja.....	35
Figura 6 - Dados de umidade relativa do ar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja	35
Figura 7 - Dados de radiação solar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja	36
Figura 8 - Dados de precipitação pluvial observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja	36
Figura 9 - Dados de temperatura média observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja.....	36
Figura 10 - Dados de umidade relativa do ar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja.....	37
Figura 11 - Dados de radiação solar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja.....	37
Figura 12 - Dados de precipitação pluvial observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja	37
Figura 13 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020 e 2020/2021, em Semeaduras de Setembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	50
Figura 14 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de outubro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	51

Figura 15 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de novembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR.....	52
Figura 16 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de dezembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti – PR.....	53
Figura 17 - Estimativa da severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti – PR por meio da regressão linear simples	54
Figura 18 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020 e 2020/2021, em Semeaduras de Setembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	56
Figura 19 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de Outubro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR.....	57
Figura 20 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de Novembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR.....	58
Figura 21 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de Dezembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	59
Figura 22 - Variação do controle médio (%) de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	62
Figura 23 - Variação do controle médio (%) de Ferrugem (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	63
Figura 24 - Variação da produtividade média dos tratamentos (kg ha ⁻¹) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR	66
Figura 25 - Relação entre a severidade (%) de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2 e o controle de Oídio (%) obtido por meio da área abaixo da curva do progresso da doença, avaliados no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR.....	70
Figura 26 - Relação entre a severidade (%) de Ferrugem da Soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2 e o controle (%) obtido por meio da área	

abaixo da curva do progresso da doença, avaliados no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR.....	71
Figura 27 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Setembro nas Safras 2019/2020 e 2020/2021: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR	73
Figura 28 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Outubro nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR.....	74
Figura 29 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Novembro nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR.....	75
Figura 30 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Dezembro nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR.....	76
Figura 31 - Variação Média na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida nas diferentes épocas de semeadura das Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronologia das épocas de semeadura, datas de semeadura e colheita e ciclo da cultura nas safras de verão 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022	38
Tabela 2 - Descrição dos Tratamentos com Fungicidas, Ingredientes Ativos e Doses Aplicadas em quatro épocas de semeadura ao longo das três safras em Arapoti (PR)	40
Tabela 3 - Parâmetros Ajustados do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) no Tratamento Testemunha na Cultura da Soja	48
Tabela 4 - Parâmetros Ajustados do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) no Tratamento Testemunha na Cultura da Soja	55
Tabela 5 - Valores dos parâmetros da regressão linear simples para a variável resposta (obtido por meio da área abaixo da curva do progresso da doença) em função da variável preditora (severidade avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2)	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACPD	Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença
ATP	Adenosina Trifosfato
DMI	Inibidores de ergosterol
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
FRAC	Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas
IDM	Inibidores de Desmetilação
IQe	Inibidores da quinona externa
ISDHs	Inibidores da Succinato Desidrogenase
PAM	Ponto de Aceleração Máxima
PDM	Ponto de Desaceleração Máxima
Qo	Quinona oxidase
QoI	Inibidores externos de quinona
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio
S_PAM	Severidade no Ponto de Aceleração Máxima
SDHI	Succinato Desidrogenase
SMA	Sistema de Monitoramento Agrometereológico

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Taxa de crescimento do progresso da doença
b	Fenologia para atingir metade da severidade final
F	Valor da AACPD correspondente às parcelas do tratamento com aplicação de fungicida
$(t_{i+1} - t_i)$	Representa o intervalo de tempo entre duas avaliações consecutivas
T	Valor da AACPD correspondente às parcelas do tratamento Testemunha (sem aplicação de fungicida)
R^2	Coefficiente de Determinação
Y_{r_i}	Valores de severidade observada em campo
Y_{s_i}	Valores de severidade estimados pelo modelo de regressão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 HIPÓTESE E OBJETIVOS	19
2.1 HIPÓTESE	19
2.2 OBJETIVO GERAL	19
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS E AGRONÔMICOS NA CULTURA DA SOJA	20
3.2 OÍDIO.....	21
3.3 FERRUGEM DA SOJA	23
3.4 FUNGICIDAS	27
3.4.1 Carboxamidas	27
3.4.2 Estrobilurina	28
3.4.3 Triazóis	29
3.4.4 Protetor e/ou Multissítio.....	30
3.5 MODELAGEM EPIDEMIOLÓGICA DAS DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA.....	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 LOCALIZAÇÃO, HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	33
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	38
4.3 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS FUNGICIDAS E MANUTENÇÕES	39
4.4 COLETA DE DADOS EM CAMPO E AVALIAÇÕES	41
4.4.1 Severidade.....	41
4.4.2 Eficiência de controle dos fungicidas	42
4.4.3 Produtividade da soja	43
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
4.5.1 Análise epidemiológica e ajuste das curvas de progresso das doenças por meio do modelo regressão não linear logístico.....	43
4.5.2 Relação entre severidade de Oídio e Ferrugem da soja na eficácia dos diferentes fungicidas	45
4.5.3 Análise estatística por meio dos modelos mistos para a eficiência dos fungicidas.....	45

4.5.4 Avaliação da Produtividade da Soja.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA E AJUSTE DE CURVAS DE PROGRESSO E SEVERIDADE DE DOENÇAS FOLIARES EM SOJA POR MEIO DO MODELO REGRESSÃO NÃO LINEAR LOGÍSTICO	47
5.1.1 Estimativa da severidade de Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>) ao longo do ciclo de cultivo da soja utilizando o modelo Logístico	47
5.1.2 Estimativa da severidade de Ferrugem da Soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) ao longo do ciclo de cultivo da soja utilizando o modelo Logístico.....	55
5.2 EFICÁCIA DOS FUNGICIDAS PARA CONTROLE DAS DOENÇAS FOLIARES NA CULTURA DA SOJA	61
5.3 EFEITO DA SEVERIDADE DE OÍDIO (<i>Microsphaera diffusa</i>) E FERRUGEM DA SOJA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) NA EFICÁCIA DOS FUNGICIDAS	67
5.4 PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DAS DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA, SAFRAS E APLICAÇÃO DE FUNGICIDA	72
6 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DA PESQUISA.....	93
ANEXO A – ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA SEVERIDADE DE OÍDIO DA SOJA (MICROSPHAERA DIFFUSA)	95
ANEXO B – ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA SEVERIDADE DE FERRUGEM DA SOJA (PHAKOPSORA PACHYRHIZI).....	96

1 INTRODUÇÃO

A possibilidade de semeadura da cultura da soja na região sul/leste em uma ampla janela colabora para menores riscos de concentração do desenvolvimento da cultura da soja quando há situações de estresses hídricos. Deste modo, a região apresenta médias de produtividades que se destacam em relação às demais áreas do estado.

Historicamente, as chuvas de verão e as temperaturas médias mais elevadas ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro, favorecendo as semeaduras de final de outubro e início de novembro, épocas consideradas as preferenciais para maiores produtividades.

Com o lançamento de novas cultivares de soja no mercado e práticas culturais de antecipação de semeadura, que permitem o cultivo de uma segunda safra durante o verão, os produtores obtêm produtividades mais elevadas para determinados grupos de maturação, quando comparados com a época preferencial. Estes resultados não limitam a semeadura da cultura da soja antecipadamente e permitem a programação de um amplo calendário de plantio.

Um fator de extrema importância nesta dinâmica de cultivo consiste em uma medida de controle conhecida como escape ou evasão da exposição da cultura durante a fase mais suscetível a doença conhecida como Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), a qual apresenta um desenvolvimento e evolução das epidemias com as condições de alta umidade e temperatura. Dessa maneira, devido a semeadura antecipada de algumas cultivares, o período mais quente e chuvoso coincidirá com a fase final do estágio reprodutivo da cultura, e, necessariamente os manejos programados estarão sendo realizados de modo preventivo, e com melhores resultados.

Como a cultura sofre com incidência de outras doenças, como o Oídio (*Microsphaeria difusa*), e que também apresentam riscos de perdas produtivas significativas, torna-se importante conhecer outras epidemias que poderiam ocorrer com a semeadura mais antecipada ao desenvolver-se sob temperaturas e umidade diferentes das épocas convencionais.

O estudo da população do hospedeiro e do patógeno são importantes para compreensão do desenvolvimento das doenças, e a consequência da interação destas duas geram a população de lesões ou de indivíduos doentes (ZADOKS; SCHEIN, 1979). A este estudo define-se como epidemiologia, que tem como essência uma ciência de campo.

De acordo com Amorim *et al.* (2016), o ambiente interfere no desenvolvimento do hospedeiro, do patógeno e das lesões, e este será um dos fatores que analisaremos denominando épocas de semeadura. O ambiente regula o desenvolvimento das epidemias, podendo ocorrer

ou não a doença, mesmo que exista a suscetibilidade do hospedeiro e a presença do patógeno. Há condições em que doenças altamente infecciosas podem não se manifestar sob condições desfavoráveis do ambiente.

A avaliação de eficiência de diferentes fungicidas pela quantificação periódica da severidade de doença em um determinado campo é um dos meios de estudo da epidemiologia de doenças (AMORIM *et al.*, 2016).

No âmbito deste estudo, foram empregados produtos pertencentes aos grupos químicos triazóis, estrobilurinas, carboxamidas e multissítios. A escolha desses fungicidas foi motivada pela diversidade de resultados que apresentam, variando conforme a doença em questão, sua incidência no momento da aplicação e as condições favoráveis para a evolução de cada epidemia. Esse conhecimento detalhado das particularidades de cada fungicida é essencial para sua recomendação adequada. Diante desse contexto, a indagação central desta pesquisa é: qual a eficácia de determinados fungicidas no controle das doenças da soja (oídio e ferrugem asiática) em diferentes épocas de semeadura?

Compartilhando da preocupação de Kajihara (2019) em relação a redução da eficácia de alguns fungicidas, a baixa perspectiva de novos lançamentos e poucas alternativas de cultivares de soja resistentes às doenças, o conhecimento de novas ferramentas de manejo que possibilitem o crescimento e a sustentabilidade da cultura da soja no Brasil se fazem necessárias. Além disto, Carmo *et al.* (2018) destacam que a época de cultivo influencia nas características morfológicas e nos componentes do rendimento da soja. Deste modo, justifica-se a realização deste estudo, tendo em vista a importância de avaliar a eficácia de fungicidas no controle de doenças da soja em diferentes épocas, buscando assim contribuir para a melhoria de produtividade e maximizar as aplicações de fungicidas.

Segundo Igarashi *et al.* (2010), ao investigar os prejuízos da infecção por Oídio em vários estágios fenológicos da soja, incluindo a redução da área foliar e, conseqüentemente, da qualidade dos grãos, constataram-se perdas de produtividade na cultivar Embrapa 48, variando de 26% a 50%.

Na cultura da soja, de acordo com as condições climáticas que se apresentem na safra, a importância econômica de cada doença é variável. Assim, doenças como: Oídio (*Microsphaera diffusa*), Mancha Parda (*Septoria glycines*), Ferrugem Asiática da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*), Crestamento de Cercospora (*Cercospora kikuchii*) e Mofo Branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) são exemplos de doenças que provocam perdas na ordem de 30 até 90% (HENNING *et al.*, 2014).

Diante do exposto, fica evidente que os fungicidas desempenham um papel fundamental na cadeia de produção agrícola. Quando os recursos de resistência genética são esgotados no controle ou minimização das perdas devido a doenças, esses produtos representam a opção mais eficaz e segura para a manutenção da produtividade. Atualmente, uma variedade de opções está disponível para os produtores agrícolas, incluindo alguns fungicidas registrados e recomendados para o manejo das principais doenças da soja, como o Prothioconazol, a Trifloxistrobina, o Benzovindiflupyr, a Azoxistrobina, o Fluxapyroxade, e outros, os quais serão mais bem descritos ao longo do trabalho.

2 HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESE

A semeadura da soja em setembro, outubro, novembro e dezembro pode influenciar na ocorrência e na severidade do Oídio e Ferrugem da Soja, bem como na eficácia dos distintos fungicidas utilizados no controle destas doenças.

2.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a epidemiologia e eficácia de fungicidas no controle de Oídio (*Microsphaeria diffusa*) e da Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da Soja em três safras consecutivas e quatro épocas de semeadura (setembro, outubro, novembro e dezembro) no município de Arapoti, no estado do Paraná (PR).

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Por meio do modelo Logístico, ajustar a curva epidemiológica do Oídio e Ferrugem Asiática da Soja durante o ciclo de cultivo da cultura, para as quatro épocas de semeadura, nas diferentes safras.
- b) Avaliar a eficácia dos fungicidas para o controle de Oídio e Ferrugem Asiática da Soja nas quatro épocas de semeadura.
- c) Modelar a relação da severidade de Oídio e Ferrugem Asiática da Soja na curva de eficácia dos fungicidas aplicados durante o ciclo de cultivo da soja.
- d) Mensurar a resposta das aplicações dos fungicidas na produtividade da soja nas quatro épocas de semeadura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS E AGRONÔMICOS NA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), classificada como uma planta herbácea da classe *Rosidae*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoidae*, é uma cultura diretamente influenciada por algumas exigências climáticas, tais como: temperatura, disponibilidade hídrica e fotoperíodo. A faixa ideal de temperatura do ar e do solo para o seu desenvolvimento varia entre 20 à 30° C para se obter uma germinação e emergência ideal. De outro lado, em temperaturas abaixo de 10° C o crescimento da cultura é nulo, e, acima de 40° C pode causar distúrbios fisiológicos na floração, afetando a retenção de vagens (SEIXAS *et al.*, 2020).

Na cultura da soja a água é considerada um elemento fundamental, pois constitui a estrutura morfológica da planta e está envolvida em todos os processos fisiológicos, como a atuação no transporte de minerais e a regulação osmótica (NEUMAIER *et al.*, 2020). Segundo Seixas *et al.* (2020), o volume total de água necessário para completar o ciclo da cultura varia de acordo com a cultivar, porém, pode atingir valores entre 450 a 800 mm por ciclo, em que as fases mais exigentes são durante as fases de germinação, floração e enchimento de grãos.

O fotoperíodo refere-se ao número de horas de luz por dia e é o que determina a mudança do estágio vegetativo para o reprodutivo na cultura da soja. Dessa maneira, a soja é classificada como uma planta de dia curto, ou seja, fotoperíodos críticos decrescentes aceleram o desenvolvimento (KUNZ *et al.*, 2014).

Para manter o potencial produtivo da soja, também se faz necessário o manejo de fatores bióticos indesejados durante o ciclo da cultura. Conforme as informações que constam no Manual de identificação de doenças em soja, podemos encontrar cerca de 34 agentes patogênicos, tais como fungos, bactérias, vírus e nematoides, que podem causar danos significativos, reduzindo o potencial produtivo da cultura (HENNING *et al.*, 2014). Dentre esses agentes, podemos citar principalmente o Oídio (*Microsphaera diffusa*) e a Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), que serão descritos a seguir e fazem parte do presente estudo.

3.2 OÍDIO

Conforme já mencionado, o Oídio se constitui como uma das principais doenças da soja e que pode incorrer em perdas produtivas. Na cultura da soja, esta doença é causada pelo fungo da classe dos Ascomicetos, *Microsphaera diffusa* Cooke & Peck, sendo uma das doenças mais antigas desta cultura. O primeiro registro desta doença foi realizado na Alemanha, em 1921. Após 10 anos, foi relatado também nos Estados Unidos (STADNIK; RIVERA, 2001). Esta doença está presente em todos os países produtores de soja, possui importância a nível mundial e apresenta níveis variados de danos, os quais são função da localidade, clima e manejo da cultura, bem como dos genótipos semeados (GRAU; HARTMAN, 1999).

No Brasil, a doença ganhou destaque a partir de 1996/97 (YORINORI, 1997), devido a condições favoráveis de um clima chuvoso e temperaturas amenas, afetando a soja na região Sul e Centro Oeste do país e disseminando-se em todas as regiões produtoras, resultando em perdas médias entre 26 a 50% (IGARASHI *et al.*, 2010).

Como sintomas típicos da referida doença, pode ser observada uma fina cobertura esbranquiçada e pulverulenta, a qual constitui-se de micélio e esporos do fungo. Esses, podem aparecer em pequenos pontos, ou então, cobrir toda a parte aérea da planta, sendo a folha o principal tecido afetado, tanto em sua porção abaxial, quanto adaxial. Além da folha, a doença pode ocorrer em pecíolos, hastes e vagens (GODOY *et al.*, 2022).

Por ser um parasita biotrófico obrigatório, ou seja, o fungo necessita de um hospedeiro vivo para a sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Contudo, o sintoma mais evidente vem a ser a própria estrutura (sinal) branca e pulverulenta do fungo sobre a superfície das partes infectadas. O desenvolvimento da infecção afeta significativamente a fotossíntese e inibe substancialmente a transpiração (CATELLI, 2009).

A ocorrência da doença é favorecida por temperaturas amenas, que variam entre 16 e 24°C, além de baixa umidade do ar. Porém, a incidência de temperaturas acima de 30°C inibe o desenvolvimento da doença (HARTMAN *et al.*, 2016). A disseminação ocorre pelo vento, a longas distâncias, além deste, a água pode atuar como agente de propagação, principalmente na forma de respingos (AMORIM *et al.*, 2016). A infecção pode ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, sendo mais visível no início da floração (IGARASHI *et al.*, 2010). Na ocorrência de infecção severa nas hastes e pecíolos, a colonização das células da epiderme das hastes impede a expansão do tecido cortical e, simultaneamente, causa engrossamento do lenho, rachadura das hastes e cicatrizes superficiais (YORINORI, 1997).

O esporo (conídio ou ascósporo) do fungo, ao cair na superfície da folha, germina e dá origem ao tubo germinativo, que em sua extremidade forma o apressório, estrutura responsável por produzir hifas, as quais penetram nas células epidérmicas. Uma vez no interior da célula, a hifa dilata ou ramifica, formando uma estrutura chamada haustórios, que mantem relação com citoplasma e nutre-se do conteúdo da célula. Na superfície da planta forma-se uma fina camada de micélio e esporos (conídios) pulverulentos, que inicialmente se apresentam como pequenos pontos brancos, podendo cobrir toda a parte aérea da planta, sendo menos frequente nas vagens (AMORIM *et al.*, 2016).

Nas folhas, com o passar dos dias a coloração branca do fungo muda para a cor castanho-acinzentada, dando a aparência de uma cobertura de sujeira nas duas faces da folha. Sob condição de infecção severa, a cobertura de micélio e a frutificação do fungo impedem a fotossíntese e as folhas secam e caem prematuramente, dando à lavoura a aparência de soja dessecada por herbicida, ficando com coloração de castanho-acinzentada a bronzeada (YORINORI, 1997).

De acordo com Xavier *et al.* (2015), a incidência de Oídio raramente mata a planta atacada, contudo, utiliza seus nutrientes, reduz a fotossíntese, aumenta a respiração e a transpiração, prejudica o crescimento e reduz os rendimentos entre 20 a 40%.

Segundo Igarashi *et al.* (2010), a diminuição da produção da cultura da soja quando ocorre alta incidência de Oídio deve-se ao estresse causado à planta pelo ataque do fungo, visto que, as folhas infectadas consomem mais do que exportam solutos orgânicos e inorgânicos em relação as folhas saudáveis. Além disso, durante a produção de esporos ocorre um estresse adicional sobre toda a planta devido a maior perda de água pelos tecidos atacados.

Estudos realizados em casa de vegetação avaliando o efeito da temperatura no desenvolvimento do Oídio mostraram que, quanto mais baixa a temperatura, maior é a velocidade e a severidade da infecção por esta doença, sendo que a temperatura mais favorável foi de 18°C (MIGNUCCI; LIM; HEPPELRY, 1977). Estes resultados corroboram com os trabalhos de Grau e Laurence (1975), nos quais observaram que as temperaturas mais elevadas, a nível de campo, retardaram o aparecimento e diminuíram a severidade de Oídio na cultura da soja.

Segundo Gabardo (2018), a época de semeadura referente a dezembro relatou uma média da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), superior em relação a semeadura de outubro, devido a menor pressão de inóculo presente na semeadura antecipada.

Em relação ao controle de Oídio, umas das ferramentas de menor custo é a utilização de cultivares que apresentam resistência, contudo, tais cultivares podem não estar disponíveis em algumas regiões, além de não apresentarem potencial produtivo desejável. Sendo assim, o controle químico acaba sendo a maneira de controle de doença mais utilizada.

Toigo *et al.* (2008) demonstraram que a utilização de fungicidas foram eficientes para o controle do Oídio e se diferiram estatisticamente da testemunha (sem aplicação de fungicidas), sendo estes aplicados no estágio R1 (início de florescimento) da cultura. Os tratamentos que se destacaram foram flutriafol + tiofanato metílico ($0,50 \text{ L ha}^{-1}$), trifloxistrobina + tebuconazole ($0,40 \text{ L ha}^{-1}$) e trifloxistrobina + ciproconazole ($0,30 \text{ L ha}^{-1}$), que apresentaram um controle da doença de 85,8%, 82,1% e 90,3% respectivamente e tiveram acréscimo na produção de grãos entre 33% e 51% em relação à testemunha. Tais resultados são similares com os obtidos pelos trabalhos de Blum *et al.* (2002), nos quais o controle químico foi eficiente contra Oídio e apresentaram incremento na produtividade, sendo que a mistura entre tebuconazol (75 g ha^{-1}) + procloraz (225 g ha^{-1}) e o propiconazol (75 g ha^{-1}) apresentaram os maiores índices de controle e de incremento de produtividade.

O trabalho de Utiamada *et al.* (1999) no município de Rolândia (PR) demonstrou que o difenoconazol e a mistura de propiconazol com difenoconazol apresentaram resultados superiores aos demais tratamentos. Sawada e Azevedo (1997) relatam eficiência de propiconazol e da mistura propiconazol + difenoconazol no controle de Oídio em Cascavel (PR).

Em experimentos conduzidos por Furtado, Dorneles e Dallagnol (2020), a aplicação de fungicida a base de trifloxistrobina + protioconazol ($0,40 \text{ L ha}^{-1}$) reduziu a esporulação do Oídio em 89% quando comparado com o controle, atuando como protetor e curativo.

Dessa maneira, fica perceptível a influência que as condições climáticas exercem em relação as diferentes épocas de semeadura de acordo com a favorabilidade ao patógeno, bem como, há diferentes estratégias de posicionamento de ingredientes ativos que são eficientes para o controle da doença.

3.3 FERRUGEM DA SOJA

A Ferrugem da Soja tem como agente causal o patógeno *Phakopsora pachyrhizi* (SYDOW; SYDOW, 1914), pertencente ao filo *Basidiomycota*, classe *Pucciniomycetes*, ordem *Pucciniales* e família *Phakopsoraceae* (AMORIM *et al.*, 2016). Classificado como um fungo

biotrófico, tem o território brasileiro como um ambiente propício ao seu desenvolvimento, tendo em vista a presença de soja perene ao redor de lavouras e a ausência de inverno rigoroso, que possibilita a manutenção dessas plantas. Além disso, os países vizinhos cultivam soja e são fonte de inóculo através de correntes de ar.

O primeiro relato de Ferrugem da Soja ocorreu na China e sua primeira detecção no Brasil foi entre 26 e 28 de maio de 2001, no Oeste e Norte do Paraná (Londrina), em sojas guaxa e lavouras de safrinha (JACCOUD FILHO *et al.*, 2001; YORINORI; NUNES JÚNIOR; LAZZAROTTO, 2004).

Os sintomas iniciais correspondem à pequenas lesões foliares na parte abaxial das folhas, no terço inferior da planta, de coloração mais escura que o tecido sadio da folha, verde acinzentada à castanha, posteriormente surgem protuberâncias na face abaxial (GODOY *et al.*, 2016). O hábito biotrófico do patógeno torna difícil a visualização da doença no início da infecção, pois as células infectadas morrem somente após ter ocorrido abundante esporulação. Após, as lesões adquirem coloração característica, castanho avermelhada, no momento da esporulação, disseminando os esporos, chamados de uredósporos (TSUMANUMA, 2009).

A disseminação dos uredósporos, pequenos esporos assexuais, pode ocorrer por anemocoria, hidrocoria e zoocoria, ocorrendo principalmente pelo vento, podendo alcançar longas e curtas distâncias, não podendo ser transmitido por semente. A água tem um papel importante na transmissão de esporos entre plantas, através de respingos (AMORIM *et al.*, 2016).

O processo de infecção na superfície da folha necessita de algumas condições específicas, como temperaturas entre 15 e 28°C e longo período de molhamento foliar (BLUM, 2009; MOURA, 2015). De acordo com pesquisa publicada por Tsukahara, Hikishima e Canteri (2008), o fungo germinou entre as temperaturas de 7° e 28°C, com faixa ótima de 15° a 25°C e as infecções ocorrem em intervalo de temperatura ótima entre 20°C e 25°C e 6 horas de molhamento foliar, sendo que, as infecções máximas ocorreram com 10 a 12 horas de molhamento.

Diante de condições favoráveis, já citadas anteriormente, os uredósporos germinam, produzindo um tubo germinativo que, posteriormente, aumenta de volume, formando um apressório, o qual se desenvolve sobre a parede celular anticlinal. Assim, a hifa penetra transversalmente a parede da célula, atingindo o espaço intercelular do parênquima palissádico, onde forma o primeiro septo. Após, há a formação do haustório, responsável por manter a nutrição do fungo. Nove dias após a inoculação, a agregação de hifas forma o primeiro

primórdio uredial. De três a quatro dias mais tarde, a urédia formada no mesófilo realiza a esporulação na face abaxial da folha (REIS *et al.*, 2017). Segundo Reis *et al.* (2017), alguns estudos apontam que uma única lesão, durante o período de 36 dias, produz em média um total de 12.646 uredósporos.

Em relação aos métodos de controle, atualmente o controle químico é o mais utilizado. A utilização de cultivares resistentes seria o método mais viável, mas, devido à alta variabilidade genética do fungo à resistência do material, quebra-se facilmente. Dessa maneira, a realização do vazão sanitário (eliminando plantas voluntárias de soja guaxa ou perene na entressafra), e a semeadura preferencialmente no início da época recomendada com cultivares precoces se torna uma forma de escapar do potencial inóculo da Ferrugem (YORINORI *et al.*, 2005).

O manejo químico deve ser de forma preventiva, com duas a três aplicações em média que se iniciam a partir do florescimento, principalmente em anos cujas condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento da doença, ou no aparecimento dos primeiros sintomas (pústulas) nas folhas da soja, optando por produtos com maior eficiência de controle (EMBRAPA, 2023). Aplicações curativas, que ocorrem após o aparecimento de doenças, podem comprometer a eficácia dos fungicidas, devido ao fato de serem realizadas depois de o patógeno gerar um estresse metabólico na planta (AMORIM *et al.*, 2016). De acordo com os trabalhos apresentados na reunião de pesquisa de soja (MARTIN *et al.*, 2022), quando a doença surge na cultura nos estádios R6 ou R7, ou seja, quando está ocorrendo a mudança de coloração das vagens, chegando ao estágio de maturação, não se recomenda a aplicação de produtos químicos tendo em vista a relação custo-benefício para este momento de aplicação.

Os fungicidas sítio-específicos registrados para o controle da Ferrugem atuam de forma individual a uma determinada enzima ou metabolismo do patógeno, tendo como principais inibidores três modos de ação principais: 1) os inibidores da desmetilação (IDM, “triazóis”); 2) os inibidores da quinona externa (IQe, “estrobilurinas”); e, 3) os fungicidas ISDH (“carboxamida”). Há também a opção dos multisítios, sendo mais eficientes e de baixo risco a resistência devido afetar vários pontos metabólicos do patógeno (GODOY *et al.*, 2009).

A partir da safra 2013/14 uma redução de eficiência foi observada para a estrobilurina isolada nos ensaios cooperativos (GODOY *et al.*, 2017). Na safra 2016/17 alguns fungicidas a base de carboxamidas apresentaram redução de eficiência nos ensaios cooperativos em relação aos resultados da safra anterior em regiões específicas (GODOY *et al.*, 2016).

Desse modo, deve ser priorizada a utilização de misturas comerciais de fungicidas contendo dois ou mais modos de ação e a associação com fungicidas multissítios. O Consórcio Anti-Ferrugem¹ e a Embrapa alertam para a necessidade de adoção de todas as medidas possíveis que possam atrasar o processo de seleção de resistência (GODOY *et al.*, 2017).

Segundo trabalhos de Garcés-Fiallos e Forcelini (2013), realizados em Passo Fundo (RS), a mistura de triazol (25 g ha⁻¹) + estrobilurina (66,5 g ha⁻¹) apresentou maior eficiência no controle da Ferrugem da soja quando comparado com a aplicação de triazol isolado (100 g ha⁻¹), o que vai de encontro com o trabalho de Silva Junior *et al.* (2009).

Silva *et al.* (2020) concluem que os melhores tratamentos de seus experimentos que continham as formulações Piraclostrobina (100 g ha⁻¹) + Fluxapiroxade (50 g ha⁻¹) ou protioconazol (70 g ha⁻¹) + trifloxistrobina (60 g ha⁻¹) em pelo menos uma das aplicações obtiveram maior eficiência para o controle da Ferrugem Asiática da soja.

Godoy *et al.* (2020a) ao apresentar os resultados sumarizados dos experimentos cooperativos, os fungicidas sistêmicos que foram associados ao clorotalonil, e ao fungicida multissítio, apresentaram as menores severidades de Ferrugem Asiática, comprovando que a mistura de fungicidas sistêmicos com multissítios (protetores) têm interação positiva, e, além de melhorar o controle da doença, apresenta risco mínimo de desenvolvimento de resistência por parte do fungo.

Em trabalhos realizados por Eggers *et al.* (2020), a utilização dos fungicidas contendo Azoxistrobina (60 g ha⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g ha⁻¹) e trifloxistrobina (60 g ha⁻¹) + protioconazol (70 g ha⁻¹) foram as que apresentaram os melhores controles da doença e, consequentemente, os maiores valores de produtividade. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Netto (2018), nos quais a mistura de trifloxistrobina (60 g ha⁻¹) + protioconazol (70 g ha⁻¹) com mancozebe (1.125 g ha⁻¹) foi a que apresentou os melhores controles da doença e os maiores valores de produtividade, aliando também a questão de diminuir a chance de o fungo desenvolver resistência pela utilização de fungicida multissítio, como é o caso do mancozebe.

¹ O Consórcio Anti-Ferrugem conta com aproximadamente 100 laboratórios cadastrados em todo o Brasil, capacitados para identificar a ferrugem-asiática da soja. Além disso, fazem parte dele cerca de 60 pesquisadores de instituições públicas e privadas, distribuídos em todas as regiões brasileiras com o intuito de monitorar o problema e gerar informação atualizada sobre a doença (EMBRAPA SOJA, s/d).

3.4 FUNGICIDAS

O controle químico por meio do uso de fungicidas apresenta, na maioria das vezes, a medida mais eficiente e economicamente viável para garantir produtividade e qualidade de produção (KALOGIANNIDIS *et al.*, 2022).

Na safra 1996/97 iniciou-se os estudos com fungicidas para controle de doenças na cultura da soja após a ocorrência de surtos epidêmicos de Oídio. Na sequência, o aumento de Doenças de Final de Ciclo demandou o registro de produtos. Posteriormente, com o surgimento da Ferrugem Asiática no Brasil, em 2001, intensificou-se o uso devido ao fato de ser a única ferramenta que evitava perdas consideráveis pela doença (GODOY *et al.*, 2007).

Considerando os produtos formulados registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento para a cultura da soja, existem, aproximadamente, 461 fungicidas. Porém, apesar do número elevado de possibilidades para o controle de doenças, grande percentual destes concentram-se em quatro grupos químicos: carboxamidas, estrobilurinas, triazóis e triazolintiona, bem como, protetor e/ou multissítio.

O modo de ação desses produtos no ciclo biológico dos patógenos são devido às características físico-químicas e biológicas (AZEVEDO, 2001), conforme descrito nas seções seguintes.

3.4.1 Carboxamidas

As moléculas pertencentes ao grupo dos Inibidores da Succinato Desidrogenase (ISDHs) foram descobertas há mais de 60 anos, sendo relatados os primeiros ingredientes ativos a carboxina e oxicarboxina, ativos que apresentam sistemicidade e muito utilizados em tratamento de sementes para controle de fungos basidiomicetos (Carvões, Rhizoctonia) (SILVA, 2017). Devido ao surgimento de moléculas como triazóis e estrobilurinas, essas moléculas perderam importância. Somente com o surgimento da boscalida, em 2003, fez com que o grupo retomasse sua representatividade entre os fungicidas (UEBEL, 2015).

As carboxamidas pertencem ao grupo C, subgrupo C2 – Complexo II: succinato desidrogenase, do modo de ação de acordo com a classificação do Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas (FRAC²), em que o mecanismo de ação compreende a ligação da molécula do

² O FRAC é um órgão que tem origem no Comitê de Agricultura e Meio Ambiente e na Federação Global de Proteção de Plantas e é chamado de FRAC-Central. É reconhecido como um organismo consultor pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e pela Organização Mundial de Saúde

fungicida à enzima succinato desidrogenase, inibindo o transporte de elétrons no Complexo II da cadeia respiratória do fungo e, conseqüentemente, impede a oxidação de succinato para fumarato, e a produção de ATP. O principal local de ação das carboxamidas ocorre na proteína CII-3, em que a inibição da produção de ATP ocasiona déficit de energia e morte do patógeno (SIEROTZK; SCALLIET, 2013; SIMÕES *et al.*, 2017).

Atualmente, nesse grupo contamos poucas opções de ingredientes ativos registrados para controle de Ferrugem da soja. Dentre essas opções, encontram-se três representantes: o fluxapiroxade, o benzovindiflupir e o bixafen (GOTARDI, 2022). Devido ao amplo espectro de ação dessas moléculas, sua utilização excessiva tem favorecido o desenvolvimento de resistência em diferentes patógenos (REIS, 2022).

Ao avaliar o desempenho de diferentes combinações de fungicidas para o manejo de doenças na cultura da soja, Silva (2018) afirma que no início da fase reprodutiva da cultura as misturas entre os ingredientes ativos benzovindiflupir (carboxamida – 30 g ha⁻¹) + azoxistrobina (estrobilurina – 60 g ha⁻¹) apresentaram maior eficácia quando comparadas com tratamentos estrobilurinas + triazóis, ficando evidente, segundo o referido autor, o desenvolvimento de resistência dos patógenos em relação a esse grupo.

Em contrapartida, Gotardi (2022) ao avaliar em laboratório a eficácia de fungicidas a base de triazol, triazololintiona, estrobilurina e carboxamida isolados para controle de Ferrugem Asiática, apenas o ingrediente ativo benzovindiflupir apresentou controle satisfatório da doença, acima de 70%, entre os ativos do grupo das carboxamidas testados (benzovindiflupir, bixafen e fluxapiroxade).

3.4.2 Estrobilurina

A estrobilurina é uma das classes mais importantes de fungicidas agrícolas. Essa molécula é proveniente de substâncias naturais isoladas de fungos, principalmente basidiomicetos, sendo o primeiro isolado, do fungo *Strobilurus tenacellus*, a Estrobilurina-A (BALBA, 2007). A primeira estrobilurina introduzida no mercado em 1996 foi a Azoxistrobina, apresentando uma ampla gama de alvos em diferentes culturas (BARTLETT *et al.*, 2002).

O modo de ação dos fungicidas desse grupo atua na respiração celular do fungo. Pertencente ao grupo C, subgrupo C3 – Complexo III: citocromo bc1, de acordo com a

das Nações Unidas. No Brasil, o FRAC foi constituído em 1999 e ainda se encontra em fase de estruturação de seus grupos de trabalho (FRAC, s/d).

classificação do FRAC. Essas moléculas interferem a respiração mitocondrial do fungo através da ligação ao sítio específico Qo (Quinona oxidase), causando assim o bloqueio da transferência de elétrons entre o citocromo b e o citocromo c1, diminuindo, por consequência, a produção de ATP pela mitocôndria, resultando na morte do fungo. Essas moléculas apresentam uma atuação inibitória sobre a germinação de esporos e desenvolvimento do fungo, resultando em uma ação curativa e erradicante sobre o patógeno nos estágios iniciais de pós germinação (REIS *et al.*, 2007; GOTARDI, 2022). Essas moléculas desse grupo apresentam um amplo espectro de ação, com absorção foliar gradual e difusão translaminar, agindo contra várias espécies de fungos. Os principais ingredientes ativos representantes são azoxistrobina, kresoximetil, trifloxistrobina, picoxistrobina, piraclostrobina e metominostrobin (MOURA, 2013).

Segundo Reis, Carregal e Zanatta (2019), ao comparar a aplicação de estrobilurinas isoladas em doses variadas (azoxistrobina, piraclostrobina, picoxistrobina e trifloxistrobina) e em associação com triazóis para controle de Ferrugem Asiática da soja, relatam porcentagens de controle das doenças inferiores a 20% para os ativos azoxistrobina e piraclostrobina isolados, e média de 54,35% e 64,46% de controle para picoxistrobina e trifloxistrobina, respectivamente. Vale ressaltar que todas as estrobilurinas em mistura [Azoxistrobina (60 g ha^{-1}) + Ciproconazol (24 g ha^{-1}), piraclostrobina (100 g ha^{-1}) + fluxapiroxade (50 g ha^{-1}), picoxistrobina (60 g ha^{-1}) + Ciproconazol (24 g ha^{-1}), trifloxistrobina (80 g ha^{-1}) + Protiocanazol (93 g ha^{-1})] resultaram em um ganho significativo em controle da doença, atingindo valores próximos a 80% para trifloxistrobina (80 g ha^{-1}) + Protiocanazol (93 g ha^{-1}).

3.4.3 Triazóis

Os triazóis, desenvolvidos em 1960, foram os primeiros fungicidas sistêmicos utilizados para controle de Ferrugem Asiática na cultura da soja. São pertencentes ao grupo G – Biossíntese de esteróis em membranas, de acordo com a classificação do FRAC. Essa molécula age inibindo a desmetilação catalisada pelo citocromo P-450 (enzima esterol-C14 desmetilase), afetando a biossíntese de ergosterol (HEWITT, 1998; LYR, 1995; SILVA, 2017).

O ergosterol é o principal lipídeo que compõe a membrana celular dos fungos, sendo essencial para a sua integridade, sendo o precursor do lanosterol. A redução de ergosterol acarreta o rompimento da membrana e o extravasamento de solutos iônicos (ZAMBOLIM; VENÂNCIO; OLIVEIRA, 2007). Apresentam baixo poder de inibição de germinação de esporos do fungo, dessa maneira, quando aplicados de maneira curativa, entram em contato

com hifas nos espaços intercelulares das folhas, impedindo que ramifiquem e causem destruição das células (RODRIGUES, 2006; FRAC, 2023). Os principais ingredientes ativos nesse grupo para manejo da cultura da soja são: ciproconazol, tebuconazol, flutriafol, epoxiconazol, tetraconazol, metconazol, difenaconazol, propiconazol e protioconazol (MOURA, 2013).

Goulart (2022) testou a eficiência de triazóis isolados no manejo da Ferrugem Asiática da soja, incluindo ciproconazol (70 g ha⁻¹), tebuconazol (70 g ha⁻¹), protioconazol (70 g ha⁻¹), difenoconazol (70 g ha⁻¹) e tetraconazol (70 g ha⁻¹), em comparação com a mistura comercial de protioconazol (70 g ha⁻¹) + Trifloxistrobina (60 g ha⁻¹). Os resultados revelaram que, entre os triazóis, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas, com índices de controle de 63,3% para protioconazol, 61,8% para tetraconazol, 55,0% para ciproconazol, 47,0% para tebuconazol e 45,6% para difenoconazol. O tratamento contendo a mistura entre protioconazol + trifloxistrobina apresentou um controle de 83,5%, demonstrando uma eficácia estatisticamente superior em comparação com todos os triazóis isolados, o que ressalta a importância de utilizar misturas de ingredientes ativos para o manejo da Ferrugem Asiática. Essa abordagem visa não apenas maximizar a eficácia no controle do patógeno, mas também evitar o desenvolvimento de resistência do fungo em relação aos ingredientes ativos, proporcionando uma estratégia mais abrangente e sustentável.

3.4.4 Protetor e/ou Multissítio

Alguns dos mais antigos fungicidas pertencem a classe dos protetores ou multissítio. As moléculas compreendem desde inorgânicos mais simples, até estruturas mais complexas (FRAC, 2023). Esses produtos são inibidores inespecíficos de reações bioquímicas, afetando diversos processos vitais. Portanto, não podem penetrar e agir sistemicamente na planta, pois seriam fitotóxicos (GHINI; KIMATI, 2002). Os mesmos agem formando uma barreira protetora superficial à infecção (FRAC, 2023). Atualmente, para o manejo da cultura da soja, os principais produtos utilizados são a base de mancozebe, clorotalonil e oxicleto de cobre.

A molécula de mancozebe, utilizada no presente estudo, faz parte do grupo dos ditiocarbamatos, subgrupo etileno-bis-ditiocarbamato, derivados de ácido carbâmico, a qual foi sintetizada pela primeira vez em 1920 (RODRIGUES, 2006). De modo geral, essa molécula reage com enzimas sulfidrílicas, os quais fazem parte da respiração, aminoácidos e enzimas fúngicas, bloqueando a produção de adenosina trifosfato, causando a morte do patógeno (SOUZA, 2017).

A importância da utilização de fungicidas multissítios se justifica devido apresentar modo de ação não específico, dificultando assim o desenvolvimento de resistência de um fungo sobre a molécula. Fica evidente, segundo trabalho de Godoy *et al.* (2023), a contribuição positiva que os fungicidas multissítios exercem quando misturados a fungicidas de sítio específico, tanto para controle de Ferrugem Asiática, quanto para o incremento de produtividade da cultura da soja. Os mesmos resultados são encontrados por Schoffel *et al.* (2023), em que a mistura de trifloxistrobina (60 g ha^{-1}) + protioconazol (70 g ha^{-1}) de maneira isolada apresentou maiores severidades de Ferrugem quando comparada com a mesma mistura, porém, com a adição de um multissítio, seja ele mancozebe, clorotalonil ou oxiclureto de cobre.

3.5 MODELAGEM EPIDEMIOLÓGICA DAS DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA

A epidemia de doenças de plantas pode ser compreendida como uma mudança na intensidade da doença na população do hospedeiro no tempo e/ou no espaço (BERGAMIN FILHO, 2004). Em muitas situações, o componente espacial não é explicitamente considerado e o foco do estudo recai sobre a mudança na intensidade da doença com o tempo. Geralmente, a quantificação da epidemia é feita através da curva de progresso da doença, dada por um gráfico da intensidade da doença como variável resposta, e o tempo como variável explicativa (BOCK *et al.*, 2020).

A partir dessa curva pode-se resumir o efeito das interações entre hospedeiro, patógeno e fatores ambientais (físicos e biológicos) sobre o desenvolvimento da doença (VAN DER PLANK, 1963). A curva de progresso da doença expressa a relação fundamental entre intensidade de doença e tempo, mas outras relações incluem intensidade de doença e distância da fonte de inóculo, perdas no rendimento em função da intensidade da doença no campo ou intensidade em função do nível de controle (GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ *et al.*, 2020).

A quantificação do progresso da doença é desejável por várias razões, incluindo determinar se duas ou mais epidemias são diferentes em algum sentido e avaliar o efeito de tratamentos na maior (ou menor) intensidade da doença ou na sua taxa de mudança. A compreensão destes fatores pode ser usada para prever a quantidade de doença em um momento particular do tempo, quantificar o efeito de estratégias de controle ou desenvolver uma base teórica para determinar se uma epidemia ocorrerá e, no caso de ocorrência, identificar fatores que afetam a magnitude da taxa de incremento e a sua intensidade final (MADDEN, 1980; MADDEN; HUGHES; VAN DEN BOSCH, 2007; VAN DER PLANK, 1963).

Os modelos matemáticos e a análise estatística dos dados são fundamentos metodológicos para a compreensão da epidemia e, como resultado, utiliza-se todo o conhecimento adquirido no controle da doença (MADDEN, 2006; SCHERM; OJIAMBO, 2004). Modelos são representações simplificadas de um sistema e, por isso, quanto e como simplificar depende, dentre outros fatores, do objetivo que se espera alcançar com o modelo. Na construção do modelo considera-se somente os elementos essenciais para que o objetivo seja alcançado. Desta forma, para qualquer fenômeno ou processo nunca se conseguirá uma completa descrição ou compreensão da realidade (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2001; MADDEN; HUGHES; VAN DEN BOSCH, 2007).

A Ferrugem Asiática e o Oídio da soja, por serem doenças policíclicas, respondem de forma não linear a fatores como temperatura e umidade relativa do ar. Dessa maneira, modelos matemáticos não lineares (exponenciais) (Modelo Logístico) são mais recomendados para representação do progresso da doença. Através desses modelos é possível inferir a taxa (velocidade) de crescimento da curva, pontos de inflexão, aceleração e desaceleração ao longo do tempo (ESCOBAR, 2022).

As primeiras considerações relacionadas ao modelo logístico no ramo epidemiológico foram idealizadas por Van Der Plank (1963). Atualmente, ainda é o modelo mais utilizado para descrever o progresso de epidemias por considerar a quantidade de tecido sadio e infectado existente na planta. Gráficamente, o modelo logístico é representado por um formato em “S” característico, com ponto de inflexão quando $x = 0,5$. Nesse contexto, ao observar que x é sempre expresso pela proporção da doença e nunca como valor absoluto.

A modelagem epidemiológica das doenças na cultura da soja envolve o uso de modelos matemáticos e estatísticos para entender e prever a propagação de doenças que afetam as plantas de soja. Esses modelos são importantes ferramentas para os pesquisadores, agrônomos e produtores, pois ajudam a tomar decisões informadas sobre o manejo das doenças e a implementação de estratégias de controle (DEL PONTE *et al.*, 2006b).

4 MATERIAL E MÉTODOS

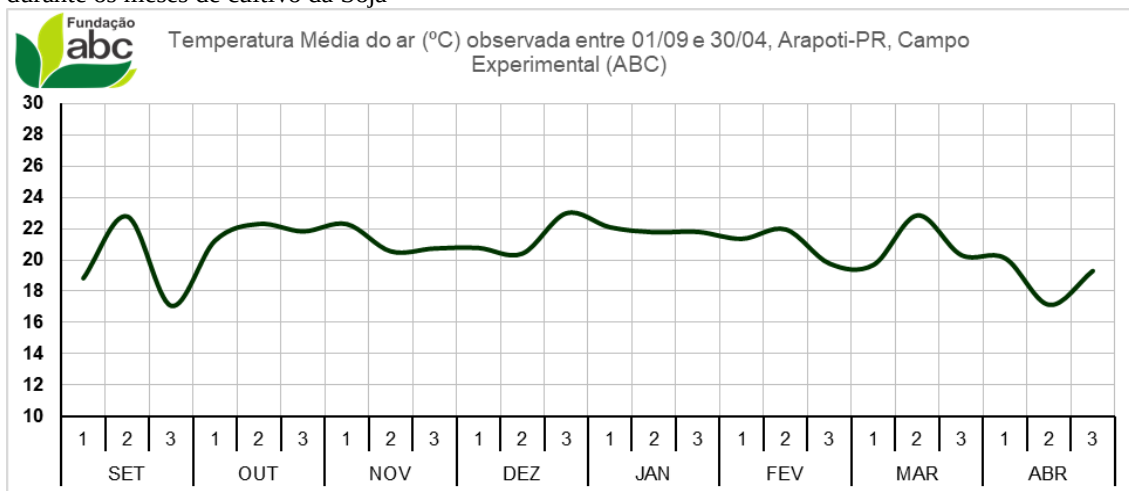
4.1 LOCALIZAÇÃO, HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os ensaios foram implantados no Campo Demonstrativo Experimental da Fundação ABC, situado no município de Arapoti (PR), cujas coordenadas geográficas são 24° 11' 42" de latitude sul e 49° 52' 42" de longitude oeste. Este campo encontra-se a uma altitude de 863 metros, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, de caráter álico, com textura média, sendo cultivado em sucessão trigo/soja.

Quanto à classificação climática, o ambiente corresponde ao clima de transição Cfa/Cfb, caracterizado como subtropical e temperado, conforme a classificação de Köppen-Geiger. Destaca-se a presença de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com uma temperatura média anual de 18,81 °C e precipitação média anual de 1624 mm.

As Figuras 1 a 12 retratam os dados meteorológicos observados no campo experimental de Arapoti durante o período de estudo, fornecendo detalhes específicos acerca da temperatura média, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluvial em uma escala decendial referentes às safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. Tais registros foram obtidos por intermédio de uma estação meteorológica automática iMETOS, fabricada pela renomada marca *Pessl Instruments*, estrategicamente instalada no campo experimental.

Figura 1 - Dados de temperatura média observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja



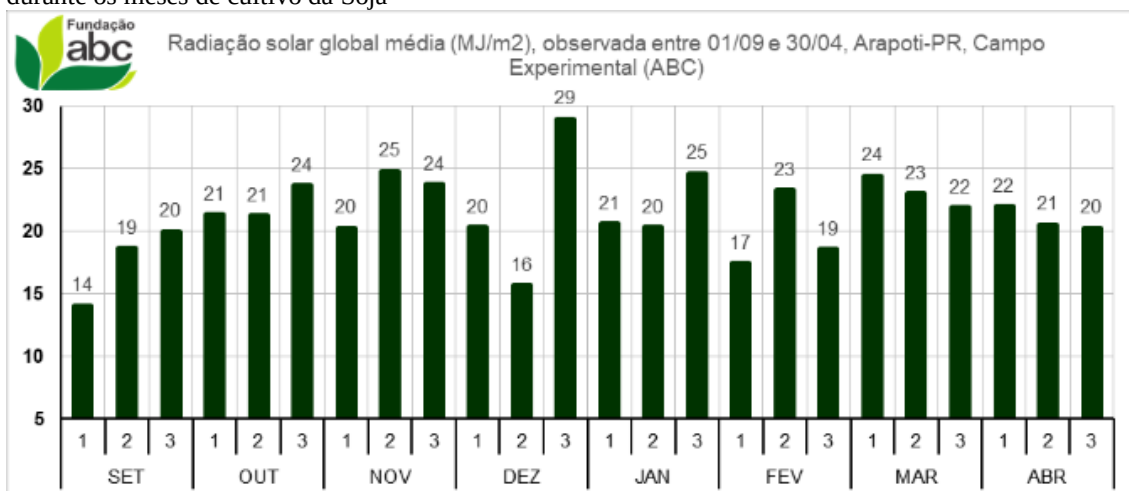
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 2 - Dados de umidade relativa do ar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja



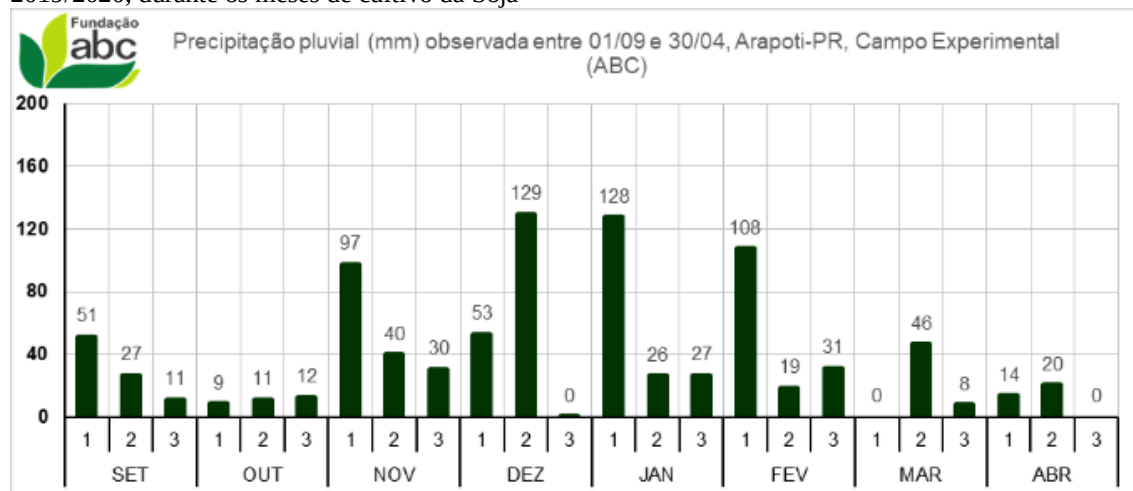
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 3 - Dados de radiação solar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja



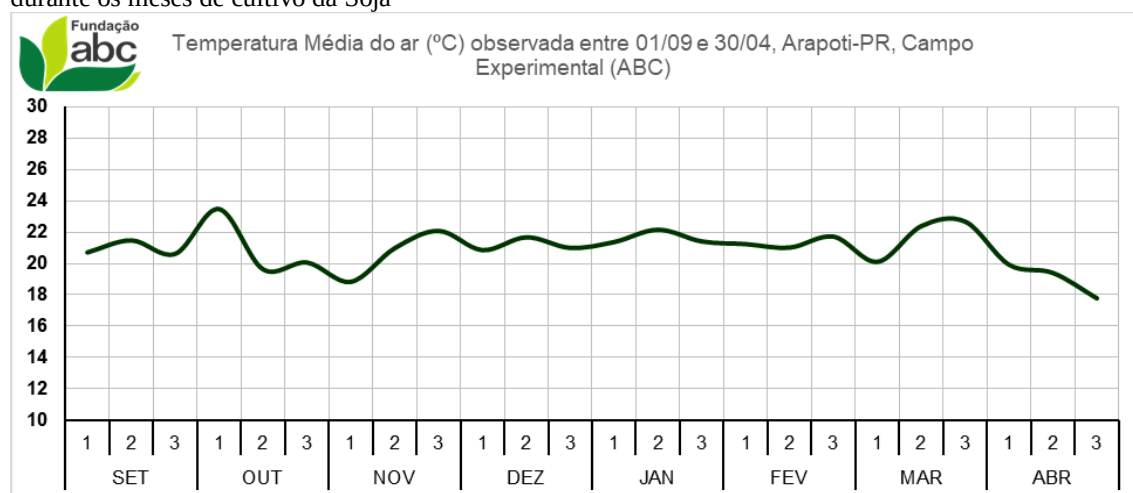
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 4 - Dados de precipitação pluvial observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2019/2020, durante os meses de cultivo da Soja



Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 5 - Dados de temperatura média observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja



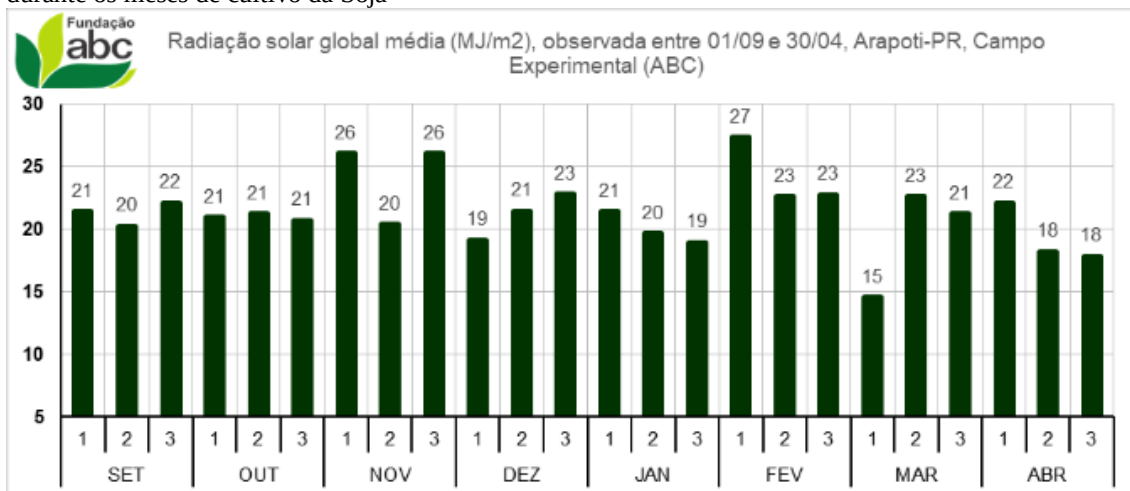
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 6 - Dados de umidade relativa do ar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja



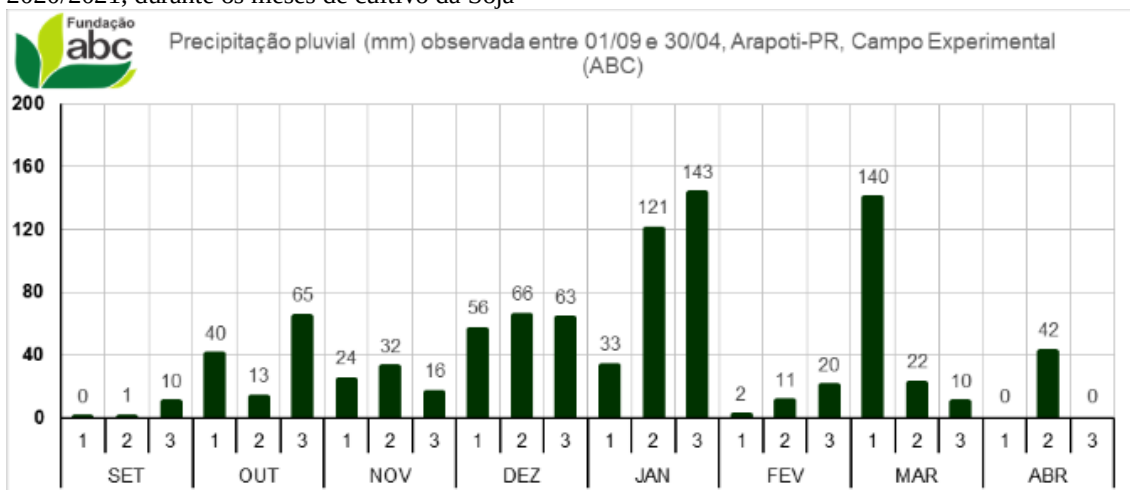
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 7 - Dados de radiação solar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja



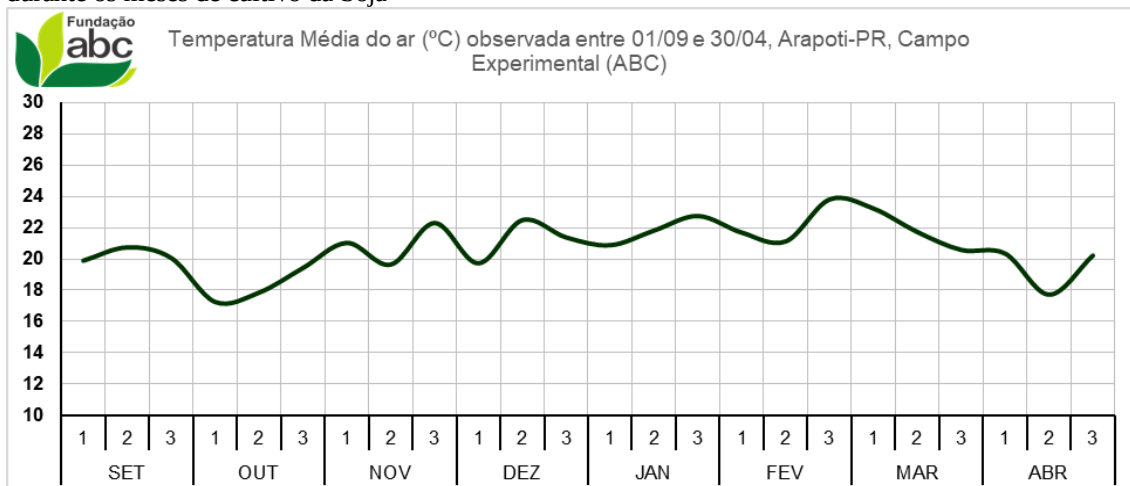
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 8 - Dados de precipitação pluvial observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2020/2021, durante os meses de cultivo da Soja



Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 9 - Dados de temperatura média observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja



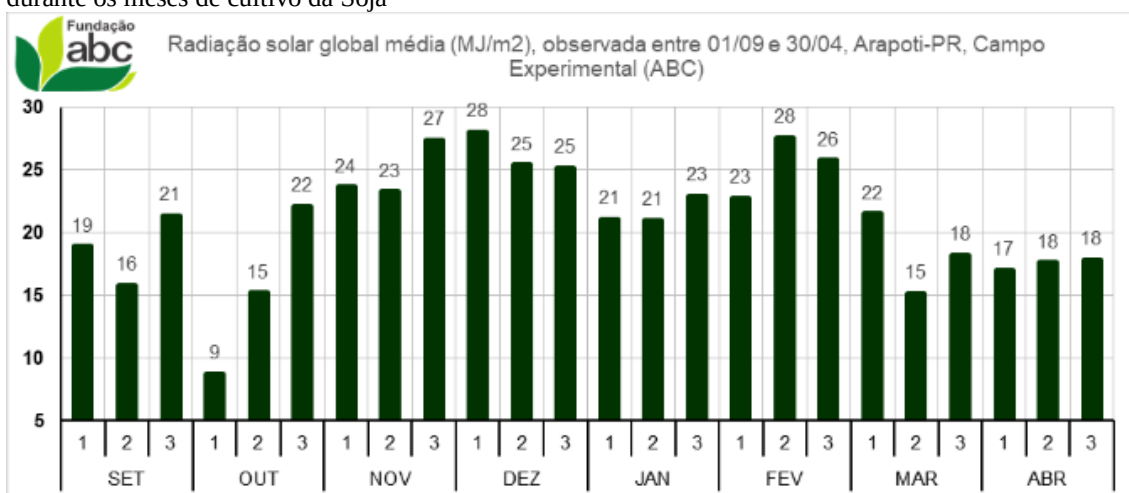
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 10 - Dados de umidade relativa do ar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja



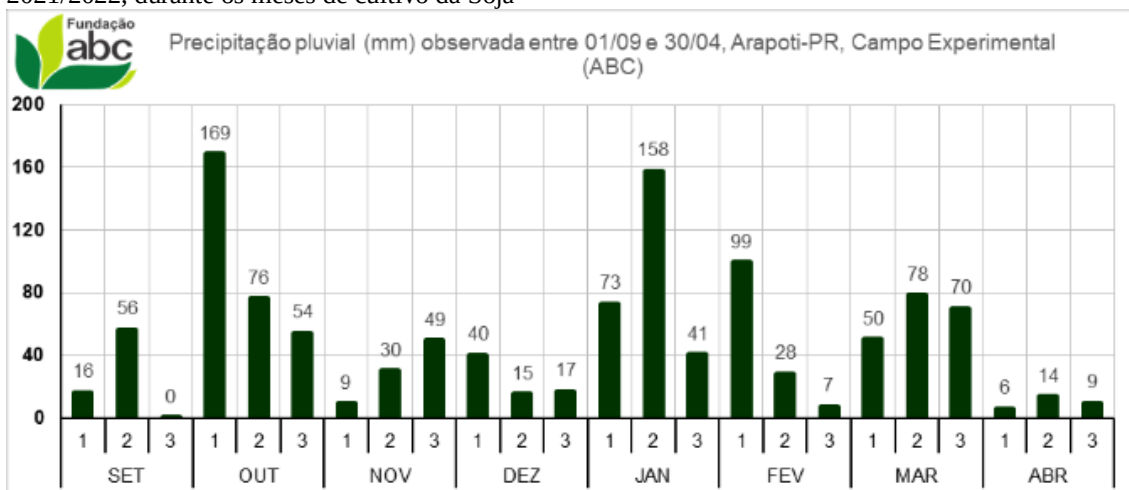
Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 11 - Dados de radiação solar observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja



Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

Figura 12 - Dados de precipitação pluvial observados no campo experimental de Arapoti (PR) na safra 2021/2022, durante os meses de cultivo da Soja



Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico ABC (sma abc).

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado ao longo de três safras consecutivas (2019/20, 2020/21 e 2021/22), sendo instalados experimentos individuais em quatro épocas distintas de semeadura para cada safra (setembro, outubro, novembro e dezembro). O delineamento experimental adotado em cada experimento individual foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Em resumo, foi conduzido um experimento por época de semeadura, repetido ao longo de três safras, totalizando 12 experimentos, exceto para a época de setembro da safra 2021/2022, que foi desconsiderada devido ao estresse abiótico na fase de emergência. A cultura não se desenvolveu adequadamente, e o estande foi significativamente afetado.

Em todos os experimentos, em consideração à representatividade regional e às características de suscetibilidade às principais doenças foliares, foi semeado o genótipo de soja Monsoy M 5917 IPRO, com uma densidade de 30 plantas estabelecidas por metro quadrado.

As parcelas experimentais consistiram em seis linhas espaçadas de 0,45 metros, com 4,5 metros de comprimento, totalizando 10,8 m² e uma área útil de 7,2 m² (quatro fileiras centrais com 4,5 metros de comprimento).

Os dados relativos às épocas de semeadura, datas de semeadura e colheita, bem como o ciclo da cultura nas safras de verão 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022 estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Cronologia das épocas de semeadura, datas de semeadura e colheita e ciclo da cultura nas safras de verão 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022

Safra	Experimento	Época de Semeadura	Data de Semeadura	Data de Colheita	Ciclo (dias)
2019/2020	1	Setembro	17/09/2019	14/02/2020	150
	2	Outubro	15/10/2019	05/03/2020	142
	3	Novembro	13/11/2019	19/03/2020	127
	4	Dezembro	19/12/2019	23/04/2020	126
2020/2021	5	Setembro	15/09/2020	10/02/2021	148
	6	Outubro	13/10/2020	08/03/2021	146
	7	Novembro	16/11/2020	25/03/2021	129
	8	Dezembro	09/12/2020	05/04/2021	117
2021/2022	9	Setembro	- ⁽¹⁾	-	-
	10	Outubro	13/10/2021	22/03/2022	160
	11	Novembro	16/11/2021	11/04/2022	146
	12	Dezembro	13/12/2021	25/04/2022	133

Notas: (1) Devido ao estresse abiótico a cultura não se desenvolveu de maneira adequada e o estande foi afetado de maneira significativa, inviabilizando a condução do experimento nesta época de semeadura.

Fonte: O autor.

4.3 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS FUNGICIDAS E MANUTENÇÕES

As sementes foram submetidas ao tratamento com inseticidas e inoculantes no dia da semeadura, seguindo as orientações técnicas específicas para a cultura. A adubação, tanto de base, quanto de cobertura, foi ajustada com base nos resultados da análise de solo e nas projeções de rendimento de grãos. As demais práticas culturais, incluindo o controle de plantas daninhas e insetos, foram executadas em conformidade com as recomendações técnicas para mitigar o estresse causado por esses fatores bióticos.

Já as aplicações dos fungicidas foram conduzidas por meio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, mantido a uma pressão de 38 lb.pol⁻² por CO₂ comprimido. O equipamento estava equipado com uma barra de aplicação contendo cinco pontas de jato "leque" ADI 110-015, espaçadas em intervalos de 0,5 m. A velocidade de aplicação foi fixada em 4,5 km/h, resultando em um volume de calda de 150 L/ha. Os detalhes acerca dos tratamentos se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos Tratamentos com Fungicidas, Ingredientes Ativos e Doses Aplicadas em quatro épocas de semeadura ao longo das três safras em Arapoti (PR)

Abreviação	Ingrediente ativo *	Concentração / Formulação	Dose P.C. (g ou mL ha ⁻¹) (1)	Dose i.a. (g por L ⁻¹ ou Kg ⁻¹) (2)	Nome Comercial	Adj. (mL ha ⁻¹) (3)	Momento de Aplicação (4)
TEST	-	-	-	-	Testemunha	-	-
PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5 + MZB 1125	(Protioconazol + Trifloxistrobina + Bixafen) + Mancozebe	(175 + 150 + 125 SC) + 750 WG	500 + 1500	(87,5 + 75 + 62,5) + 1125	Fox Xpro + Unizeb Gold	Aureo	0,25%
PTZ 70 + TFS 60 + MZB 1125	(Protioconazol + Trifloxistrobina) + Mancozebe	(175 + 150 SC) + 750 WG	400 + 1500	(70 + 60) + 1125	Fox + Unizeb Gold	Aureo	0,25%
PRS 99,9 + FXD 50,1 + MZB 1125	(Piraclostrobina + Fluxapiroxade) + Mancozebe	(333 + 167 SC) + 750 WG	300 + 1500	(99,9 + 50,1) + 1125	Orkestra + Unizeb Gold	Mess	500
AZT 60+ STL 30+ MZB 1125	(Azoxistrobina + Benzovindiflupir) + Mancozebe	(300 + 150 WG) + 750 WG	200 + 1500	(60 + 30) + 1125	Elatus + Unizeb Gold	Ochima	250
TCZ 95,7 + MTMS 63,8 + MZB 1125	(Tebuconazol + Metominostrobin) + Mancozebe	(165 + 110 EC) + 750 WG	580 + 1500	(95,7 + 63,8) + 1125	Fusão + Unizeb Gold	Iharol Gold	0,25%
CCZ 24 + PCS 60 + MZB 1125	(Ciproconazol + Picoxistrobina) + Mancozebe	(80 + 200 SC) + 750 WG	300 + 1500	(24 + 60) + 1125	Aproach Prima + Unizeb Gold	Ochima	250
AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60	(Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol)	(45 + 675 + 30 WG)	2000 + 1500	(90 + 1350 + 60)	Triziman	Aureo	0,25%

Notas: (1) Dose do produto comercial em gramas ou em mL por hectare; (2) Dose do ingrediente ativo em gramas por litro ou quilogramas; (3) Dose do adjuvante recomendado pelo fabricante em mL ha⁻¹; (4) Escala fenológica de Fehr e Caviness (1977); * Foi adicionado 1125 g ha⁻¹ de Mancozeb aos tratamentos, com exceção do produto Triziman que já contém o protetor na formulação

**V5
+ R1
+ R4
+ R5.3**

4.4 COLETA DE DADOS EM CAMPO E AVALIAÇÕES

4.4.1 Severidade

Durante as avaliações de severidade das doenças, os estádios fenológicos da cultura foram medidos, utilizando-se a escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977), conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 - Escala fenológica da Soja: valores numéricos e descrição dos estádios de crescimento avaliados no estudo

Estádio	Fenologia em escala numérica continua	Descrição
I. Fase vegetativa		
VE	0	Da emergência a cotilédones abertos.
V1	1	Primeiro nó; folhas unifolioladas abertas.
V2	2	Segundo nó; primeiro trifólio aberto.
V3	3	Terceiro nó; segundo trifólio aberto.
V5	5	Quinto nó;
V6	6	Sexto nó;
V7	7	Sétimo nó
V8	8	Oitavo nó
V9	9	Nono nó
V10	10	Decimo nó
Vn		Enésimo (último) nó com trifólio aberto, antes da floração.
II. Fase Reprodutiva (observação da haste principal)		
R1	14	Início da floração: até 50% das plantas com uma flor.
R2	15	Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas.
R3	16	Final da floração: vagens com até 1,5 cm de comprimento.
R4	17	Maioria das vagens no terço superior com 2 - 4 cm, sem grãos perceptíveis.
R5.1	18	Grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação.
R5.2	19	Maioria das vagens com granação de 10%-25%.
R5.3	20	Maioria das vagens entre 25% e 50% de granação.
R5.4	21	Maioria das vagens entre 50% e 75% de granação.
R5.5	22	Maioria das vagens entre 75% e 100% de granação.
R6	23	Vagens com granação de 100% e folhas verdes.
R7.1	25	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens.
R7.2	26	Entre 51% e 75% de folhas e vagens amarelas.
R7.3	27	Mais de 76% de folhas e vagens amarelas.
R8.1	28	Início a 50% de desfolha.
R8.2	29	Mais de 50% de desfolha à pré-colheita.
R9	30	Ponto de maturação de colheita.

Fonte: FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Special Report 80. Iowa Agricultural Experiment Station, Iowa Cooperative External Series. Iowa State University: Ames, 1977.

A avaliação da severidade de cada doença (Oídio e Ferrugem da Soja) foi realizada ao longo do ciclo de cultivo, utilizando a escala de notas percentuais de área foliar afetada pelos sintomas ou sinais da doença. Dez trifólios foram coletados por parcela, nas duas linhas centrais. Após o aumento da severidade, uma nota foi atribuída a cada doença em cada parcela do experimento, observando os primeiros sintomas de cada patologia. As escalas diagramáticas propostas por Mattiazzi (2003) para avaliação de Oídio e por Godoy, Koga e Canteri (2006) para avaliação da Ferrugem Asiática da Soja foram utilizadas para atribuição dessas notas, conforme detalhadas nos Anexos A e B, respectivamente.

Com base nas notas de severidade, realizou-se o cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) utilizando a equação proposta por Shaner e Finney (1977), conforme apresentado na Equação 1:

$$AACPD = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [(x_i + x_{i+1})]}{2 \cdot (t_{i+1} - t_i)} \quad (1)$$

Onde: n é o número de avaliações, x é severidade da doença, e $(t_{i+1} - t_i)$ representa o intervalo de tempo entre duas avaliações consecutivas.

4.4.2 Eficiência de controle dos fungicidas

A eficiência de controle (%) das parcelas referentes aos tratamentos que receberam a aplicação dos fungicidas foi calculada com base na AACPD, utilizando a fórmula de Abbott (1925), como mostra a Equação 2.

$$E = \frac{(T - F)}{(T \times 100)} \quad (2)$$

Onde: T é o valor da AACPD correspondente às parcelas do tratamento Testemunha (sem aplicação de fungicida), F é o valor da AACPD correspondente às parcelas do tratamento com aplicação de fungicida.

4.4.3 Produtividade da soja

A colheita foi conduzida utilizando uma colheitadeira de parcelas Wintersteiger, quando a cultura atingiu o estágio R9. Foram colhidas as 4 linhas centrais de cada parcela, cada uma com 4,5 m de comprimento, totalizando 8,1 m². A produtividade foi corrigida para 13% de umidade, e os valores foram extrapolados para Kg/ha.

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos em cada experimento foram analisados de maneira independente, considerando cada época de semeadura e safra.

4.5.1 Análise epidemiológica e ajuste das curvas de progresso das doenças por meio do modelo regressão não linear logístico

Para a análise epidemiológica do Oídio e da Ferrugem Asiática da Soja, procedeu-se ao ajuste das curvas de crescimento da severidade das doenças utilizando o modelo de regressão não linear logístico. Esse ajuste foi realizado considerando os valores obtidos nas avaliações de severidade nas quatro repetições do tratamento Testemunha, em cada estágio fenológico da cultura, durante cada experimento, conforme a Equação 3.

$$y = \frac{c}{(1 + \text{Exp}(-a * (x - b)))} \quad (3)$$

Onde: y é a variável dependente no tempo (severidade da doença em %), x é a variável independente (fenologia da soja na escala numérica, conforme Quadro 1), a representa a taxa de crescimento do progresso da doença (quanto maior for este valor, mais rápido a doença irá atingir a assíntota), b indica a fenologia para atingir metade da severidade total (valor da abcissa no ponto de inflexão – fenologia da soja), e c é a assíntota superior, ou valor máximo da severidade da doença (%).

Foram determinadas as coordenadas dos pontos críticos do modelo logístico, nomeadamente, o ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de desaceleração máxima (PDM) e a severidade no ponto de aceleração máxima (S_PAM), conforme as Equações 4, 5 e 6. A

obtenção dessas coordenadas baseou-se no cálculo das derivadas parciais do modelo logístico em relação à variável independente "fenologia da soja". Este procedimento seguiu a metodologia proposta por Escobar (2022) e Sari *et al.* (2018).

$$PAM = \frac{(b * a) - 1,317}{a} \quad (4)$$

$$PDM = \frac{(b * a) + 1,317}{a} \quad (5)$$

$$S_{PAM} = \frac{c}{(1 + \text{Exp}(-a * (PAM - b)))} \quad (6)$$

Onde: PAM representa o ponto de aceleração máxima e PDM o ponto de desaceleração máxima, a é a taxa de crescimento do progresso da doença, b indica a fenologia para atingir metade da severidade total.

A escolha do modelo de regressão não linear logístico foi fundamentada no critério de menor Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), que, de maneira geral, corresponde à diferença entre o resultado de um valor estimado e o valor observado de uma determinada grandeza. A precisão das estimativas foi avaliada por meio da REQM (Equação 7), que reflete a acurácia dos resultados numéricos, apresentando vantagem ao exprimir valores nas mesmas dimensões da variável analisada. Quanto mais próxima de zero a REQM, melhor é a qualidade do modelo.

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum (Yr_i - YS_i)^2}{n}} \quad (7)$$

Onde: REQM é a Raiz do Erro Quadrático Médio, Yr_i são os valores de severidade observada em campo, YS_i são os valores de severidade estimados pelo modelo de regressão, e n é o número de observações.

Em modelos não lineares, a obtenção de estimativas dos parâmetros demanda o uso de métodos iterativos. Para tal, recorreu-se ao método dos mínimos quadrados ordinários através do algoritmo de Gauss-Newton. Essa etapa foi executada mediante a função `nls2`, utilizando o software R (R CORE TEAM, 2023).

Na construção da curva de crescimento da severidade das doenças na soja ao longo de diferentes safras e épocas de semeadura, optou-se pela adaptação dos estádios fenológicos da

escala nominal para a escala numérica, conforme apresentado no Quadro 1. Essa adaptação permite a comparação da ocorrência do pico máximo da doença entre diferentes safras e épocas de semeadura.

4.5.2 Relação entre severidade de Oídio e Ferrugem da soja na eficácia dos diferentes fungicidas

Para avaliar a relação entre a severidade de Oídio e Ferrugem da Soja e a eficácia dos diferentes fungicidas, empregou-se o método de Regressão Linear Simples. O objetivo foi examinar a relação entre uma variável preditora (severidade avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2) e a variável resposta (controle obtido por meio da área abaixo da curva do progresso da doença).

A obtenção do modelo iniciou-se pela verificação da correlação entre as duas variáveis, utilizando a correlação de Pearson. A normalidade dos erros foi avaliada por meio do teste de Shapiro e Wilk (1965). Para a técnica de regressão linear foram adotados limites de aceitação com um intervalo de confiança de 95%. Os coeficientes estimadores foram calculados pelo método dos mínimos quadrados, minimizando os resíduos do modelo de regressão linear. O teste F foi realizado, estabelecendo a significância em $p < 0,05$. Os parâmetros nas tabelas dos coeficientes do modelo proporcionaram a avaliação quantitativa das variáveis preditora e dependente, gerando uma equação de regressão e validando o modelo obtido. Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2023).

4.5.3 Análise estatística por meio dos modelos mistos para a eficiência dos fungicidas

Os dados obtidos em cada experimento foram analisados de maneira independente, considerando cada época de semeadura e safra. As médias das variáveis de resposta foram submetidas aos testes de homocedasticidade das variâncias de O'Neill e Mathews (2000) e normalidade dos erros de Shapiro e Wilk (1965). Para as variáveis cujos desvios não atenderam às pressuposições básicas, aplicou-se a transformação pelo método de Box e Cox (1964).

As análises conjuntas de eficiência no controle foram conduzidas por meio de técnicas de modelos lineares generalizados mistos, os quais possibilitam a consideração de distribuições não-normais e a incorporação dos efeitos das interações entre safras, épocas de semeadura e tratamentos, ajustando a estrutura da matriz de variâncias e covariâncias. O teste de Scott-Knott,

com 5% de probabilidade, foi empregado para identificar tratamentos com possíveis efeitos semelhantes. Todos os modelos analisados foram obtidos utilizando a função lme4 no software R (R CORE TEAM, 2023).

Portanto, os experimentos utilizados para a análise conjunta de Oídio foram: safra 2019/2020, épocas de outubro e dezembro; safra 2020/2021, épocas de setembro, outubro, novembro e dezembro; safra 2021/2022, época de dezembro. Para a Ferrugem da Soja, foram considerados os experimentos: safra 2019/2020, época de dezembro; safra 2020/2021, épocas de outubro, novembro e dezembro; safra 2021/2022, época de dezembro.

4.5.4 Avaliação da Produtividade da Soja

Para a análise conjunta, visando avaliar a produtividade da soja em relação às diferentes épocas de semeadura e a resposta à aplicação de fungicidas, bem como a eficácia dos produtos químicos no controle das doenças foliares na cultura da soja (itens 5.2 e 5.3 do resultado e discussão), foram aplicadas técnicas de modelos mistos. Foram consideradas as épocas de semeadura e safras que apresentaram diferenças na severidade nos diversos tratamentos com a aplicação de fungicida. Não sendo observada a presença de doenças nos tratamentos que compõem a época de semeadura, estes não foram incluídos na análise.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA E AJUSTE DE CURVAS DE PROGRESSO E SEVERIDADE DE DOENÇAS FOLIARES EM SOJA POR MEIO DO MODELO REGRESSÃO NÃO LINEAR LOGÍSTICO

A avaliação da severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) e Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no tratamento Testemunha (Ausência de fungicidas) durante as safras de 2019/2020 a 2021/2022, considerando as épocas de semeadura de setembro a dezembro, proporciona uma sólida base de dados para a investigação epidemiológica e a análise da eficácia dos fungicidas no controle de Oídio e Ferrugem Asiática da Soja em distintas épocas de semeadura e safras. Os coeficientes resultantes dos ajustes estão detalhados nas Tabelas 4 e 5, acompanhados pelas curvas de progresso ajustadas pelo modelo Logístico, representadas nas Figuras 4, 5, 6 e 7 (Oídio) e Figuras 9, 10, 11 e 12 (Ferrugem).

5.1.1 Estimativa da severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) ao longo do ciclo de cultivo da soja utilizando o modelo Logístico

A aplicação do modelo Logístico aos dados observados no campo, no tratamento Testemunha, resultou em valores de Coeficiente de Determinação (R^2) superiores a 0,93 e Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) inferior a 6,8% de severidade. Esses resultados evidenciam a precisão e acurácia do método na estimativa dos dados de Oídio nas condições estudadas, conforme detalhado na Tabela 3.

Para a semeadura realizada em setembro, constatou-se que os maiores valores de severidade final foram observados, evidenciando variações nos parâmetros "b" e "c" (representando, respectivamente, a fenologia para atingir metade da severidade total e a assíntota superior). Observou-se uma taxa de crescimento semelhante entre as safras. No caso do parâmetro "b", na safra 2019/2020, esse ponto foi alcançado durante o enchimento de grãos (fenologia 19,8 ou aproximadamente R5.3), enquanto na safra 2020/2021 ocorreu no final do florescimento (fenologia 15,6 ou aproximadamente R2), indicando uma antecipação do ponto de inflexão da epidemia nesta última safra.

No que se refere à assíntota superior (parâmetro "c"), a safra 2019/2020 apresentou valores em torno de 73,9%, enquanto na safra 2020/2021 esse valor foi de 53,9%. Isso sugere

que as condições climáticas durante as safras influenciaram significativamente o desenvolvimento da doença, conforme ilustrado na Figura 1.

Tabela 3 - Parâmetros Ajustados do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no Tratamento Testemunha na Cultura da Soja

Safra	Época	<i>a</i>	<i>b</i> ⁽¹⁾	<i>c</i> (%)	PAM ⁽¹⁾	S_PAM (%)	PDM ⁽¹⁾	R ²	REQM
2019/2020	Setembro	1,054	19,826	73,956	18,577	15,628	21,075	0,96	5,58
2020/2021	Setembro	1,374	15,617	53,993	14,659	11,410	16,575	0,99	2,41
2019/2020	Outubro	0,616	18,243	73,559	16,104	15,544	20,382	0,93	6,82
2020/2021	Outubro	2,006	13,829	43,177	13,173	9,124	14,486	0,93	3,75
2021/2022	Outubro	0,712	18,554	56,822	16,703	12,007	20,404	0,99	2,35
2019/2020	Novembro	14,428	17,003	20,000	16,912	4,226	17,094	0,98	1,15
2020/2021	Novembro	1,464	15,465	20,587	14,566	4,350	16,365	0,96	1,54
2021/2022	Novembro	0,376	13,379	40,733	9,876	8,608	16,883	0,96	2,99
2019/2020	Dezembro	0,304	15,079	68,768	10,739	14,532	19,418	0,98	3,65
2020/2021	Dezembro	0,464	8,233	37,911	5,396	8,011	11,070	0,99	1,34
2021/2022	Dezembro	0,221	15,501	51,129	9,547	10,805	21,455	0,99	1,79

Notas: *a* = Taxa de crescimento da doença, *b* = Fenologia para atingir metade da severidade final, *c*(%) = Severidade na assíntota superior, PAM = Ponto de aceleração máxima, S_PAM(%) = Severidade no ponto de máxima aceleração, PDM = Ponto de desaceleração máxima, R² = Coeficiente de determinação, REQM = Raiz do Erro Quadrático Médio, ⁽¹⁾ = Fenologia: 5 = V5; 8 = V8; 10 = V10; 11 = V11; 13 = V13; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4.

O Oídio é favorecido por períodos de baixa umidade relativa e temperaturas do ar entre 16 °C a 24 °C (HARTMAN *et al.*, 2016). As condições climáticas registradas nos meses de novembro e dezembro dos anos de 2019 e 2020, com médias observadas de temperatura do ar de 21,1 °C e dias consecutivos sem precipitação (Figuras 1 e 4, respectivamente), contribuíram para a persistência da doença até o final do ciclo da soja plantada em setembro nesses anos. Conforme observado por Xavier *et al.* (2015), os patógenos do grupo dos Oídios apresentam uma forma altamente evoluída de parasitismo, dependendo do hospedeiro vivo para sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Isso permite a coexistência ao longo do ciclo de vida da planta, resultando na redução da taxa fotossintética do hospedeiro.

O ponto de aceleração máxima (PAM) representa o momento em que o aumento na taxa de severidade de Oídio (velocidade) atinge seu ponto máximo. Em média, o S_PAM é observado no estágio fenológico de V10 (Tabela 3), coincidindo com o fechamento de entre linhas, apresentando elevado índice de área foliar. A severidade obtida no ponto de aceleração

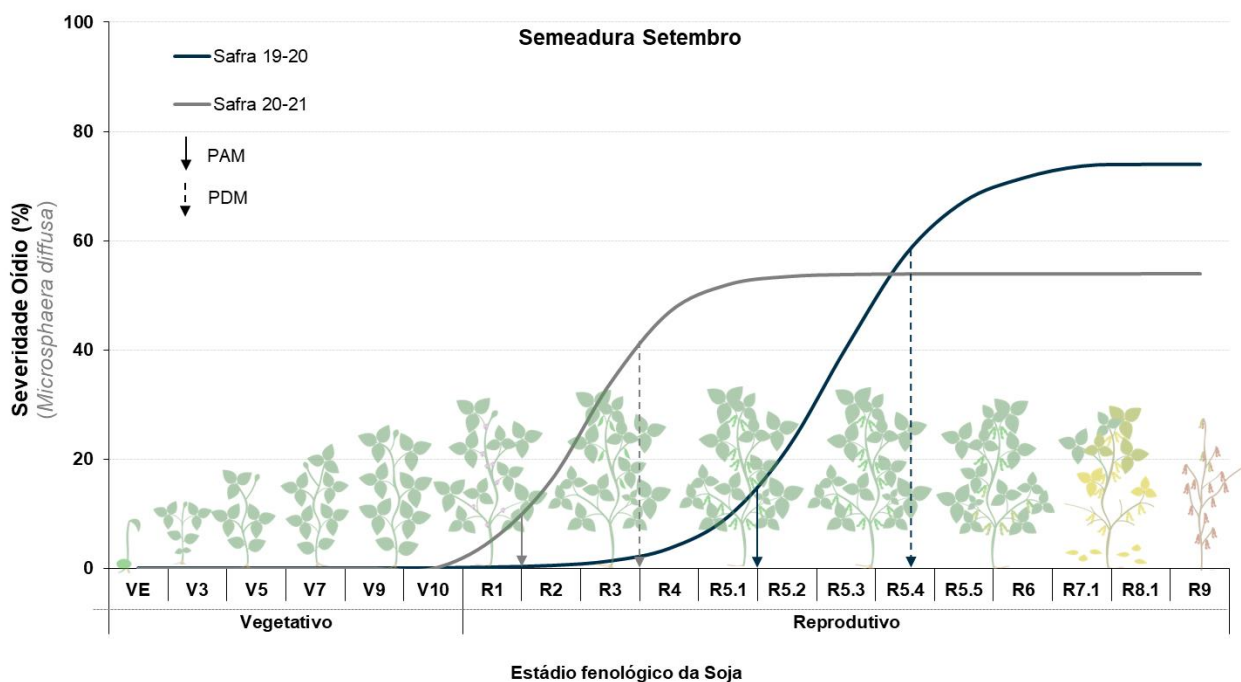
máxima (S_PAM) foi, em média, de 10,4%, variando entre 4,2% e 15,6% nos experimentos avaliados (Tabela 3). Os menores valores foram observados na semeadura de novembro, enquanto os maiores foram mensurados nas épocas de setembro e outubro. Igarashi *et al.* (2010) questionam as recomendações para o controle de Oídio feitas pela Embrapa Soja (2006), que indicam a aplicação de fungicida com severidade entre 40% e 50% da área foliar afetada pela doença. Os dados do estudo sugerem intervenção com fungicida logo nos primeiros sintomas da doença, pois severidades superiores a 10% indicam rápida evolução do Oídio e comprometem a eficácia dos fungicidas.

O ponto de desaceleração máxima (PDM) representa o momento em que a doença atinge seu máximo desenvolvimento e se estabiliza em um curto espaço de tempo. Em média, o Oídio atingiu o PDM no estágio fenológico de início de formação de grãos (Tabela 3). Igarashi *et al.* (2010) ao estudar os danos causados pela infecção de Oídio em diferentes estádios fenológicos da soja, observaram as maiores perdas em produtividade quando a infecção de Oídio ocorreu nos estádios de florescimento e início de enchimento de grãos.

A interpretação das estimativas dos parâmetros dos modelos estudados e de seus pontos críticos permite planejar métodos de manejo ou otimizar manejos já utilizados pelos produtores de soja. Essas informações auxiliam na tomada de decisão do produtor e consultores a campo, indicando o melhor momento para proceder o controle das doenças (ESCOBAR, 2022).

Para compreender os parâmetros derivados do modelo Logístico (PAM, PDM e S_PAM) apresentados na Tabela 3 e nas Figuras 1, 2, 3 e 4, é necessário considerar as condições ambientais favoráveis para o estabelecimento do Oídio da soja. Assim como o PAM e o PDM, esses pontos podem ser explicados por outras condições além do clima, como as características morfológicas das plantas. O desenvolvimento da soja é composto por diferentes estádios, cada um caracterizado por condições morfológicas e fisiológicas da planta, que podem interferir nos pontos de desenvolvimento da doença, como folhas mais velhas e índice de área foliar (XAVIER *et al.*, 2017).

Figura 13 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020 e 2020/2021, em Semeaduras de Setembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



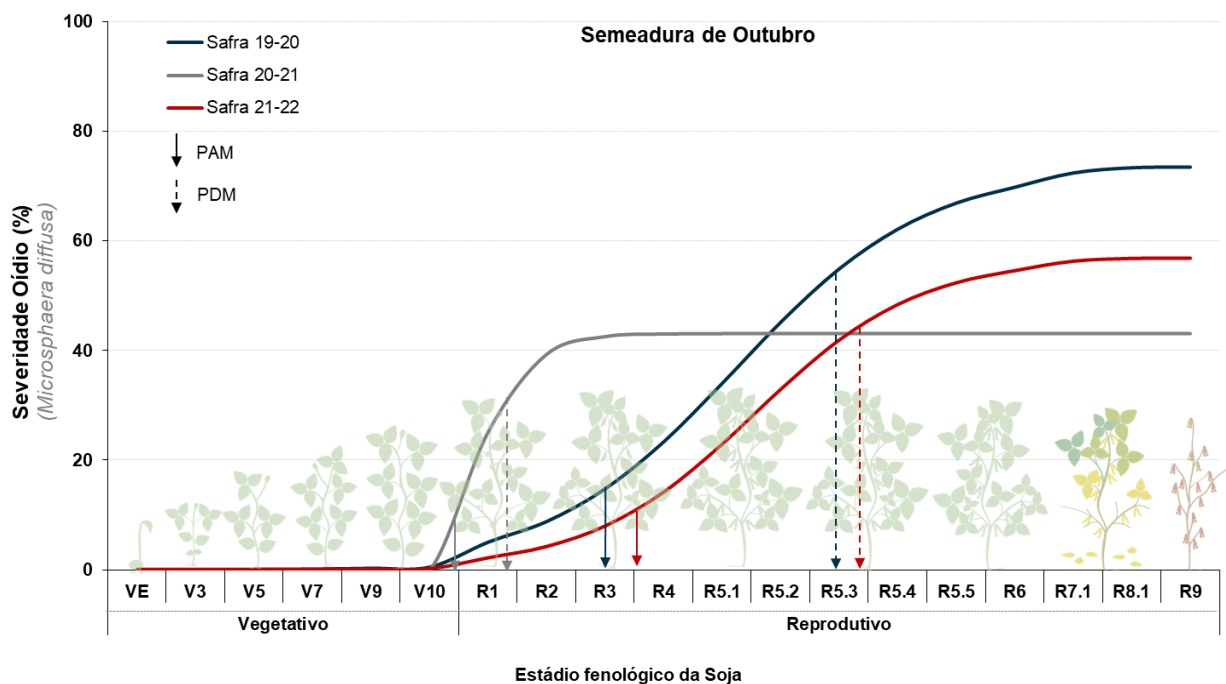
Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

Na época de outubro, as condições para o desenvolvimento do Oídio nas diferentes safras são consideradas ótimas, com valores do parâmetro "c" atingindo aproximadamente 73,5%, 43,2% e 56,8% de severidade nas safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente (Tabela 2). Nas safras 2019/2020 e 2021/2022, as taxas de crescimento foram de aproximadamente 0,61 e 0,71, com o ponto de inflexão de crescimento ocorrendo no início do enchimento de grãos (parâmetro "b" em torno de 18,2 e 18,5, respectivamente). Já na safra 2020/2021, a taxa de crescimento foi significativamente maior, atingindo cerca de 2,0, e o pico de crescimento do Oídio ocorreu no final da fase vegetativa e início do período reprodutivo (parâmetro "b" em 13,8), conforme ilustrado na Figura 2.

Em relação às alterações fisiológicas na planta, Mignucci e Boyer (1979) conduziram um estudo sobre a inibição da fotossíntese e transpiração em folhas de soja infectadas por Oídio, observando uma redução na taxa fotossintética e transpiração com o aumento da infecção. Com 82% da área foliar afetada, mais da metade da atividade fotossintética da folha foi perdida, e a transpiração diminuiu para 36% em comparação com o tratamento testemunha. Esses resultados evidenciam uma alteração direta na atividade metabólica induzida pelo patógeno, destacando

os impactos significativos da infecção por Oídio nas funções fisiológicas cruciais da planta de soja.

Figura 14 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de outubro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



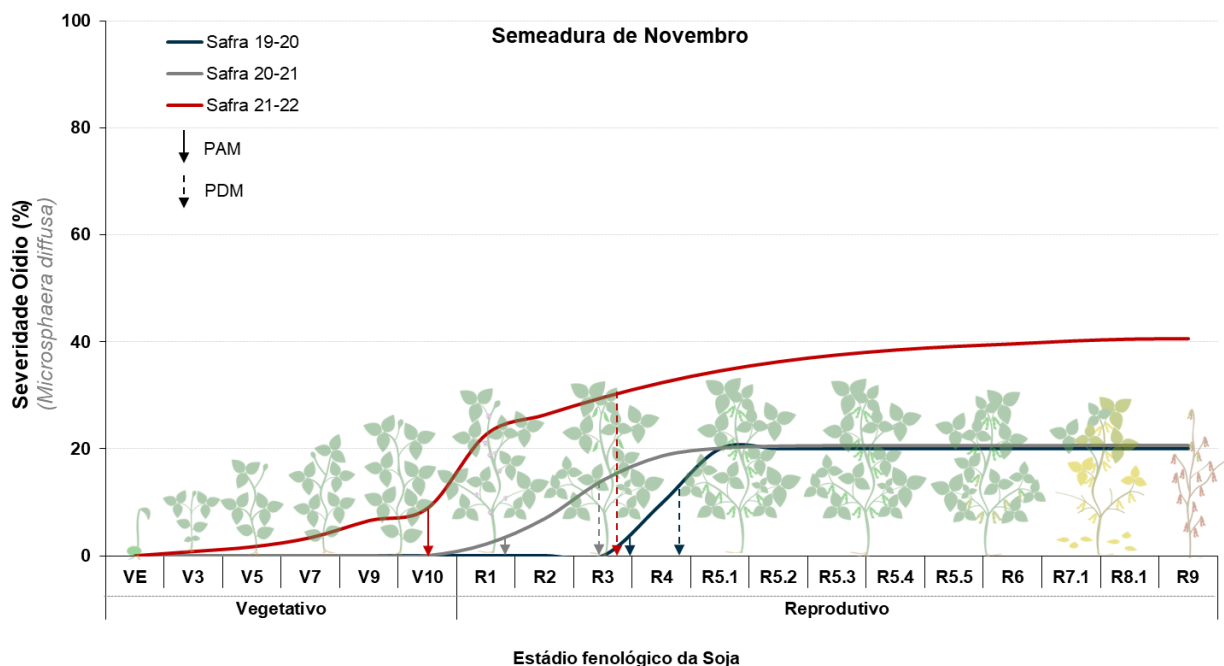
Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

No que diz respeito à semeadura realizada em novembro em Arapoti – PR, observou-se que os valores de severidade foram significativamente inferiores em comparação com as demais épocas, conforme demonstrado na Figura 3. Nas safras 2019/2020 e 2020/2021, a severidade final aproximou-se de 20%, atingindo seu pico máximo no início da floração e enchimento de grãos (fenologia 17 e 14,5, respectivamente, como indicado na Tabela 2). Já para a safra 2021/2022, o valor máximo de severidade de Oídio foi de 40,7%, com o pico da doença ocorrendo no início do período reprodutivo da cultura. Essa disparidade pode ser atribuída às condições climáticas.

Na safra 2021/2022, o Oídio desenvolveu-se rapidamente a partir do estágio V7 no mês de dezembro, caracterizado por uma temperatura média do ar de 21,1°C e apenas 8 dias com precipitação superior a 3 mm durante o mês. Em contraste, nas safras 2019/2020 e 2020/2021, o número de dias com precipitação foi superior a 14 dias, com umidade relativa do ar acima de 82%, condições que desfavorecem o desenvolvimento da doença durante o mesmo

período analisado. Essa variação nas condições climáticas impactou diretamente na dinâmica da severidade de Oídio em diferentes safras e, especificamente, na semeadura de novembro.

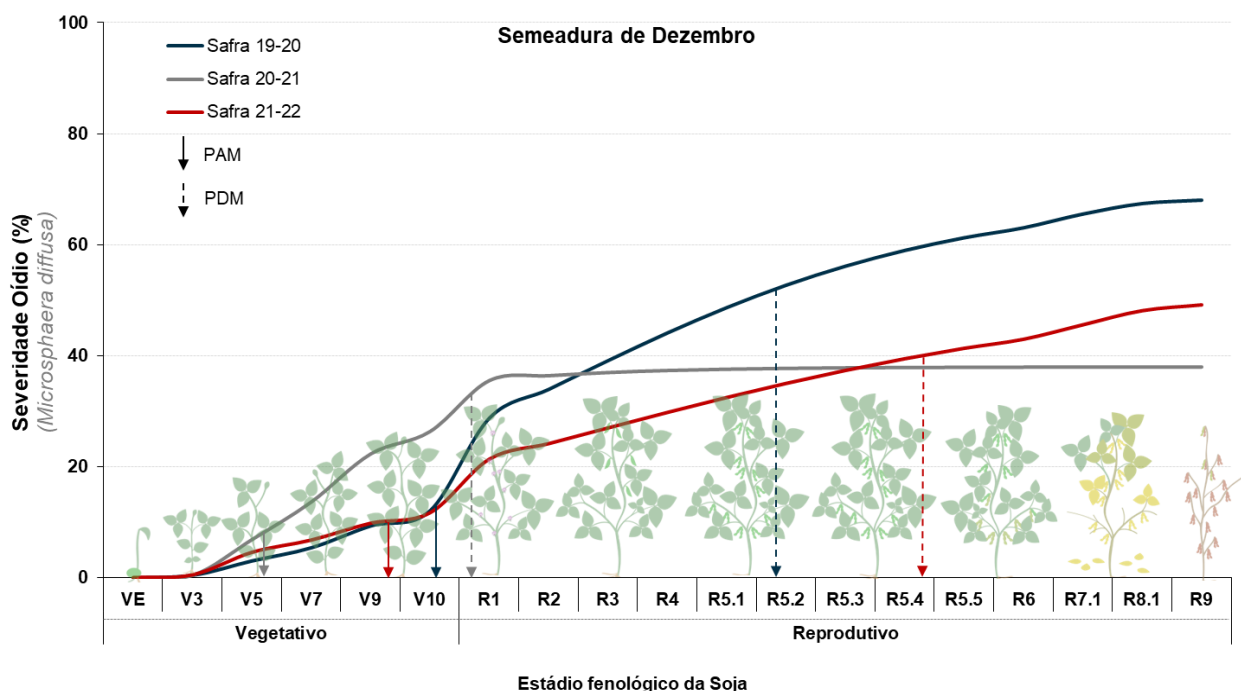
Figura 15 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de novembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

Na semeadura realizada em dezembro, foram observados valores finais de severidade de Oídio na ordem de 68,7%, 37,9% e 51,1% para as safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. Embora as taxas de crescimento nessa época de semeadura tenham sido semelhantes entre as safras, como apresentado na Tabela 3, a fenologia para atingir metade da severidade final variou entre os estádios de V8 (oitavo nó) para a safra 2020/2021 e R1 (floração plena) nas safras 2019/2020 e 2021/2022, conforme evidenciado na Figura 4.

Figura 16 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de dezembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti – PR

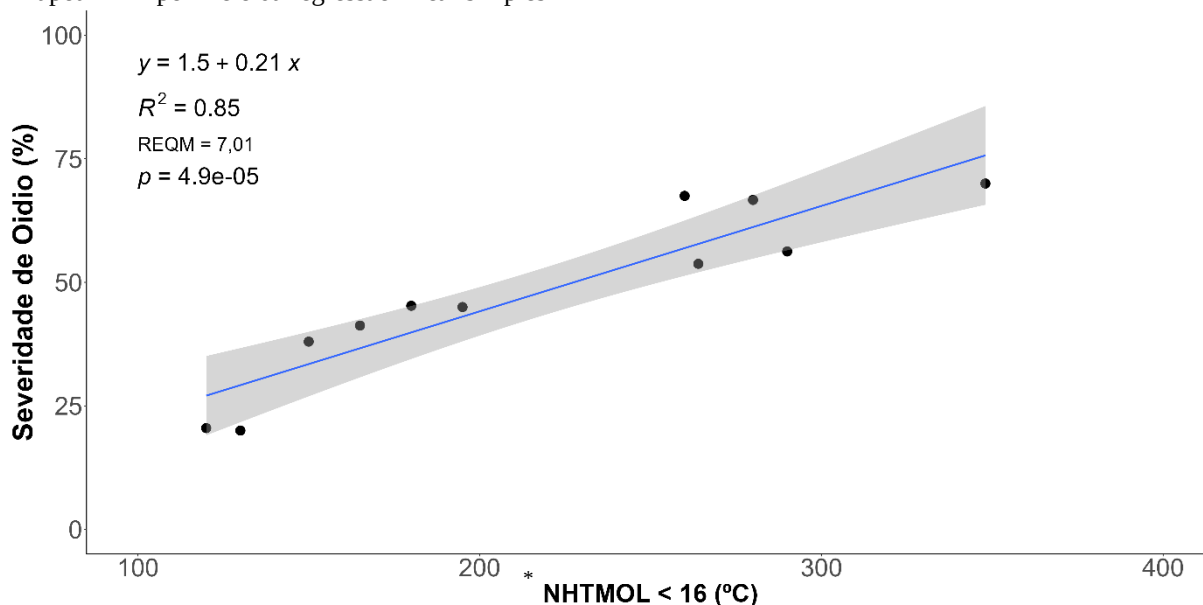


Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

A severidade do Oídio e sua taxa de evolução variam de época de semeadura e safra, sendo diretamente impactadas pelas condições climáticas predominantes. Condições ambientais específicas, como períodos de estiagem e temperaturas do ar entre 20 e 25°C, com umidade relativa oscilando entre 50 e 90%, criam um ambiente propício para o desenvolvimento de epidemias pulverulentas de doenças, conforme destacado por Godoy *et al.* (2016).

Para uma melhor compreensão e previsão da severidade do Oídio, foi utilizado um modelo de regressão linear simples, levando em consideração variáveis ambientais facilmente obtidas, como o acúmulo do número de horas com temperatura do molhamento foliar inferior a 16 °C (condição favorável para a proliferação do Oídio) desde a semeadura até a colheita. Os resultados dessa análise de regressão foram significativos, permitindo a criação de uma equação para a estimativa da doença em diferentes épocas de semeadura testadas. A equação apresentou um coeficiente R^2 de 0,85 e uma raiz quadrática do erro médio (REQM) de 7,013%, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Estimativa da severidade de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti – PR por meio da regressão linear simples



Nota: * Variável Independente = número de horas com temperatura do molhamento foliar inferior a 16 °C.

As doenças foliares, especialmente o Oídio, sofrem influência direta das condições climáticas, como molhamento foliar, umidade relativa do ar e temperatura, além de fatores genéticos do hospedeiro e agressividade do patógeno (AMORIM *et al.*, 2016). A intensidade do Oídio na cultura da soja varia de safra para safra, de acordo com a região de cultivo, época do ano e susceptibilidade dos genótipos semeados.

Para o manejo eficiente do Oídio na soja, são recomendadas diversas estratégias, incluindo o uso de fungicidas, seleção de épocas adequadas de semeadura, eliminação de plantas hospedeiras e soja guaxa, além da preferência por cultivares resistentes (GODOY *et al.*, 2022). O controle mais comum da doença é realizado por meio do uso de fungicidas, sendo esta a prática oficialmente indicada para combater o Oídio.

É importante ressaltar que a temperatura do ar desempenha um papel crucial no processo da doença, influenciando o número de gerações do patógeno. Esse aspecto assume relevância significativa para o entendimento do processo epidemiológico e para os modelos matemáticos desenvolvidos na previsão da severidade das principais doenças foliares da soja, como discutido por Alves *et al.* (2009), Borah e Deb (2022), e Camera *et al.* (2016).

5.1.2 Estimativa da severidade de Ferrugem da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*) ao longo do ciclo de cultivo da soja utilizando o modelo Logístico

O modelo Logístico destacou-se pela precisão e acurácia na descrição da severidade da Ferrugem Asiática da Soja, apresentando um coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,72 e uma Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) abaixo de 5,2%. Os momentos de maior crescimento da ferrugem (indicados pelo parâmetro "a") foram identificados na safra 2019/2020 e época de setembro, na safra 2021/2022 e época de outubro; na safra 2019/2020 e época de outubro e; na safra 2020/2021 e época de setembro, registrando valores de 4,033, 2,444, 2,165 e 2,082, respectivamente (conforme detalhado na Tabela 4).

Entretanto, os períodos de menor taxa de crescimento foram evidenciados nas semeaduras realizadas em outubro e dezembro da safra 2020/2021, apresentando valores de 0,716 e 0,584, respectivamente.

Tabela 4 - Parâmetros Ajustados do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no Tratamento Testemunha na Cultura da Soja

Safra	Época	a	b ⁽¹⁾	c (%)	PAM ⁽¹⁾	S_PAM (%)	PDM ⁽¹⁾	R ²	REQM
2019/2020	Setembro	4,033	21,158	2,916	20,832	0,616	21,485	0,72	0,72
2020/2021	Setembro	2,082	23,009	50,595	22,377	10,692	23,642	1,00	0,53
2019/2020	Outubro	2,165	21,051	3,539	20,442	0,748	21,659	0,82	0,66
2020/2021	Outubro	0,716	23,815	86,275	21,975	18,231	25,655	0,97	5,16
2021/2022	Outubro	2,444	22,345	34,615	21,806	7,315	22,884	0,99	1,62
2019/2020	Novembro	1,916	21,872	35,658	21,184	7,535	22,559	1,00	0,47
2020/2021	Novembro	1,711	21,180	90,022	20,410	19,023	21,950	0,99	2,72
2021/2022	Novembro	1,779	23,492	52,584	22,752	11,112	24,232	0,99	1,63
2019/2020	Dezembro	1,433	22,614	91,675	21,695	19,372	23,532	0,98	5,07
2020/2021	Dezembro	0,584	22,466	95,543	20,211	20,190	24,722	0,99	3,41
2021/2022	Dezembro	1,050	22,849	80,387	21,595	16,987	24,103	1,00	1,70

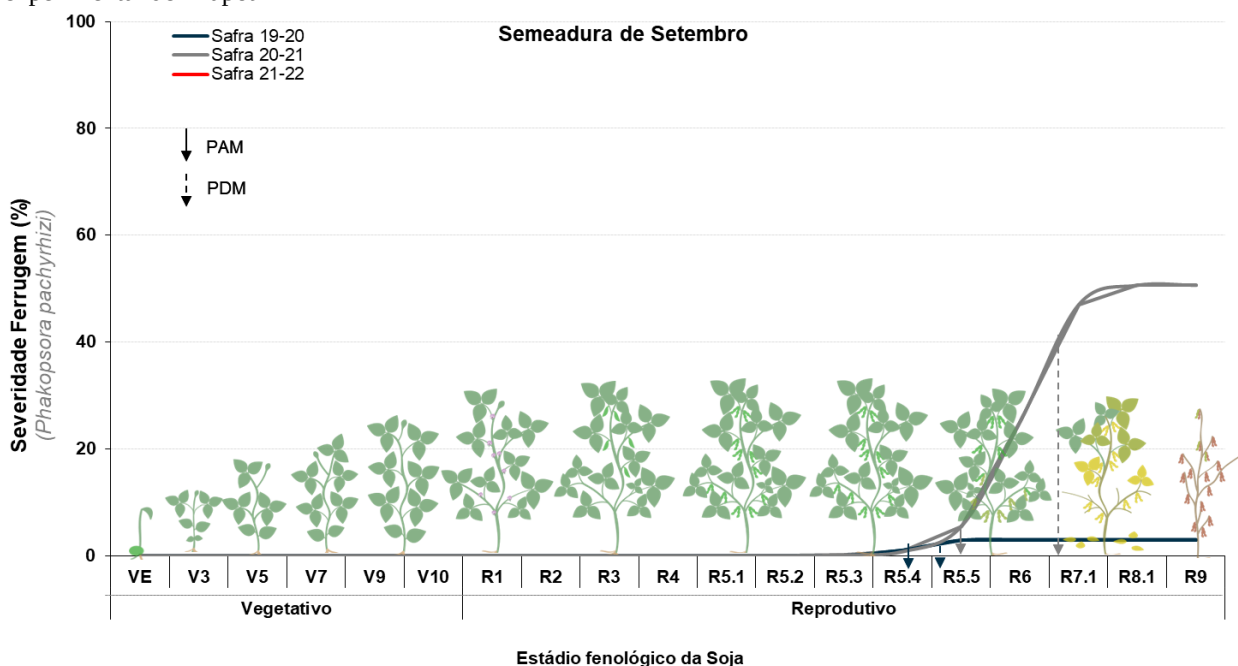
Notas: a = Taxa de crescimento da doença, b = Fenologia para atingir metade da severidade final, c(%) = Severidade na assíntota superior, PAM = Ponto de aceleração máxima, S_PAM(%) = Severidade no ponto de máxima aceleração, PDM = Ponto de desaceleração máxima, R² = Coeficiente de determinação, REQM = Raiz do Erro Quadrático Médio, ⁽¹⁾ = Fenologia: 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2.

Os valores mais elevados do coeficiente "b" (Fenologia para atingir metade da severidade total) foram consistentemente observados nos estádios fenológicos de R5.4 a R6, variando entre 21,051 a 23,815, conforme apresentado na Tabela 4. Essa tendência foi observada de forma consistente, independentemente da safra e da época de semeadura, conforme ilustrado nas Figuras 5, 6, 7 e 8.

A análise indica que, quanto mais próximo do final do ciclo de cultivo da cultura no momento do aparecimento dos sintomas, menor é a severidade da doença. Durante a safra 2019/2020 as condições climáticas nas semeaduras de setembro, outubro e novembro foram desfavoráveis para o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja.

De acordo com Marchetti, Melching e Bromfield (1976), o fungo responsável pela ferrugem asiática requer períodos de molhamento foliar entre 6 e 10 horas, com temperaturas na faixa de 15 a 25 °C. A presença de molhamento foliar é crucial para a ocorrência da doença, pois determina a possibilidade de germinação dos esporos e, conseqüentemente, a infecção. Os referidos autores também observaram que o fungo é capaz de germinar em temperaturas entre 7°C e 28°C, com a faixa ótima de 15°C a 25 °C. Infecções ocorreram em temperaturas entre 20°C e 25°C, com 6 horas de molhamento, sendo que as taxas de infecção máximas foram registradas entre 10 e 12 horas de molhamento foliar.

Figura 18 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no Tratamento Testemunha, nas Safra 2019/2020 e 2020/2021, em Semeaduras de Setembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



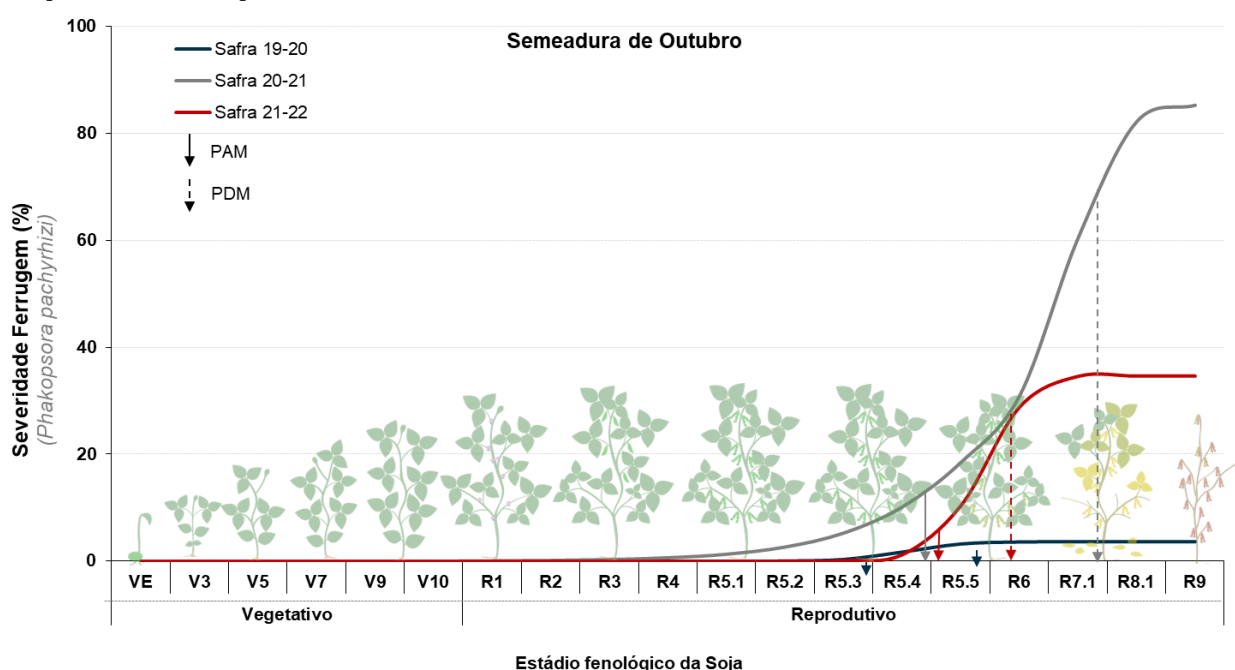
Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
 Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

O início da epidemia de ferrugem da soja é, principalmente, impulsionado pela disponibilidade de inóculo e pelas condições climáticas predominantes durante a primavera (ALVES; DEL PONTE, 2021). Esses fatores têm um impacto significativo na ocorrência da

doença nos estágios iniciais do desenvolvimento da soja, resultando em uma potencial redução no número de aplicações de fungicidas necessárias para o controle efetivo.

Conforme evidenciado na Tabela 4, a partir do estágio R5.4, que representa a metade do enchimento de grãos da cultura, observou-se um rápido desenvolvimento da doença. Esse fenômeno pode ser atribuído à presença de inóculo na região, associada a condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento.

Figura 19 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de Outubro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



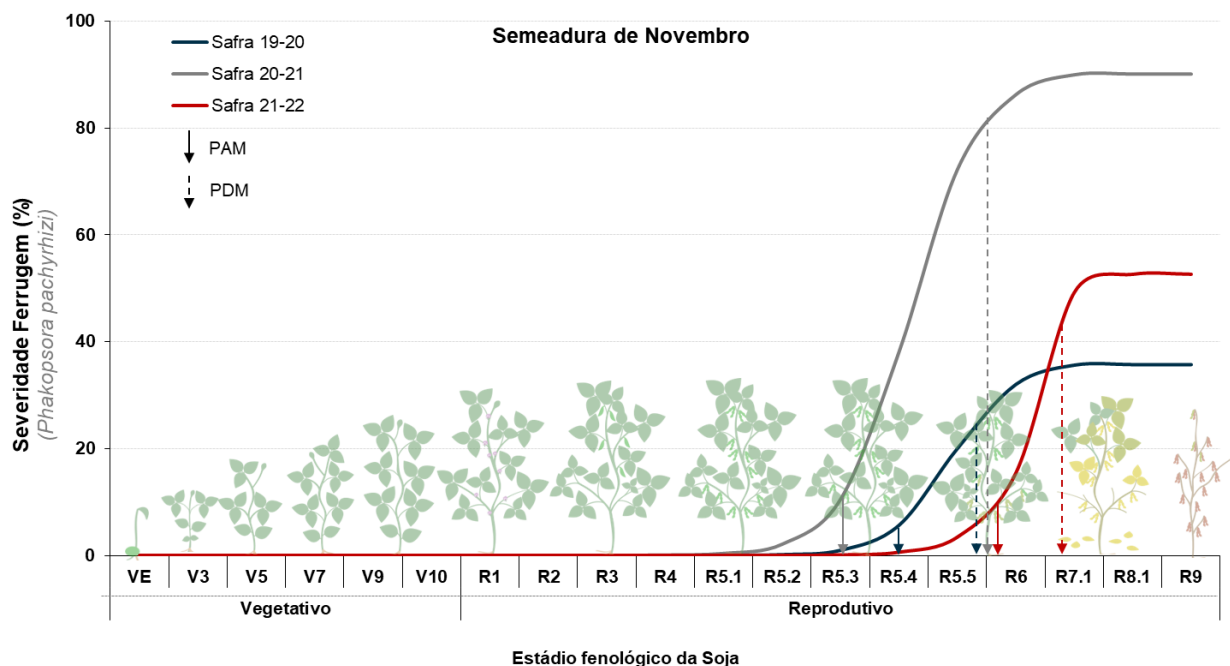
Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

As maiores severidades foram observadas nas épocas de dezembro, novembro e outubro nas safras 2020/2021, 2019/2020, 2020/2021, 2020/2021 e 2021/2022, registrando valores superiores a 80%, conforme detalhado na Tabela 4. Contudo, os menores valores do coeficiente "c" foram identificados nas semeaduras de setembro e outubro da safra 2019/2020, com severidades de 2,916% e 3,539%, respectivamente.

Em relação à safra 2021/2022 e à época de novembro, à safra 2020/2021 e à época de setembro, à safra 2019/2020 e à época de novembro, e à safra 2021/2022 e à época de outubro, a severidade variou entre 52% e 34%, conforme evidenciado nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Essa

variação segue a tendência de valores elevados à medida que avançam as épocas de semeadura, resultando em quantidades mais significativas de inóculo da doença no campo.

Figura 20 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de Novembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR

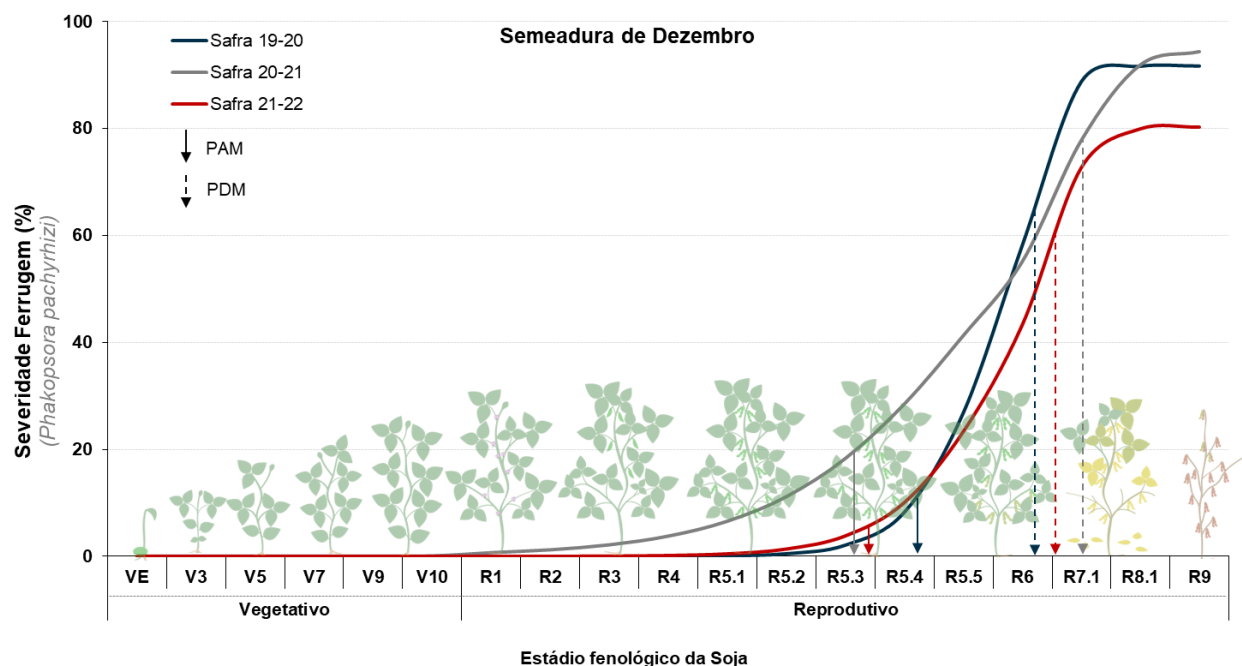


Notas: PAM = Ponto de aceleração máxima, PDM = Ponto de desaceleração máxima.
Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

Conforme destacado por Del Ponte *et al.* (2006a), existe uma forte associação entre a severidade final da ferrugem da soja e variáveis como o número de dias, a quantidade de chuva (mm) e a temperatura do ar. Essa relação é particularmente relevante no período de 30 dias após o aparecimento das primeiras pústulas de ferrugem, abrangendo 35 casos de epidemias observadas ao longo de três anos e em mais de 20 locais distribuídos nas diversas regiões produtoras de soja no país.

A pesquisa ressalta que a época de semeadura, juntamente com a frequência das precipitações e o aumento da temperatura do ar associado ao período de verão, desempenha um papel crucial no favorecimento do desenvolvimento de epidemias de ferrugem da soja. Esses fatores ambientais contribuem significativamente para a criação de condições propícias ao estabelecimento e à propagação da doença, enfatizando a importância do manejo adequado dessas variáveis para mitigar os impactos da ferrugem da soja nas safras.

Figura 21 - Ajuste do Modelo Logístico para Severidade de Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no Tratamento Testemunha, nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em Semeaduras de Dezembro no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



Fenologia: 0 = VE; 1 = V1; 2 = V2; 3 = V3; 5 = V5; 6 = V6; 7 = V7; 8 = V8; 9 = V9; 10 = V10; 14 = R1; 15 = R2; 16 = R3; 17 = R4; 18 = R5.1; 19 = R5.2; 20 = R5.3; 21 = R5.4; 22 = R5.5; 23 = R6; 25 = R7.1; 26 = R7.2; 27 = R7.3; 28 = R8.1; 29 = R8.2; 30 = R9.

O ponto de aceleração máxima (PAM) é alcançado após o estágio fenológico de R5.3, conforme indicado na Tabela 4, evidenciando um atraso na chegada do ponto crítico de desenvolvimento da doença nas condições analisadas. A severidade registrada no ponto de aceleração máxima (S_PAM) apresentou uma média de 12%, com variação entre 0,6% e 20,2% nas diferentes épocas de semeadura. Os menores valores foram observados na safra 2019/2020 para as semeaduras de setembro, outubro e novembro. Em contraste, os maiores níveis de severidade foram mensurados na época de dezembro, independentemente da safra avaliada.

A interpretação biológica dos parâmetros e pontos críticos do modelo logístico não deve ser realizada de maneira isolada, exigindo uma análise criteriosa do comportamento da epidemia ao longo das três safras e quatro épocas de semeadura. Embora a assíntota possa ser utilizada de forma simples e isolada para comparar a severidade ao final do ciclo de cultivo, os demais parâmetros e pontos críticos desempenham um papel crucial ao enriquecer as conclusões do estudo. Esses parâmetros adicionais possibilitam inferências valiosas sobre a precocidade e o desenvolvimento da doença no campo ao longo do tempo.

As maiores estimativas do parâmetro "a" (taxa de crescimento do progresso da doença) indicam um aumento significativo na inclinação da curva, como apresentado na Tabela 4.

Notavelmente, as semeaduras de novembro nas safras 2020/2021 e 2021/2022 exibiram estimativas do parâmetro " b " próximas entre si. É observável que na safra 2020/2021, houve uma inclinação menos acentuada em comparação com a safra 2021/2022, resultando em uma maior taxa de crescimento da severidade da Ferrugem da Soja em um intervalo de tempo mais curto. Conforme destacado por Sari *et al.* (2019), o parâmetro " b " está relacionado ao aparecimento do ponto de inflexão em menor tempo. Isso é evidenciado na Figura 7 e está vinculado ao encurtamento entre o PAM e o PDM, conhecido como concentração, com o maior valor sendo observado na safra 2021/2022 (conforme detalhado na Tabela 4).

Ao analisar os pontos críticos, observa-se que o crescimento da severidade da Ferrugem da Soja apresenta uma característica de taxa crescente até atingir o ponto de inflexão. Após esse ponto, a taxa se torna decrescente. Essa observação permite inferências relacionadas à precocidade no crescimento da severidade da Ferrugem. Na safra 2020/2021, na semeadura de novembro, a taxa de crescimento da severidade da Ferrugem ocorreu antes das demais safras estudadas, pois no estágio de R5.4, a severidade da doença já havia atingido seu ponto de inflexão, alterando sua taxa de crescimento de uma condição crescente para decrescente.

O parâmetro de escala " b " (fenologia para atingir metade da severidade final) é diretamente proporcional à diferença entre a severidade inicial e a assíntota da curva, sendo útil para determinar o ponto de inflexão da epidemia ao longo do ciclo de cultivo da soja. Comparando épocas e safras com a mesma taxa de crescimento, mas severidade final diferente, aquele com maior assíntota também apresentará uma estimativa maior do parâmetro " b ", indicando um atraso na epidemia.

O PAM representa a aceleração máxima do desenvolvimento da severidade da Ferrugem Asiática na Soja, marcando o ponto em que o desenvolvimento da severidade atinge sua máxima velocidade. Medir as condições que levaram à Ferrugem atingir essa máxima aceleração é crucial para o planejamento do manejo da doença e para reduzir as perdas em nível de campo. O PAM está associado a condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da Ferrugem. Quanto mais favoráveis forem as condições ambientais, mais rápido e facilitado será o desenvolvimento da doença. Portanto, um aparecimento mais tardio do PAM indica uma dificuldade maior para a Ferrugem se desenvolver no ambiente de cultivo, causada pela falta de condições ambientais adequadas e pela condição em que se encontra o hospedeiro, uma vez que a soja se encaminha para a senescência de suas folhas, tanto naturalmente, devido ao fechamento do ciclo, quanto devido ao abortamento, devido à severidade da doença (ESCOBAR, 2022).

5.2 EFICÁCIA DOS FUNGICIDAS PARA CONTROLE DAS DOENÇAS FOLIARES NA CULTURA DA SOJA

A pressão das doenças apresentou uma variação significativa, refletida nas curvas de severidade ilustradas nas Figuras 1 a 8. O controle médio variou de 48% a 91% para Oídio e de 70% a 84% para Ferrugem Asiática da Soja, resultando em uma produtividade média entre os tratamentos que receberam fungicidas de 4936 Kg ha⁻¹.

A severidade média do Oídio no tratamento Testemunha (sem fungicida) foi de 48,10%, e todos os tratamentos com diferentes fungicidas apresentaram severidade inferior à Testemunha, proporcionando controle superior a 48% (Figura 9). As menores severidades e maiores porcentagens de controle foram observadas nos tratamentos³ com (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125, seguido de (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125, (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125 e (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60), com controle $\geq 66\%$. Os tratamentos com (AZT 60 + STL 30) + MZB 1125 e (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125 apresentaram controle na ordem de 52%. O menor valor de eficiência no controle foi observado para o fungicida (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125 (48%).

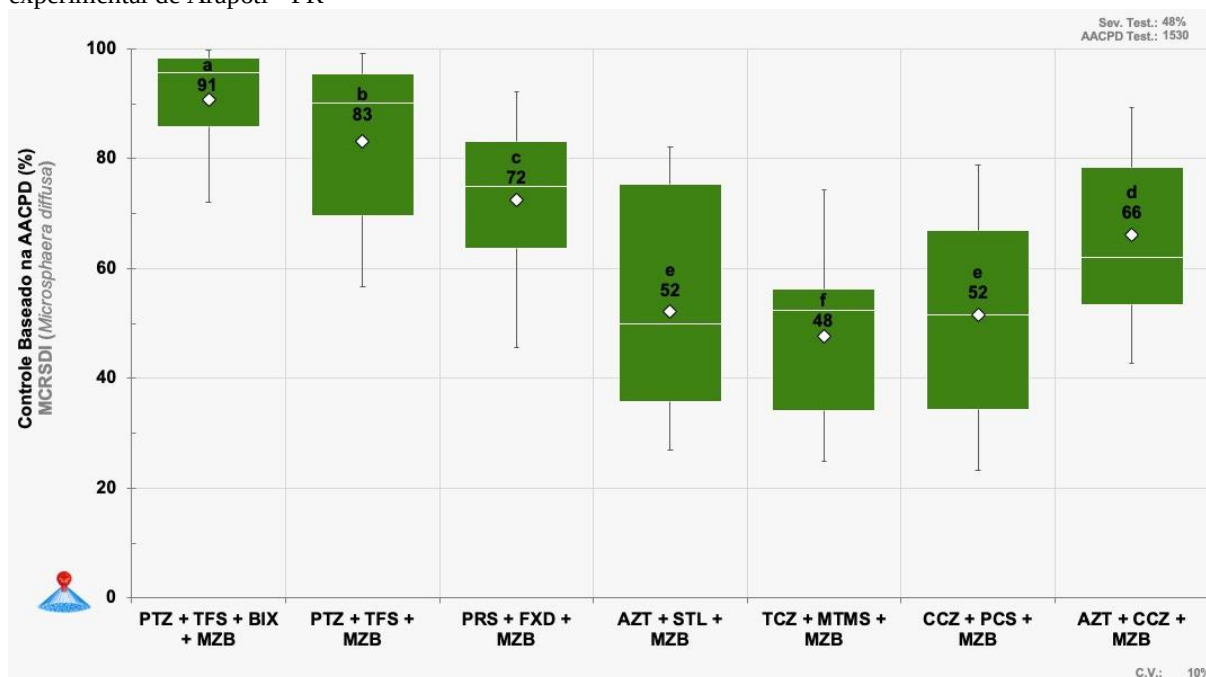
Os fungicidas avaliados demonstraram boa eficiência de controle se aplicados quando a severidade de Oídio $\leq 48\%$. É fundamental utilizar os fungicidas dentro de um sistema de manejo, considerando outras doenças na cultura, e realizar a rotação de fungicidas com diferentes mecanismos de ação para atrasar o desenvolvimento de resistência do fungo aos fungicidas.

Os autores Silva *et al.* (2013) relataram 90% de controle do Oídio em soja utilizando duas aplicações do fungicida piraclostrobina + epoxiconazol, uma mistura de estrubirulina e triazol, mecanismos de ação semelhantes aos produtos testados neste estudo. Gabardo *et al.* (2021) ao estudar a aplicação de produtos alternativos no controle de Oídio em duas safras distintas, observaram controle superior a 63% para o fungicida azoxistrobina + ciproconazol, resultando em um aumento médio de 1310 Kg ha⁻¹ em relação ao tratamento testemunha.

³ Protiiconazol + Trifloxistrobina + Bixafen (87,5 g ha⁻¹ + 75 g ha⁻¹ + 62,5 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); Protiiconazol + Trifloxistrobina (70 g ha⁻¹ + 60 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); Piraclostrobina + Fluxapiroxade (99,9 g ha⁻¹ + 50,1 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); Azoxistrobina + Benzovindiflupir (60 g ha⁻¹ + 30 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); Tebuconazol + Metominostrobin (95,7 g ha⁻¹ + 63,8 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); Ciproconazol + Picoxistrobina (24 g ha⁻¹ + 60 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol (90 g ha⁻¹ + 1350 g ha⁻¹ + 60 g ha⁻¹).

Dada a ampla variedade de fungicidas disponíveis no mercado, informações sobre a eficiência desses produtos contra doenças específicas são determinantes para orientar a escolha e aplicação adequada no campo.

Figura 22 - Variação do controle médio (%) de Oídio (*Microsphaera diffusa*) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



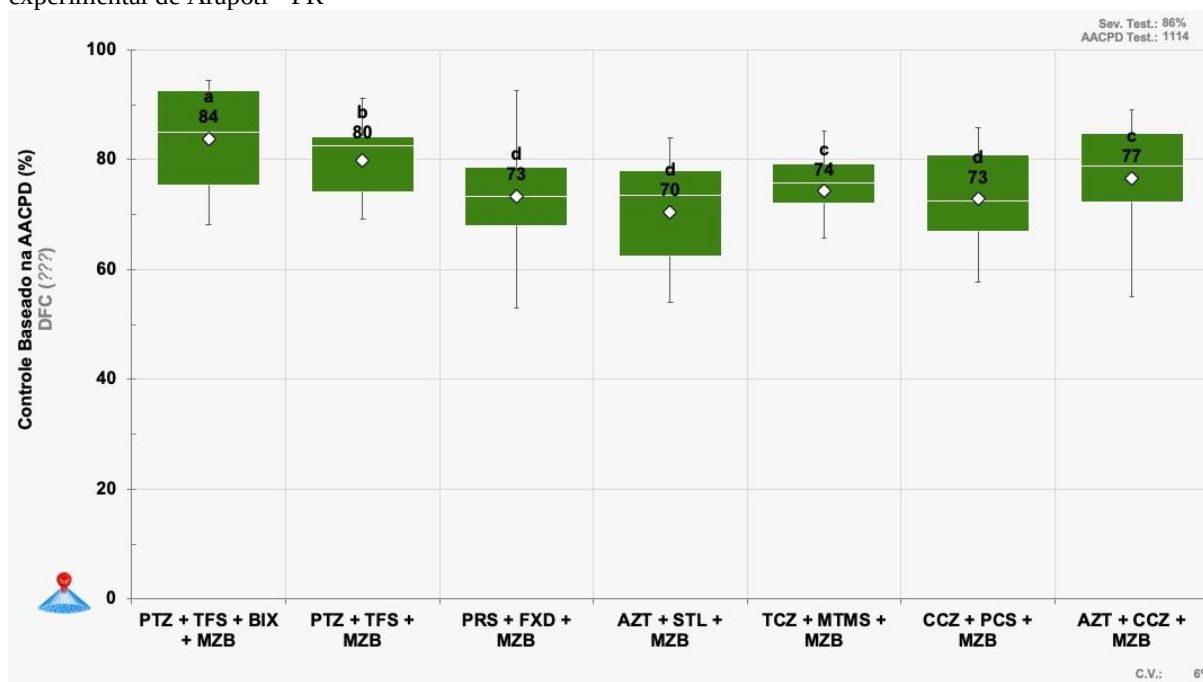
Notas: PTZ + TFS + BIX + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina + Bixafen adicionado Mancozebe; PTZ + TFS + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina adicionado Mancozebe; PRS + FXD + MZB = Piraclostrobina + Fluxapiroxade adicionado Mancozebe; AZT + STL + MZB = Azoxistrobina + Benzovindiflupir adicionado Mancozebe; TCZ + MTMS + MZB = Tebuconazol + Metominostrobinha adicionado Mancozebe; CCZ + PCS + MZB = Ciproconazol + Picoxistrobina adicionado Mancozebe; AZT + MZB + CCZ = Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol. Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. C.V.= Coeficiente de Variação; Sev. Test= Severidade média do tratamento Testemunha; AACPD Test= média da área abaixo curva do progresso da doença do tratamento Testemunha.

O presente trabalho oferece informações relevantes para o manejo da ferrugem da soja, abrangendo os principais grupos químicos. Os dados foram coletados ao longo das últimas três safras e quatro épocas de semeadura, contemplando uma diversidade significativa de condições ambientais propícias às principais doenças da cultura.

A porcentagem de controle da doença obtida por meio da aplicação dos fungicidas testados variou de 70% a 84%. Destacam-se as menores severidades e as maiores porcentagens de controle alcançadas pelo fungicida (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125 (84%), seguido pelo produto (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125 (80%). Os fungicidas (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60) e (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125 também apresentaram eficácia

considerável, atingindo 77% e 74%, respectivamente. Por outro lado, os tratamentos com (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125, (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125 e (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125 registraram eficiências um pouco inferiores, situando-se entre 73% e 70%, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Variação do controle médio (%) de Ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



Notas: PTZ + TFS + BIX + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina + Bixafen adicionado Mancozebe; PTZ + TFS + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina adicionado Mancozebe; PRS + FXD + MZB = Piraclostrobina + Fluxapiroxade adicionado Mancozebe; AZT + STL + MZB = Azoxistrobina + Benzovindiflupir adicionado Mancozebe; TCZ + MTMS + MZB = Tebuconazol + Metominostrobin adicionado Mancozebe; CCZ + PCS + MZB = Ciproconazol + Picoxistrobina adicionado Mancozebe; AZT + MZB + CCZ = Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol.

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

C.V.= Coeficiente de Variação; Sev. Test= Severidade média do tratamento Testemunha; AACPD Test= média da área abaixo curva do progresso da doença do tratamento Testemunha.

Os resultados do controle da Ferrugem da Soja demonstram um desempenho consistente do fungicida PTZ + TFS ao longo das safras e épocas analisadas. A eficácia superior da mistura tríplice, que inclui o fungicida PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5, não pode ser atribuída exclusivamente à adição do ingrediente ativo BIX. Isso é evidenciado pela quantidade total de PTZ e TFS por hectare ser maior na mistura tríplice (87,5 + 75) em comparação à dupla mistura TFS 60 + PTZ 70. Em um estudo realizado por Sacon *et al.* (2020) sobre a integração entre controle genético e químico da Ferrugem, conduzido no norte do estado do RS, foi relatada uma eficácia de 71% para TFS (60 g ha⁻¹) + PTZ (70 g ha⁻¹), inferior aos dados apresentados neste

trabalho (79,93% de eficácia). Ambos os resultados foram numericamente inferiores à meta-análise (83,6% de eficácia) apresentada por Dalla Lana *et al.* (2018). Além disso, Sacon *et al.* (2020) observaram controle semelhante ao relatado aqui (73,26%) com o fungicida Piraclostrobina + Fluxapiroxade ($99,9 \text{ g ha}^{-1} + 50,1 \text{ g ha}^{-1}$), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha^{-1}).

Na safra de verão 2012/2013 foram introduzidos novos fungicidas do grupo das Carboxamidas para o controle das principais doenças da soja. Esses fungicidas possuem um modo de ação específico, inibindo a respiração fúngica por meio do complexo II - succinato desidrogenase (SDHI), conforme classificação da FRAC. Atualmente, no mercado, temos disponíveis fungicidas pertencentes ao grupo Carboxamida, tais como Benzovindiflupyr, Bixafen, Boscalida, Fluxopyraxade e Impirfluxam, destinados às aplicações na parte aérea das plantas.

Zambolim, Juliatti e Guerra (2021) abordaram a introdução das Carboxamidas no controle da Ferrugem da Soja, destacando o aumento do problema de resistência do fungo aos fungicidas devido ao modo de ação específico desses compostos, o que pode resultar em resistência nas populações de *P. pachyrhizi*. Diante desse cenário, os fungicidas desse grupo não são recomendados para aplicação de forma isolada no controle da Ferrugem. Como resposta a essa preocupação, surgiram misturas duplas e triplas para o controle de *P. pachyrhizi*, incluindo combinações de Carboxamidas com outros mecanismos bioquímicos de ação, como os DMI's e QoI's, que atuam de maneiras distintas na cadeia respiratória mitocondrial de fungos fitopatogênicos.

Atualmente, novas moléculas de fungicidas eficazes para o controle da Ferrugem não estão prontamente disponíveis para os produtores. Fungicidas mais antigos e de amplo espectro, como mancozeb, oxicloreto de cobre e clorotalonil, classificados como multi-sítio e/ou protetores, são submetidos a testes constantes. Esses compostos, que apresentam baixo risco de resistência, são frequentemente utilizados em misturas nas formulações dos produtos ou em combinações no tanque de pulverização. O objetivo é aumentar a eficiência de controle e reduzir o risco de resistência, conforme destacado por Godoy *et al.* (2016).

Apesar de pertencerem ao mesmo grupo químico dos triazóis, alguns produtos dentro desse grupo são mais eficientes que outros, conforme observado por Garcés-Fiallos e Forcelini (2013) e Godoy *et al.* (2020a). Além disso, os autores constataram que certos produtos podem perder sua eficiência devido a populações do fungo menos sensíveis a um fungicida específico. Isso ocorre porque, embora todos os triazóis tenham o mesmo modo de ação sobre o fungo, o

mecanismo de reconhecimento do fungicida pelo fungo difere para cada produto (RODRIGUES; VIERO, 2014).

De acordo com Godoy *et al.* (2020b), após a safra de verão 2007/2008, houve uma redução generalizada na eficiência dos fungicidas do grupo dos inibidores de desmetilação (IDM), com a exceção do protioconazol. Na safra de 2017/2018, a eficiência média dos IDM, tebuconazol e ciproconazol, em uma rede de ensaios conduzidos pela Embrapa, foi de 25% de controle, com uma média de quatro aplicações.

O protioconazol, por ser um fungicida composto por um princípio ativo inovador, apresenta uma ligação diferenciada no sítio de ação do fungo, estabelecendo-se como uma nova geração no grupo químico dos inibidores de desmetilação (IDM), sendo classificado quimicamente como triazolinona, conforme a classificação da FRAC (FRAC, 2023). Este fungicida é considerado o último IDM registrado para o controle de *P. pachyrhizi*, mantendo a maior eficiência, como destacado por Godoy *et al.* (2020b).

A redução da sensibilidade da ferrugem da soja ao grupo químico QoI tem uma clara associação com a ocorrência da substituição F129L, resultante de mutações no sítio-alvo do gene CYTB. Essa substituição foi relatada pela primeira vez em isolados de *P. pachyrhizi* coletados na safra 2012/13 e sua incidência aumentou em frequência na safra 2013/14 (KLOSOWSKI *et al.*, 2016). Apesar da resistência cruzada ocorrer no mesmo grupo químico, as mutações impactam os ingredientes ativos de maneiras distintas. Para os QoIs, a mutação F129L exerce um efeito quantitativo em *P. pachyrhizi*, afetando o desempenho da azoxistrobina e da piraclostrobina mais do que outros ingredientes ativos, como picoxistrobina, trifloxistrobina e metominostrobin, conforme destacado por Godoy *et al.* (2021).

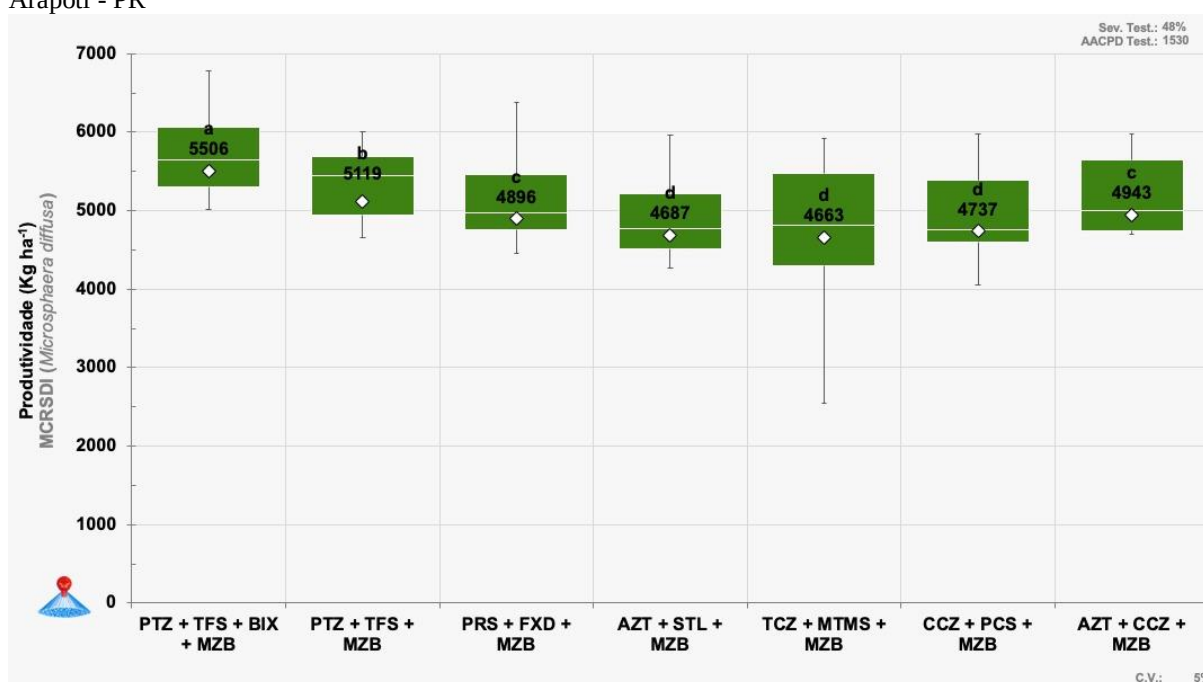
A redução da sensibilidade de *P. pachyrhizi* a DMIs, QoIs e SDHIs, seja isoladamente ou em misturas, levou Reis, Zanatta e Reis (2020) a sugerir estratégias para o manejo anti-resistência de fungicidas contra o fungo, especialmente a ferrugem da soja, visando preservar a eficácia dos ingredientes ativos pelo maior tempo possível.

Os tratamentos com protioconazol [(PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125 = 5506 kg ha⁻¹ e (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125 = 5119 kg ha⁻¹] apresentaram as maiores produtividades, atribuídas aos melhores controles de oídio e ferrugem, conforme ilustrado nas Figuras 14, 15 e 16. Os fungicidas (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60) e (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125 alcançaram produtividades de 4943 e 4896 kg ha⁻¹, respectivamente. Já os tratamentos (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125, (AZT 60 + STL 30) + MZB 1125 e (TCZ 95,7 +

MTMS 63,8) + MZB 1125 registraram produtividades de 4737, 4687 e 4663 kg ha⁻¹, sem diferenças estatísticas evidentes (Figura 11).

Para o desenvolvimento de cultivares resistentes e/ou tolerantes à Ferrugem da soja, a seleção de genótipos com base na avaliação do desenvolvimento de doenças e em características de rendimento, como maior número de grãos por planta e massa de mil grãos, sob alta pressão de inóculo de Ferrugem, é uma alternativa promissora (KATO; MOREL; YAMANAKA, 2022; LIMA *et al.*, 2012; REIS; CARREGAL; ZANATTA, 2019).

Figura 24 - Variação da produtividade média dos tratamentos (kg ha⁻¹) no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



Notas: PTZ + TFS + BIX + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina + Bixafen adicionado Mancozebe; PTZ + TFS + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina adicionado Mancozebe; PRS + FXD + MZB = Piraclostrobina + Fluxapiroxade adicionado Mancozebe; AZT + STL + MZB = Azoxistrobina + Benzovindiflupir adicionado Mancozebe; TCZ + MTMS + MZB = Tebuconazol + Metominostrobinha adicionado Mancozebe; CCZ + PCS + MZB = Ciproconazol + Picoxistrobina adicionado Mancozebe; AZT + MZB + CCZ = Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol.
Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.
C.V.= Coeficiente de Variação; Prod. Test= Produtividade média do tratamento Testemunha.

Dessa forma, a integração de métodos de manejo desempenha um papel significativo na redução da pressão de seleção sobre *P. pachyrhizi*. A combinação de resistência genética com o controle químico contribui para minimizar a perda de eficiência dos fungicidas no controle da Ferrugem. A adoção de abordagens integradas certamente proporcionará maior eficácia no manejo dessa doença.

5.3 EFEITO DA SEVERIDADE DE OÍDIO (*Microsphaera diffusa*) E FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*) NA EFICÁCIA DOS FUNGICIDAS

Os interceptos e inclinações estimados para as relações entre a severidade e o controle de Oídio e Ferrugem, ajustados para os fungicidas, apresentaram variações (Tabela 5). A média geral representada pelo fungicida para a variável Oídio mostrou uma inclinação na ordem de -1,28, com variação entre -1,33 e -0,93, e um intercepto de 98,1, variando entre 88,97 e 101,56 (Tabela 5). A análise de regressão entre o controle e a severidade de Oídio revelou uma tendência linear e direta, com R^2 variando entre 0,29 e 0,66, um REQM inferior a 16,7%, e um p -valor $\leq 0,001$ (Figura 17).

Os maiores valores de REQM foram observados para os fungicidas (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125, (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125 e (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125 (16,73%, 15,09% e 14,18%, respectivamente), indicando a variabilidade desses fungicidas no controle do Oídio. Esses resultados estão em concordância com as menores porcentagens de eficácia apresentadas na Figura 12. Por outro lado, os menores valores de REQM e maiores de R^2 foram registrados nos fungicidas contendo Protiocanazol na formulação, destacando a efetividade desses produtos no manejo da doença.

Dado que os experimentos foram conduzidos em épocas e safras distintas, não foi possível realizar comparações diretas entre os produtos dentro de cada nível de severidade, devido à evolução diferenciada da doença ao longo das épocas testadas. Observou-se que a porcentagem de controle em relação à AACPD diminuiu à medida que o limiar de severidade do Oídio aumentou. Com base nesse padrão, os fungicidas demonstraram ser mais eficazes em retardar o progresso da doença quando a severidade inicial foi inferior a 10%.

Ao investigar a sensibilidade de *E. diffusa* aos fungicidas Scolin, Canteri e Godoy (2023) recomendam a realização de monitoramentos para avaliar a eficácia dos fungicidas, com o intuito de ajustar as recomendações e definir limiares de ação para otimizar o controle do oídio. Conforme apontado pelos autores, aplicações realizadas em estágios iniciais de severidade (11% e 15%) demonstraram maior eficácia no controle de doenças quando comparadas a aplicações em estágios de severidade superiores a 27%.

Mesmo considerando a diversidade nas condições de pressão de doenças nos experimentos, os resultados sugerem que a redução no controle em campo pode estar associada a aplicações em estágios de alta severidade (>25%). Fica evidenciado que aplicações realizadas

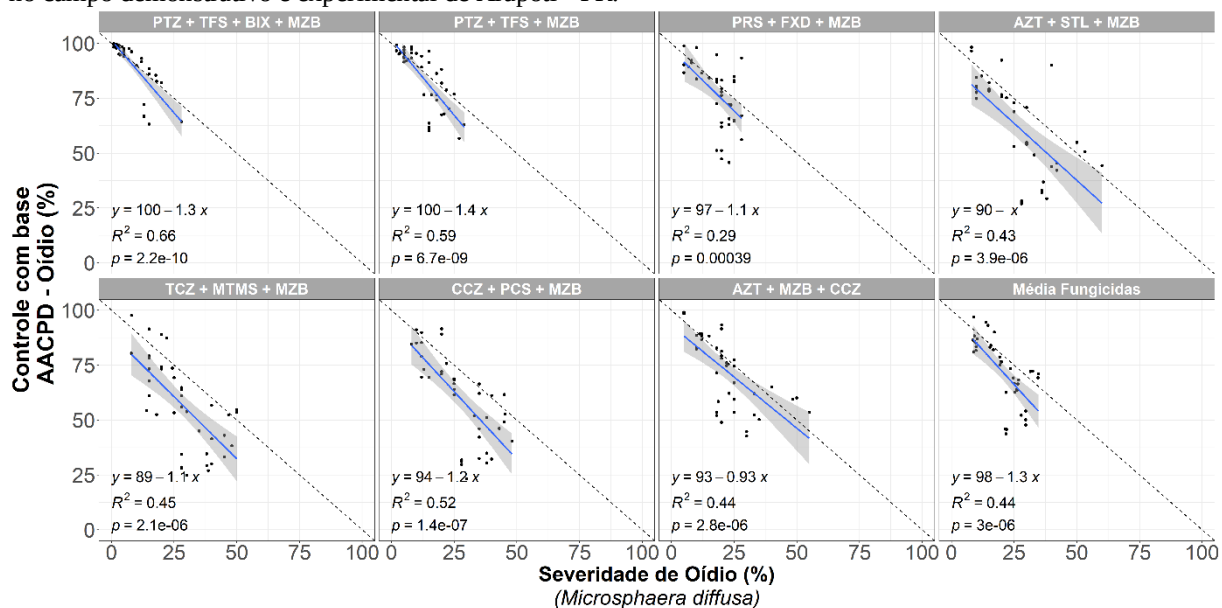
com severidades entre 40% e 50% podem resultar em uma eficácia de controle reduzida, conforme apresentado na Tabela 5 e Figura 12.

Tabela 5 - Valores dos parâmetros da regressão linear simples para a variável resposta (obtido por meio da área abaixo da curva do progresso da doença) em função da variável preditora (severidade avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2)

Fungicidas	Oídio (<i>Microsphaera diffusa</i>)					Ferrugem da Soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>)				
	Intercepto	Inclinação	P. valor	R ²	REQM	Intercepto	Inclinação	P. valor	R ²	REQM
(PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125	101,380	-1,323	<0,0001	0,66	6,34	99,117	-0,553	<0,0001	0,96	1,95
(PTZ 70 + TFS 600) + MZB 1125	101,682	-1,376	<0,0001	0,59	8,69	98,713	-0,558	<0,0001	0,93	2,80
(PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125	97,057	-1,114	0,0004	0,29	12,11	98,458	-0,670	<0,0001	0,95	3,36
(AZT 60+ STL 30) + MZB 1125	89,527	-1,039	<0,0001	0,43	16,73	97,946	-0,673	<0,0001	0,90	4,98
(TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125	88,977	-1,133	<0,0001	0,45	15,09	97,485	-0,629	<0,0001	0,92	3,61
(CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125	93,909	-1,236	<0,0001	0,52	14,18	98,739	-0,660	<0,0001	0,94	3,31
(AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60)	92,913	-0,932	<0,0001	0,44	12,15	97,573	-0,572	<0,0001	0,86	4,89
Média Fungicidas	98,102	-1,276	<0,0001	0,45	11,47	98,150	-0,614	<0,0001	0,95	2,90

Notas: (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125 = Protiokonazol + Trifloxistrobina + Bixafen (87,5 g ha⁻¹ + 75 g ha⁻¹ + 62,5 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125 = Protiokonazol + Trifloxistrobina (70 g ha⁻¹ + 60 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125 = Piraclostrobina + Fluxapiraxade (99,9 g ha⁻¹ + 50,1 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125 = Azoxistrobina + Benzovindiflupir (60 g ha⁻¹ + 30 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125 = Tebuconazol + Metominostrobin (95,7 g ha⁻¹ + 63,8 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125 = Ciproconazol + Picoxistrobina (24 g ha⁻¹ + 60 g ha⁻¹), adicionado de Mancozebe (1.125 g ha⁻¹); (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60) = Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol (90 g ha⁻¹ + 1350 g ha⁻¹ + 60 g ha⁻¹)

Figura 25 - Relação entre a severidade (%) de Oídio (*Microsphaera diffusa*) avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2 e o controle de Oídio (%) obtido por meio da área abaixo da curva do progresso da doença, avaliados no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR.



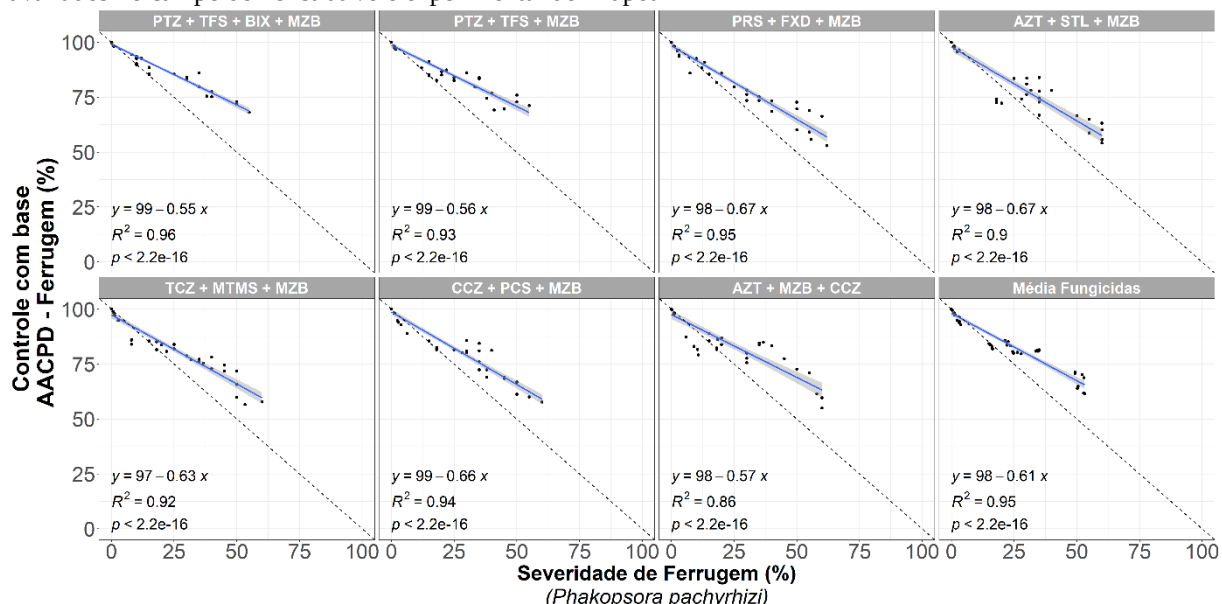
Notas: PTZ + TFS + BIX + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina + Bixafen adicionado Mancozebe; PTZ + TFS + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina adicionado Mancozebe; PRS + FXD + MZB = Piraclostrobina + Fluxapiroxade adicionado Mancozebe; AZT + STL + MZB = Azoxistrobina + Benzovindiflupir adicionado Mancozebe; TCZ + MTMS + MZB = Tebuconazol + Metominostrobina adicionado Mancozebe; CCZ + PCS + MZB = Ciproconazol + Picoxistrobina adicionado Mancozebe; AZT + MZB + CCZ = Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol.

Os valores de inclinação da equação de regressão para a Ferrugem Asiática da Soja, que representam a taxa de severidade por unidade de controle (refletindo em declínio na eficácia), variaram entre os fungicidas, indo de -0,553 a 0,673, sendo significativamente diferentes de zero para todos ($p < 0,001$) (Tabela 5). (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125 e (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125 (com inclinação de -0,553 e -0,558, respectivamente) foram os fungicidas nos quais o declínio foi menos acentuado à medida que a severidade aumentou nas parcelas avaliadas no final do ciclo de cultivo do experimento. As maiores taxas de declínio na eficácia (com base na inclinação da regressão) foram estimadas para (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125, (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125 e (AZT 60 + STL 30) + MZB 1125, com valores na ordem de -0,660; -0,670 e -0,673, respectivamente (Tabela 5 e Figura 18).

Para severidades inferiores a 30% de Ferrugem, a eficácia estimada dos fungicidas foi superior a 80% para três deles: (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125, (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125 e (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60). No entanto, em condições ambientais favoráveis à doença, os fungicidas (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125, (CCZ 24 + PCS

60) + MZB 1125, (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125 e (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125 apresentaram redução no controle, com potencial prejuízo na produtividade da soja.

Figura 26 - Relação entre a severidade (%) de Ferrugem da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*) avaliada entre os estádios fenológicos de R6 e R7.2 e o controle (%) obtido por meio da área abaixo da curva do progresso da doença, avaliados no campo demonstrativo e experimental de Arapoti - PR



Notas: PTZ + TFS + BIX + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina + Bixafen adicionado Mancozebe; PTZ + TFS + MZB = Protiocanazol + Trifloxistrobina adicionado Mancozebe; PRS + FXD + MZB = Piraclostrobina + Fluxapiroxade adicionado Mancozebe; AZT + STL + MZB = Azoxistrobina + Benzovindiflupir adicionado Mancozebe; TCZ + MTMS + MZB = Tebuconazol + Metominostrobin adicionado Mancozebe; CCZ + PCS + MZB = Ciproconazol + Picoxistrobina adicionado Mancozebe; AZT + MZB + CCZ = Azoxistrobina + Mancozebe + Ciproconazol.

Dalla Lana *et al.* (2018), por meio de um modelo meta-analítico que considerou mais de 200 estudos de campo realizados entre as safras 2004/05 a 2013/14, avaliaram a taxa anual de declínio no controle da Ferrugem Asiática da Soja por alguns fungicidas. Os autores constataram que os fungicidas com maiores reduções percentuais por ano foram: tebuconazol, azoxistrobina e ciproconazol. Embora em menor escala, também observaram declínio para a mistura picoxistrobina + ciproconazol. As razões para o declínio no controle da Ferrugem da Soja podem estar relacionadas ao surgimento de populações de *P. pachyrhizi* com alterações específicas responsáveis pela perda de sensibilidade aos fungicidas DMI (inibidores de ergosterol), QoI (inibidores externos de quinona) e SDHIs. Os eventos de emergência de resistência estão diretamente vinculados ao uso contínuo do mesmo princípio ativo, submetendo o fungicida a entre 8 e 10 ciclos do patógeno em apenas um ciclo da cultura (DALLA LANA *et al.*, 2018; GODOY *et al.*, 2016; REIS *et al.*, 2017).

Conforme Zambolim, Juliatti e Guerra (2021), é aconselhável evitar aplicações sequenciais e curativas para reduzir a pressão de seleção sobre a população de *P. pachyrhizi*. O controle da doença deve ser sempre preventivo, dada a agressividade do patógeno. O momento da aplicação é de suma importância no controle da doença. Diversos fatores devem ser considerados antes da decisão de pulverizar, incluindo a fase fenológica, época de semeadura, condições ambientais, ciclo da soja, safra anterior e incidência de doenças no campo.

A eficácia dos fungicidas tem demonstrado uma redução ao longo do tempo no Brasil (DALLA LANA *et al.*, 2018; GODOY *et al.*, 2016), realçando a crescente importância dos genes de resistência presentes nos genótipos para o controle efetivo da Ferrugem Asiática da Soja. Ishiwata e Furuya (2020) notaram que a adoção de cultivares resistentes à Ferrugem resultou em uma significativa redução, pela metade, nos custos estimados de controle da doença no Brasil (KATO; MOREL; YAMANAKA, 2022).

Conforme evidenciado nas Figuras 12 e 13, o aumento da severidade das doenças contribui de maneira linear para a redução no controle. Com o objetivo de diminuir a velocidade da seleção direcional dos fungos patogênicos e prolongar a eficácia dos fungicidas, é crucial adotar algumas medidas no manejo das doenças na cultura da soja. Isso inclui a incorporação de fungicidas protetores e multissítio, a aplicação de uma rotação de fungicidas com diferentes mecanismos de ação, a realização de aplicações ao primeiro sinal de sintomas, a utilização de tecnologia de aplicação adequada, e o emprego do fungicida na época, dose e intervalos de aplicação recomendados.

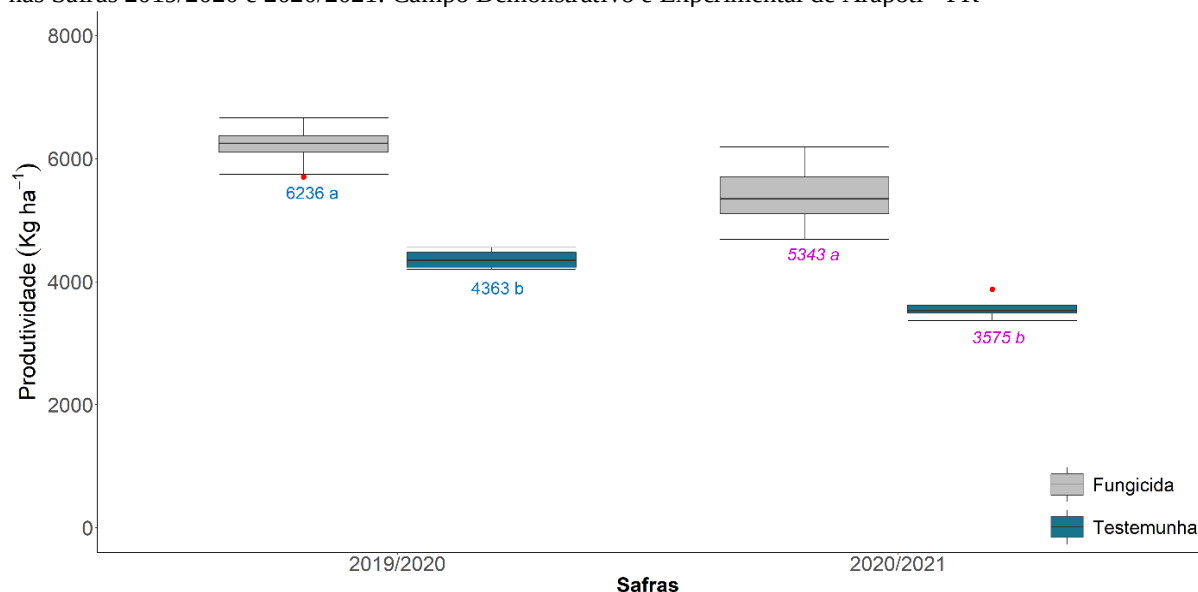
5.4 PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DAS DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA, SAFRAS E APLICAÇÃO DE FUNGICIDA

A produtividade média da soja foi notavelmente superior, ultrapassando os 3969 Kg ha⁻¹ nas épocas de semeadura de setembro e outubro, em comparação com novembro e dezembro. A antecipação da semeadura em setembro, aliada à aplicação de fungicidas, resultou na redução significativa dos danos causados pelo Oídio e pela Ferrugem Asiática da Soja, refletindo em uma resposta positiva em termos de produtividade.

A semeadura realizada em setembro destacou-se ao apresentar as maiores respostas em produtividade ao comparar o tratamento Testemunha com os tratamentos que receberam fungicida. Na safra de 2019/2020, a diferença entre os tratamentos com e sem fungicida foi significativa, atingindo a ordem de 1872 Kg ha⁻¹. Na safra 2020/2021, o tratamento Testemunha

registrou uma produtividade de 3575 Kg ha⁻¹, enquanto o tratamento com fungicida alcançou 5343 Kg ha⁻¹, representando uma diferença de 33%. Considerando a média dessas duas safras, a produção de 3969 Kg ha⁻¹ para o tratamento Testemunha e 5789 Kg ha⁻¹ para os tratamentos que receberam fungicida revelou uma diferença de 1820 Kg ha⁻¹, equivalente a um aumento de 32% em produtividade (conforme ilustrado na Figura 14).

Figura 27 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Setembro nas Safras 2019/2020 e 2020/2021: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR



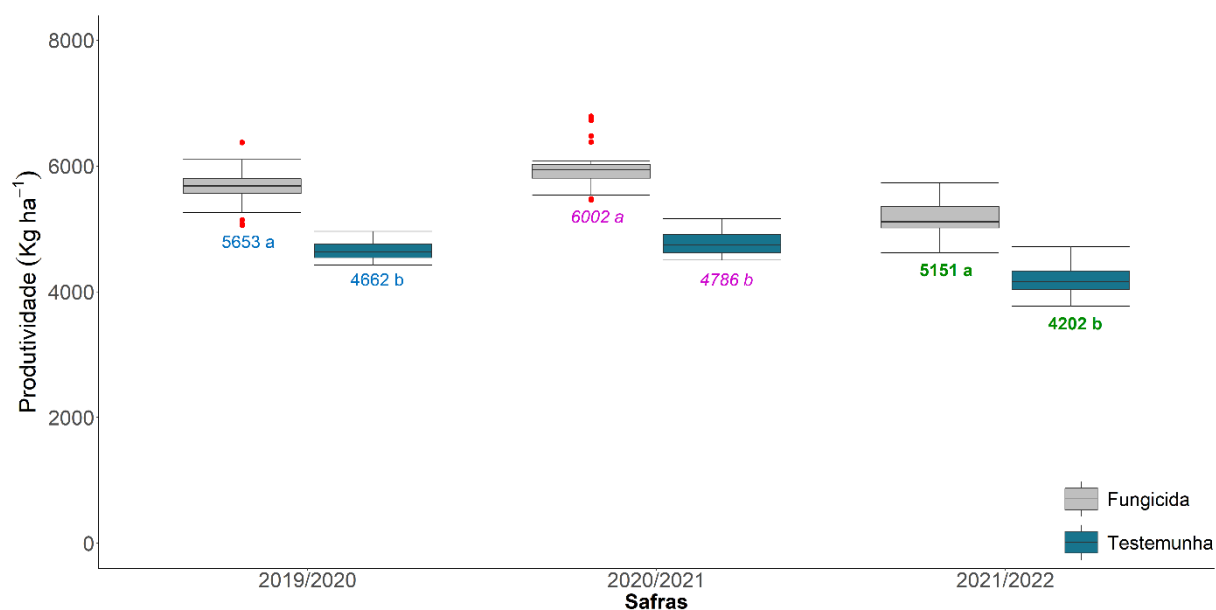
Notas: Médias seguidas de letras iguais na mesma safra, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Tratamento **Fungicida** corresponde as parcelas que receberam os produtos: (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125; (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125; (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125; (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125; (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125; (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125; (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60).
Tratamento **Testemunha**: sem aplicação de fungicida.

O destaque da época de outubro fica para a produtividade, com valores superiores 4550 Kg ha⁻¹ para o tratamento Testemunha e 5602 Kg ha⁻¹ para o tratamento com fungicida. A diferença entre esses tratamentos atinge a ordem de 1052 Kg ha⁻¹, representando um aumento significativo de 19%, conforme ilustrado na Figura 15. Ao analisar os valores de produtividade dentro de cada safra, observa-se a maior resposta para a aplicação de fungicida nas safras 2020/2021, 2021/2022 e 2019/2020, com incrementos de 20%, 18% e 18%, respectivamente.

As épocas de semeadura em setembro e outubro revelaram os maiores índices de severidade para o Oídio, conforme detalhado na Tabela 3. De acordo com Scolin, Canteri e Godoy (2023), é crucial monitorar a sensibilidade do Oídio (*Microspheera diffusa*) aos fungicidas a fim de atualizar as recomendações quanto à eficácia desses agentes. O limiar de ação também deve ser ajustado para garantir maior eficácia no controle do Oídio.

Notavelmente, aplicações realizadas em estágios de severidade mais baixos (11% e 15%) demonstraram maior eficácia no controle de doenças em comparação com aquelas realizadas em estágios de severidade $\geq 27\%$.

Figura 28 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Outubro nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR



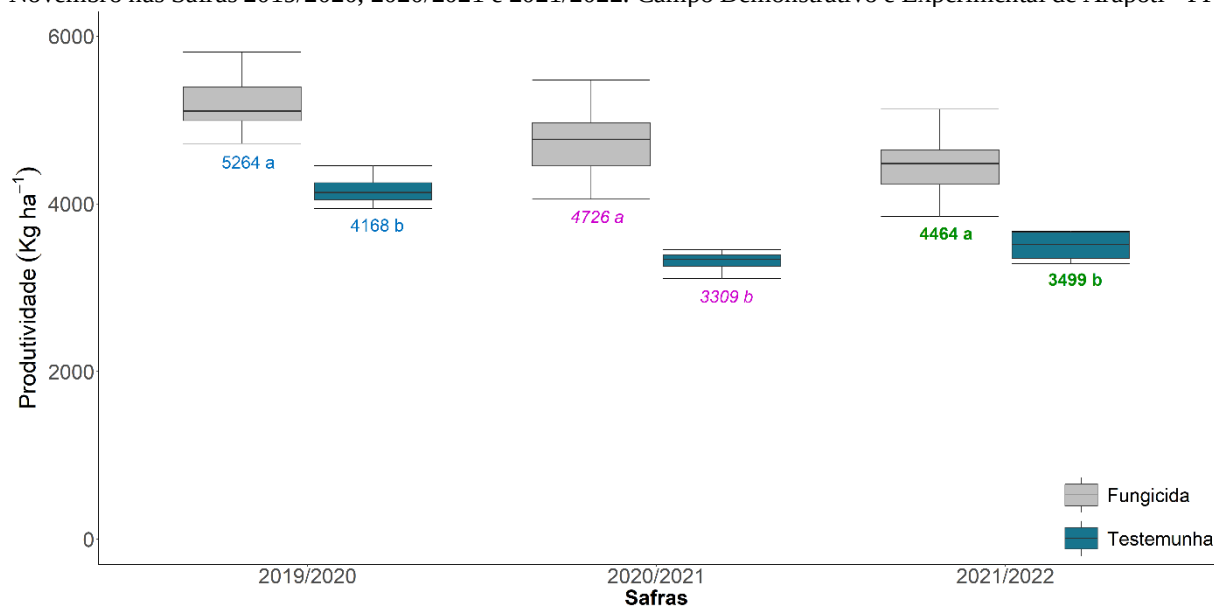
Notas: Médias seguidas de letras iguais na mesma safra, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Tratamento **Fungicida** corresponde as parcelas que receberam os produtos: (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125; (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125; (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125; (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125; (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125; (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125; (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60).
Tratamento **Testemunha**: sem aplicação de fungicida.

Embora a Ferrugem da soja não represente uma ameaça significativa à produtividade devido à menor pressão de inóculo nas primeiras épocas de semeadura (GODOY *et al.*, 2016), a aplicação de fungicidas em anos específicos será motivada pela presença da doença no campo. Com base nas observações do presente estudo, as épocas de setembro e outubro podem beneficiar-se de pelo menos uma aplicação de fungicida em um estágio específico de crescimento, com as aplicações sendo monitoradas pela presença de doenças em nível de campo.

No mês de novembro, a produtividade do tratamento Testemunha para as safras de 2020/2021, 2019/2020 e 2021/2022 foi de 3309, 4168 e 3499 Kg ha⁻¹, respectivamente. Já o tratamento com aplicação de fungicida registrou 4726, 5264 e 4464 Kg ha⁻¹, resultando em diferenças de 1417, 1097 e 964 Kg ha⁻¹, respectivamente. Ao analisar as médias dessas três safras, a produtividade de 3658 Kg ha⁻¹ para a Testemunha e 4818 Kg ha⁻¹ para a aplicação de

fungicida representa uma diferença de 1159 Kg ha⁻¹, correspondendo a um aumento de 24% em resposta à aplicação de fungicidas químicos (Figura 16). Esses resultados indicam a eficácia potencial das aplicações de fungicidas, mesmo em épocas em que a Ferrugem da soja não é considerada uma ameaça iminente, destacando a importância da estratégia de manejo adaptativo.

Figura 29 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Novembro nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR



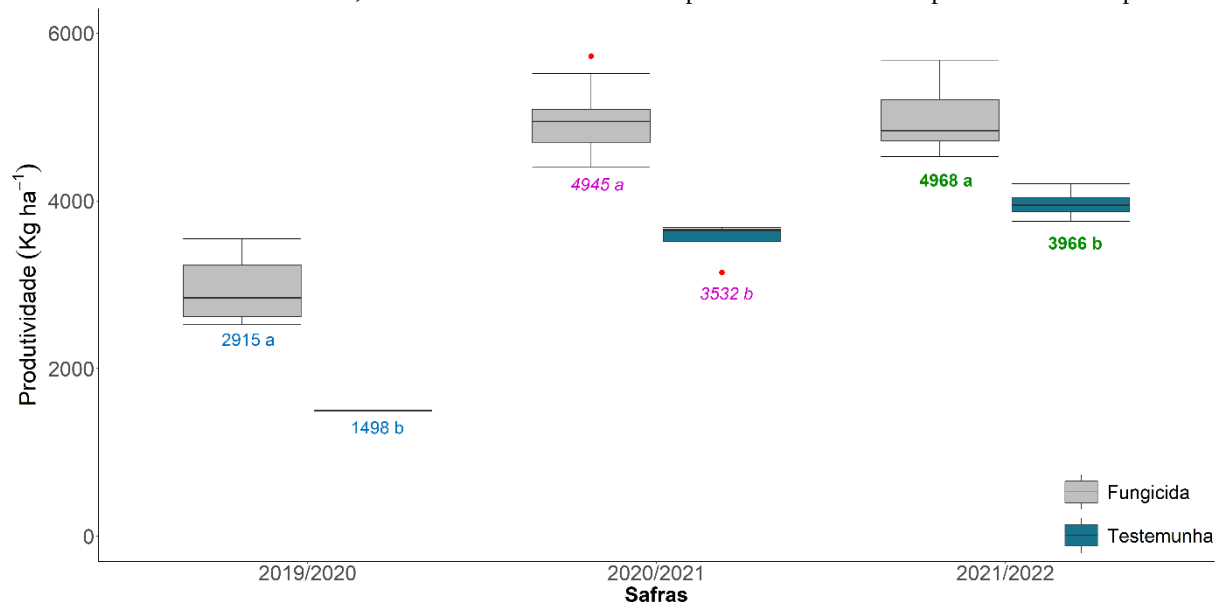
Notas: Médias seguidas de letras iguais na mesma safra, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Tratamento **Fungicida** corresponde as parcelas que receberam os produtos: (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125; (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125; (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125; (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125; (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125; (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125; (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60).
Tratamento **Testemunha**: sem aplicação de fungicida.

Em relação à época de semeadura em dezembro, observou-se o menor valor de produtividade na Testemunha, com 2998,9 Kg ha⁻¹, e 4276,1 Kg ha⁻¹ para a aplicação de fungicidas, resultando em uma resposta à aplicação de fungicidas na ordem de 1277 Kg ha⁻¹, representando um aumento de 32,4%. Em relação às safras, o tratamento com fungicida apresentou diferenças na ordem de 49%, 29% e 20% para as safras de 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. As épocas de novembro e dezembro destacaram-se pelos maiores valores de severidade para Ferrugem da soja (Tabela 4 e Figura 17).

Os resultados indicam que a produtividade da soja foi superior em setembro e outubro em comparação com novembro e dezembro. A antecipação da semeadura nessas épocas, combinada com a aplicação de fungicidas, demonstrou redução significativa nos danos causados pela ferrugem asiática da soja, resultando em um aumento notável na produtividade

da soja. Este efeito foi particularmente evidente em épocas de cultivo com alta pressão de inóculo da doença, sublinhando a importância estratégica da gestão integrada para otimizar o rendimento da cultura.

Figura 30 - Variação na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida em Semeaduras de Dezembro nas Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR



Notas: Médias seguidas de letras iguais na mesma safra, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Tratamento **Fungicida** corresponde as parcelas que receberam os produtos: (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125; (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125; (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125; (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125; (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125; (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125; (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60). Tratamento **Testemunha**: sem aplicação de fungicida.

A Ferrugem Asiática da Soja (*Phakopsora pachyrhizi* (Syd & P. Syd.)) foi identificada como causadora de perdas de produtividade moderadas a severas em nível global (HARTMAN; WANG; TSCHANZ, 1991; PIVONIA; YANG; PAN, 2005). No Brasil, a confirmação da presença da Ferrugem da soja ocorreu pela primeira vez na safra de 2001 (YORINORI; HARTMAN, 2021). Desde então, as epidemias dessa doença são predominantemente registradas nos estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste, onde ela demonstrou rápida progressão, resultando em significativas reduções na produtividade.

Segundo Carmo *et al.* (2018), a época de semeadura da cultura é um dos fatores de maior impacto sobre a produtividade de grãos, com repercussões diretas na arquitetura das plantas, resposta ao fotoperíodo, exposição a diferentes temperaturas do ar, redução do período vegetativo da cultura (da emergência de plântulas ao início do florescimento) e, conseqüentemente, na duração total do ciclo da cultura, o que pode ocasionar modificações morfológicas. Nesse contexto, Frigeri *et al.* (2019) demonstraram que atrasos na implantação

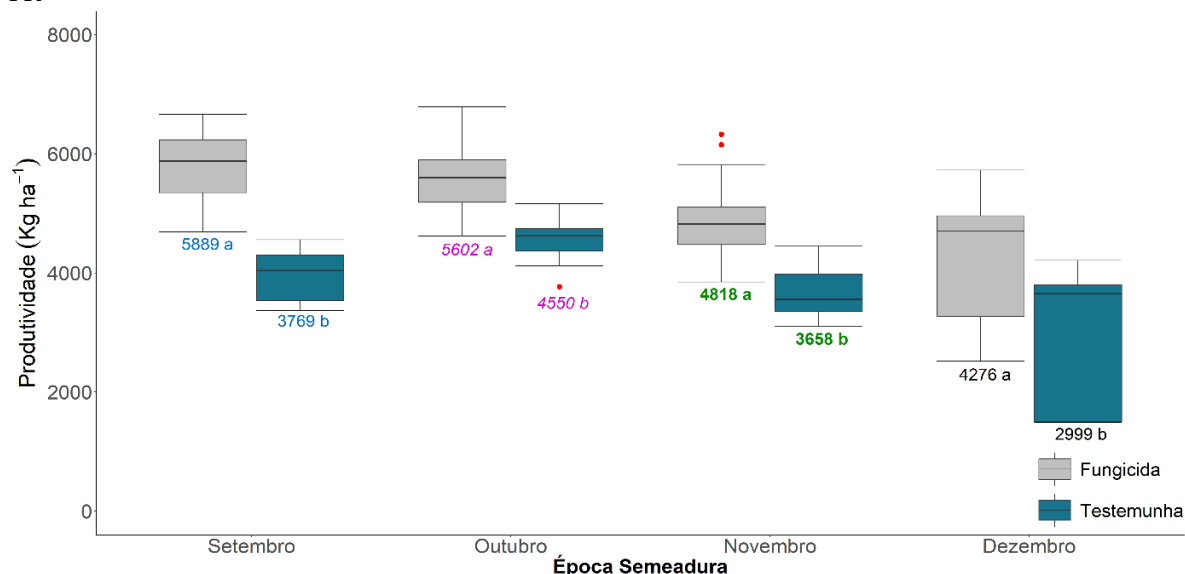
da cultura da soja para épocas mais tardias resultam em produtividade menor em comparação com a semeadura realizada na época preferencial.

Os resultados revelaram que o uso de fungicidas foliares para o controle de Oídio e Ferrugem da soja proporcionou um aumento significativo na produtividade, com uma média de 1327 Kg ha^{-1} , correspondendo a um incremento de 27% na manutenção do potencial produtivo, independentemente da época de semeadura ou safra cultivada.

Ao analisarmos as diferentes épocas de semeadura, observamos as maiores médias de produtividade para a semeadura de outubro (5076 Kg ha^{-1}), seguidas pelas épocas de setembro (4879 Kg ha^{-1}), novembro (4238 Kg ha^{-1}) e dezembro (3638 Kg ha^{-1}). Para a semeadura de setembro, a diferença entre os tratamentos com e sem fungicida foi da ordem de 32%, representando a maior diferença percentual entre as quatro épocas de semeadura. Já na semeadura de outubro, o tratamento Testemunha apresentou uma produtividade na ordem de 4550 Kg ha^{-1} , enquanto o tratamento com fungicida alcançou 5602 Kg ha^{-1} , resultando em uma diferença de 19%, sendo a menor resposta em produtividade ao comparar as quatro épocas. Para a semeadura de novembro, a produção foi de 3658 Kg ha^{-1} para o tratamento Testemunha e 4818 Kg ha^{-1} para os tratamentos que receberam fungicida, apresentando uma diferença da ordem de 1159 Kg ha^{-1} . Na semeadura de dezembro, observamos a segunda maior resposta para os tratamentos com fungicida, com uma produtividade na ordem de 4276 Kg ha^{-1} , enquanto a Testemunha registrou uma produção de 2999 Kg ha^{-1} (Figura 18).

A escolha da época de semeadura da soja desempenha um papel crucial nas estratégias de manejo fitossanitário, visando otimizar a produtividade e os benefícios econômicos da cultura. Com base nos resultados apresentados, este estudo recomenda a semeadura nos meses de setembro e outubro para manter o potencial produtivo intrínseco ao genótipo, especialmente quando combinada com o manejo adequado de fungicidas. Observou-se que o atraso na época de semeadura resultou na redução do potencial produtivo da soja, acompanhado pelo aumento na severidade de Oídio e Ferrugem (Figuras 3, 4, 7 e 8), resultando em custos adicionais com fungicidas.

Figura 31 - Variação Média na Produtividade da Soja em Resposta à Aplicação de Fungicida nas diferentes épocas de semeadura das Safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022: Campo Demonstrativo e Experimental de Arapoti - PR



Notas: Médias seguidas de letras iguais na mesma safra, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Tratamento **Fungicida** corresponde as parcelas que receberam os produtos: Protiocanazol + Trifloxistrobina + Bixafen adicionado Mancozebe; Protiocanazol + Trifloxistrobina (PTZ 87,5 + TFS 75 + BIX 62,5) + MZB 1125; (PTZ 70 + TFS 60) + MZB 1125; (PRS 99,9 + FXD 50,1) + MZB 1125; (AZT 60+ STL 30) + MZB 1125; (TCZ 95,7 + MTMS 63,8) + MZB 1125; (CCZ 24 + PCS 60) + MZB 1125; (AZT 90 + MZB 1350 + CCZ 60). Tratamento **Testemunha**: sem aplicação de fungicida.

Zanon, Streck e Grassini (2016) ao analisar os fatores climáticos e o manejo na resposta ao potencial de rendimento da soja no sul do Brasil, identificaram a época de semeadura como o fator de manejo mais crucial na determinação do potencial produtivo da cultura. Ao mensurarem os rendimentos máximos em todas as datas de semeadura, observaram uma penalidade de 26 kg ha⁻¹ para cada dia de atraso na semeadura após 4 de novembro, equivalente a 0,5% ao dia. Os autores também destacaram que a penalidade de rendimento estava associada a variações no quociente fototérmico durante os estágios críticos para a determinação do rendimento da soja. Tagliapietra *et al.* (2021) ao estudar diferentes grupos de maturação da soja em relação a diferentes datas de semeadura, constataram perdas médias de produtividade em torno de 25 kg ha⁻¹ por dia após a semeadura de 15 de novembro.

6 CONCLUSÃO

As diferentes épocas de semeadura e safras proporcionaram condições propícias para o desenvolvimento de doenças na soja, permitindo a modelagem epidemiológica com o modelo Logístico. Nesse contexto, a severidade do Oídio e da Ferrugem variou de acordo com as condições climáticas predominantes em cada época de semeadura e safra.

Notavelmente, a taxa de crescimento do Oídio foi semelhante entre as safras, embora a maior severidade tenha sido observada na semeadura de setembro. Os resultados demonstram que o acúmulo do número de horas com temperatura do molhamento foliar inferior a 16 °C (condição favorável para a proliferação do Oídio) desde a semeadura até a colheita tem um efeito significativo na severidade dessa doença.

Os momentos de maior crescimento da Ferrugem Asiática foram observados na safra 2019/2020, com plantio em setembro. Os resultados indicam que quanto mais próximo do final do ciclo de cultivo da cultura for o aparecimento dos primeiros sintomas, menor é a severidade da doença. O aumento da severidade da Ferrugem apresentou uma característica de taxa crescente até atingir o ponto de inflexão, indicando a importância do momento de aparecimento dos primeiros sintomas.

A análise do manejo químico com fungicidas revelou sua eficácia em garantir a manutenção do potencial produtivo da soja, independentemente da safra e época de semeadura. Os resultados apontam variação no controle médio das doenças, variando de 48% a 91% para o Oídio e de 70% a 84% para a Ferrugem, com destaque para o tratamento Prothioconazol + Trifloxistrobina + Bixafen com Mancozebe, que apresentou as menores severidades de doenças.

A aplicação de um modelo de regressão linear simples permitiu estimar a redução da eficácia de controle com base na severidade observada no final do ciclo de cultivo da soja. Ficou evidente que os fungicidas são mais eficazes em retardar o progresso da doença quando a severidade inicial é inferior a 10%.

A antecipação da semeadura em setembro, aliada à aplicação de fungicidas, proporcionou uma redução significativa dos danos causados pelo Oídio e pela Ferrugem Asiática, refletindo positivamente na produtividade da cultura. Os resultados indicam que a semeadura realizada em setembro teve as maiores respostas em termos de produtividade, com um aumento geral de 27%, independente da safra cultivada. No entanto, as maiores médias de produtividade foram observadas na semeadura de outubro.

Concluindo, este estudo recomenda a semeadura nos meses de setembro e outubro para preservar o potencial produtivo intrínseco ao genótipo da soja. O manejo adequado de fungicidas demonstrou ser fundamental para controlar o Oídio e a Ferrugem. Fica evidente que o atraso na época de semeadura resulta na redução do potencial produtivo da soja, acarretando custos adicionais com fungicidas. Os tratamentos com Prothioconazol se destacaram, apresentando as maiores produtividades devido aos eficazes controles de Oídio e Ferrugem.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265–267, abr. 1925. Disponível em: <https://academic.oup.com/jee/article-abstract/18/2/265/785683>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- ALVES, K. S.; DEL PONTE, E. M. Modeling the effect of El Niño Southern Oscillation on the onset of soybean rust in Southern Brazil. **OSF Preprints**, out. 2021. Disponível em: <https://osf.io/preprints/osf/rz4uh>. Acesso em: 08 fev. 2023.
- ALVES, M. de C. *et al.* Intensidade do oídio *Microsphaera diffusa* CKE. & PK. em cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. esp., p. 1926–1930, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/8Hvtzzgxx6QB7hbwZdFSMWg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- AMORIM, L. *et al.* **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. São Paulo: Ceres, 2016.
- AZEVEDO, L. A. S. de. **Proteção integrada de plantas com fungicidas: teoria, prática e manejo**. São Paulo: Ed. do Autor, 2001.
- BALBA, H. Review of strobilurin fungicide chemicals. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 42, n. 4, p. 441–451, mai. 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601230701316465>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- BARTLETT, D. W. *et al.* The strobilurin fungicides. **Pest Management Science**, v. 58, n. 7, p. 649–662, jul. 2002. Disponível em : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ps.520>. Acesso em: 08 set. 2023.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Epidemiologia comparativa entre os patossistemas temperado e tropical: consequências para a resistência a fungicidas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 119–127, jun. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/Vf6FtZpnpN6jMzLZQrMvFqq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- BERGAMIN FILHO, A. *et al.* Análise espacial de epidemias. In: VALE, F. X. R. do.; JESUS JUNIOR, W. C. de; ZAMBOLIM, L. (Eds.) **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 195–240.
- BLUM, L. E. B. *et al.* Fungicidas e mistura de fungicidas no controle do oídio da soja. **Fitopatologia brasileira**, v. 27, n. 2, p. 216–218, mar./abr. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/nZVDxt86BWpg8JNhMtVWjxh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- BLUM, M. M. C. **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/408/1/2009MartaCasaBlum.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2022.

BOCK, C. H. *et al.* From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. **Phytopathology Research**, v. 2, n. 9, p. 1-30, abr. 2020. Disponível em: <https://phytopatholres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42483-020-00049-8#citeas>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BORAH, M.; DEB, B. Fungi Causing Leaf Spot Diseases of Soyabean: Their Epidemiology and Integrated Management Strategies. **International Journal of Economic Plants**, v. 9, n. 1, p. 88–94, fev. 2022. Disponível em: <https://ojs.pphouse.org/index.php/IJEP/article/view/4716/2172> \h. Acesso em: 10 fev. 2023.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211–252, set. 1964. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfQWaCMboK68.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.

CAMERA, J. N. *et al.* The combined effects of temperature and leaf wetness periods on soybean frogeye leaf spot intensity. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 1, p. 77-84, jan./fev. 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744667008.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2023.

CARMO, E. L. do *et al.* Desempenho agrônômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 61–69, mar. 2018. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9684>. Acesso em: 23 fev. 2023.

CATELLI, L. L. **Resistência da soja à ferrugem asiática e ao oídio: herança de caracteres quali-quantitativos e mapeamento genético**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ede134d8-e3ac-4b38-beace735e29a7df5/content>. Acesso em: 16 jun. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. **Safra Brasileira de Grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 10 jun. 2022.

DALLA LANA, F. *et al.* Meta-Analytic Modeling of the Decline in Performance of Fungicides for Managing Soybean Rust after a Decade of Use in Brazil. **Plant Disease**, v. 102, n. 4, p. 807–817, abr. 2018. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PDIS-03-17-0408-RE>. Acesso em: 08 jun. 2023.

DEL PONTE, E. M. *et al.* Predicting Severity of Asian Soybean Rust Epidemics with Empirical Rainfall Models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797–803, jul. 2006a. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PHYTO-96-0797>. Acesso em: 17 set. 2022.

DEL PONTE, E. M. *et al.* Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 533–544, nov./dez. 2006b. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/6Lhc4ZwXDDnWHyrcSjqHJQs/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 11 mar. 2023.

EGGERS, H. S. *et al.* Resposta da aplicação de fungicidas no controle da ferrugem asiática na cultura da soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38924–38930, jun. 2020. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11880/9941>. Acesso em: 18 fev. 2022.

EMBRAPA. **Vazio sanitário da soja começa em junho**. 2023. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81178920/vazio-sanitario-da-soja-comeca-em-junho#:~:text=Em%202021%2C%20o%20Minist%C3%A9rio%20da,semeadura%2C%20como%20medida%20fitossanit%C3%A1ria%20para>. Acesso em: 20 out. 2023.

EMBRAPA SOJA. **Consórcio Antiferrugem**. s/d. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/soja/ferrugem/consorcioantiferrugem>. Acesso em: 20 abr. 2023.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja** – região central do Brasil – 2007.

Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

ESCOBAR, O. DOS S. **Modelagem da severidade de *Phakopsora pachrhizi* em soja e relações de seus pontos críticos de desenvolvimento com variáveis meteorológicas**. 2022.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28384/TES_PPGAGRONOMIA_2022_ESCOBAR_OTAVIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 jan. 2023.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. **Agriculture and Home Economics Experiment Station**, n. 80, p. 1-12, 1977. Disponível em:

[file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/608063182_1977_03_no80%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/608063182_1977_03_no80%20(4).pdf). Acesso em: 09 fev. 2022.

FRAC. Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas. **Sobre a FRAC**. s/d. Disponível em:

<https://www.frac-br.org/sobre-o-frac>. Acesso em: 07 de fev. 2024.

FRAC. Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas. **Modo de Ação de Fungicidas**.

Disponível em: <https://www.frac-br.org/modo-de-acao>. Acesso em: 10 jun. 2023.

FRIGERI, A. R. *et al.* Épocas de semeadura e população de plantas para três cultivares de soja. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 4, p. 41–52, 2019. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/20553>.

Acesso em: 23 jun. 2022.

FURTADO, E. B.; DORNELES, K. DA R.; DALLAGNOL, L. J. Ação curativa e protetora de compostos orgânicos e inorgânicos no controle de *Microsphaera diffusa* em soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 104–108, abr. 2020. Disponível em:

<https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/15466/pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

GABARDO, G. **Manejo de doenças com produtos alternativos isolados e associados a fungicida na cultura da soja**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018. Disponível em:

<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2720/1/Gislaine%20Gabardo.pdf>. Acesso em: 16

jun. 2023.

GABARDO, G. *et al.* Alternative products to control powdery mildew in soybeans culture in field. **Bioscience Journal**, v. 37, p. 1-9, set. 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/53681/32497>. Acesso: 18 out. 2023.

GARCÉS-FIALLOS, F. R.; FORCELINI, C. A. Controle comparativo da ferrugem asiática da soja com fungicida triazol ou mistura de triazol + estrobilurina. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 805-815, jul./ago. 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15029/12880>. Acesso em: 20 jan. 2023.

GHINI, R.; KIMATI, H. **Resistência de fungos a fungicidas**. 2 ed. Jaguariuna - São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2002.

GODOY, Cláudia V. *et al.* Eficiência de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2006/07. Resultados sumarizados dos ensaios em rede. **Circular Técnica**, n. 42, p. 1-8, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO-2009-09/27431/1/circotec42.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 56–61, fev. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tpp/a/PPXW3bygBjZhjrKvktMzMhQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 mai. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 407–421, mai. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/X34LY9zyrpFmh6y59syDsRx/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 fev. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem-asiática da soja. **Comunicado Técnico**, n. 92, p. 1-6, ago. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163428/1/ComTec92-OL.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* Eficiência de fungicidas multissítios no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2019/2020: resultados sumarizados dos experimentos cooperativos. **Circular Técnica**, nº 161, p. 1-16, ago. 2020a. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215604/1/CT-161-OL.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* **Ferrugem-asiática da soja**: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Londrina: Embrapa Soja, 2020b.

GODOY, C. V. *et al.* Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2020/2021: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Circular Técnica**, n. 174, p. 1-26, ago. 2021. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225501/1/Circ-Tec-174.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* Eficiência de fungicidas para o controle do oídio, na safra 2021/2022: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Circular Técnica**, n. 184, p. 1-9, jul. 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1145700/1/Circ-Tec-184.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

GODOY, C. V. *et al.* Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2022/2023: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Circular Técnica**, n. 195, p. 1-28, jun. 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1154837/1/Circ-Tec-195.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63–68, fev. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/7zsWfRPH6xXNGHjsS4ZSNwN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 mai. 2022.

GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ, E. *et al.* A General Model for the Effect of Crop Management on Plant Disease Epidemics at Different Scales of Complexity. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 1-23, mar. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/462>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GOTARDI, G. A. **Eficácia, movimento superficial e atividade sistêmica dos fungicidas triazóis, triazoliniona, estrobilurinas e carboxamidas isolados no controle da ferrugem da soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4fd3e886-071f-4752-b5f3-a304ecab8476/content>. Acesso em: 21 jan. 2023.

GOULART, N. **Triazois isolados no manejo de ferrugem asiática da soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2022. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_13/2022-06-30-11-15-26disserta%C3%A7%C3%A3o%20finalizada%20riif.pdf. Acesso em: 22 jun. 2023.

GRAU, C. R.; HARTMAN, G. L. Sclerotinia Stem Rot. *In*: HARTMAN, G. L. *et al.* **Compendium of soybean diseases**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1999. p. 46-48.

GRAU, C. R.; LAURENCE, J. A. Observations on resistance and heritability of resistance to powdery mildew of soybean. **Plant Disease Reporter**, v. 59, n. 6, p. 458-460, 1975.

HARTMAN, G. L. *et al.* **Compendium of Soybean Diseases and Pests**. 5. ed. The American Phytopathological Society, 2016.

HARTMAN, G. L.; WANG, T. C.; TSCHANZ, A. T. Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant Disease**, v. 75, n. 6, p. 596-600, 1991. Disponível em:

https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1991Articles/PlantDisease75n06_596.pdf. Acesso em 20 abr. 2022.

HENNING, A. A. *et al.* **Manual de identificação de doenças de soja**. 5 ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

HEWITT, H. G. **Fungicides in crop protection**. Wallingford, UK: CAB International, 1998.

IGARASHI, S. *et al.* Danos causados pela infecção de oídio em diferentes estádios fenológicos da soja. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 2, p. 245–250, abr./jun. 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/aib/a/wVGKLGVN9mt3t47xWYhQGjc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 jun. 2023.

ISHIWATA, Y. I.; FURUYA, J. Evaluating the Contribution of Soybean Rust- Resistant Cultivars to Soybean Production and the Soybean Market in Brazil: A Supply and Demand Model Analysis. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1-17, fev. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/4/1422>. Acesso em: 10 abr. 2022.

JACCOUD FILHO, D. S. *et al.* Ocorrência da ferrugem da soja na região dos Campos Gerais do Paraná. In: **Resumos das Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/12995/1/doc157.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

KAJIHARA, L. H. **Importância de fungicidas sítio-específicos e multissítios para o controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja, em diferentes cultivares, épocas de semeadura e análise do retorno financeiro**. 2019. Tese (Doutorado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em:

<http://repositoriobiologico.com.br/jspui/bitstream/123456789/884/1/Tese%20Luciano.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.

KALOGIANNIDIS, S. *et al.* Role of Crop-Protection Technologies in Sustainable Agricultural Productivity and Management. **Land**, v. 11, n. 10, p. 1-21, set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/10/1680>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KATO, M.; MOREL, A.; YAMANAKA, N. Resistance to Asian soybean rust and yield of new soybean cultivars, JFNC 1 and JFNC 2, harboring three resistance genes. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 5, p. 599–607, jun. 2022. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-022-00516-x>. Acesso em: 22 mar. 2023.

KLOSOWSKI, A. C. *et al.* Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Management Science**, v. 72, n. 6, p. 1211–1215, jun. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26296393/>. Acesso em: 12 jan. 2022.

KUNZ, J. *et al.* Simulação do Efeito da Temperatura e do Fotoperíodo na Fenologia da Cultura da Soja. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014. Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: INOVAGRI/INCT-EI/INCTSal, 2014. p. 3249-3256. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/269046112_Simulacao_do_Efeito_da_Temperatura_e_do_Fotoperiodo_na_Fenologia_da_Cultura_da_Soja. Acesso em: 11 dez. 2022.

LIMA, W. F. *et al.* Resistência da soja à ferrugem-asiática avaliada pela análise da produtividade de grãos. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 73–78, mar. 2012.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sp/a/QpSYjXm4GNTqbq8vLPbjD9r/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 jun. 2023.

LYR, H. **Modern selective fungicides**: properties, applications, mechanisms of actions. New York: Gustav Fisher, 1995.

MADDEN, L. V. Quantification of disease progression. **Protection Ecology**, v. 2, p. 159–176, 1980.

MADDEN, L. V. Botanical Epidemiology: some key advances and its continuing role in disease management. **European Journal of Plant Pathology**, v. 115, n. 1, p. 3–23, mai. 2006. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-5020-8_1. Acesso em: 12 out. 2023.

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

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The Effects of Temperature and Dew Period on Germination and Infection by Uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v. 66, n. 4, p. 461–463, 1976. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1976Articles/Phyto66n04_461.PDF. Acesso em: 26 nov. 2022.

MARTIN, T. N. *et al.* **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2022/2023 e 2023/2024**. Santa Maria: Editora GR, 2022.

Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355291/77681724/Indica%C3%A7%C3%B5es+T%C3%A9cnicas+para+a+cultura+da+soja+no+Rio+Grande+do+Sul+e+em+Santa+Catarina%2C+safras+2022-2023+e+2023-2024/59dc57b3-4122-de8a-1009-6f061aa8c47f>. Acesso em: 09 fev. 2023.

MATTIAZZI, P. **Efeito do oídio (*Microsphaera diffusa* Cooke & Peck) na produção e duração da área foliar sadia da soja**. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-20231122-100625/publico/Mattiazzi-Patricia.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2022.

MIGNUCCI, J. S.; BOYER, J. S. Inhibition of Photosynthesis and Transpiration in Soybean Infected by *Microsphaera diffusa*. **Phytopathology**, v. 69, n. 3, p. 227–230, 1979. Disponível em:

https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1979Articles/Phyto69n03_227.PDF. Acesso em: 21 jun. 2022.

MIGNUCCI, J. S.; LIM, S. M.; HEPPELY, P. R. Effects of temperature on reactions of

soybean seedlings to powdery mildew. **Plant Disease Reporter**, v. 61, n. 2, p. 122-124, jan. 1977.

MOURA, B. de. **Deposição de fungicida em cultivares de soja com diferentes hábitos de crescimento, controle e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/447/1/2015BiancaMoura.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

MOURA, P. C. S. **Efeitos fisiológicos da aplicação de triazol e estrobilurina em soja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Universidade de São Paulo) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-19042013-102707/publico/Paula_Caroline_Silva_Moura_versao_revisada.pdf. Acesso em: 11 agos. 2022.

NETTO, A. **Fungicidas sistêmicos associados à multissítio: efeito sobre a severidade da ferrugem asiática e a produtividade da soja**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2036/1/NETTO.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

NEUMAIER, N. *et al.* Ecofisiologia da soja. 2020. In: SEIXAS, C. D. S. *et al.* (Eds.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020.

O'NEILL, M. E.; MATHEWS, K. Y. Theory & methods: A weighted least squares approach to Levene's test of homogeneity of variance. **Australian & New Zealand Journal of Statistics**, v. 42, n. 1, p. 81–100, mar. 2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-842X.00109>. Acesso em: 11 abr. 2022.

PIVONIA, S.; YANG, X. B.; PAN, Z. Assessment of Epidemic Potential of Soybean Rust in the United States. **Plant Disease**, v. 89, n. 6, p. 678–682, jun. 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30795399/>. Acesso em: 05 jan. 2023.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 mai. 2023.

REIS, E. F. Controle químico da ferrugem asiática da soja na região sul do Paraná. **Scientia Agrária**, v. 8, n. 3, p. 319-323, 2007. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2908555>. Acesso em: 28 out. 2023.

REIS, A. C. B. dos. **Avaliação da sensibilidade de *Alternaria alternata*, agente causal da mancha marrom em tangerina, a fungicidas inibidores da succinato desidrogenase**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-13072022-175743/publico/Ana_Carolina_Botelho_dos_Reis_versao_revisada.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

REIS, E. M. *et al.* **Evolução da redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégia para recuperar a eficiência do controle**. 3 ed. Berthier: Passo

Fundo, 2017.

REIS, E. M.; CARREGAL, L. H.; ZANATTA, M. Comparison of the efficacy of QoI fungicides, alone or in mixture with triazoles, in Asian soybean rust control, 2016/17 growing season. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 1, p. 28–32, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/mtbz4pFTdkvrT3sxqDHyyyf/?lang=en>. Acesso em: 14 out. 2022.

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. Performance of prothioconazole solo or added to mancozeb in the control of Asian soybean rust. **Summa Phytopathologica**, v. 46, n. 4, p. 345–347, out./dez. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/cyLjjQMhRbK4z6Q4HXtCjRc/#:~:text=Soybean%20grain%20yield%2C%20considering%20three,4%2C857%20kg%2Fha%2C%20respectively>. Acesso em: 28 nov. 2022.

RODRIGUES, E. F.; VIERO, R. M. **Controle da ferrugem asiática da soja por estrobilurinas isoladas ou em associação com triazóis/carboxamidas**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/3598/1/EduardoFreitasRodrigues%20-%20RenanMirandaViero.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.

RODRIGUES, M. A. T. **Classificação de fungicidas de acordo com o mecanismo de ação proposto pelo FRAC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/bb174de1-cefd-4af1-a637-7f92433b62cb/content>. Acesso em: 13 jul. 2022.

SACON, D. *et al.* Integration between genetic and chemical control on the progress of Asian soybean rust and yield. **Summa Phytopathologica**, v. 46, n. 3, p. 198–204, set./dez. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/WdGFKsW6hCRp9gsmRnckjDx/?lang=en>. Acesso em: 21 ago. 2022.

SARI, B. G. *et al.* Nonlinear Modeling for Analyzing Data from Multiple Harvest Crops. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 2331–2342, nov. 2018. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/agronj2018.05.0307>. Acesso em: 16 mar. 2023.

SARI, B. G. *et al.* Nonlinear growth models: An alternative to ANOVA in tomato trials evaluation. **European Journal of Agronomy**, v. 104, p. 21–36, mar. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030118307433>. Acesso em: 04 ago. 2023.

SAWADA, E.; AZEVEDO, L. A. S. Avaliação de fungicidas no controle do oídio (*Erysiphe polygoni* DC.) da soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, p. 306, 1997.

SCHERM, H.; OJIAMBO, P. S. Applications of survival analysis in botanical epidemiology. **Phytopathology**, v. 94, n. 9, p. 1022–1026, set. 2004. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO.2004.94.9.1022>. Acesso em: 25 fev. 2023.

SCHOFFEL, A. *et al.* Eficiência de fungicidas no controle da ferrugem asiática na soja. **Peer**

Review, v. 5, n. 14, p. 12-24, 2023. Disponível em:
<https://peerw.org/index.php/journals/article/view/654/430>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SCOLIN, L. B.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V. Optimizing action thresholds for improved control of soybean powdery mildew with fungicides. **Tropical Plant Pathology**, v. 48, n. 2, p. 236–240, fev. 2023. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/249050/1/Optimizing-action-thresholds-for-improved-control-of-soybean-powdery-mildew-with-fungicides.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2023.

SEIXAS, C. D. S. *et al.* **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n. 8, p. 1051–1056, ago. 1977.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965. Disponível em:
<https://www.jstor.org/stable/2333709>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SIEROTZKI, H.; SCALLIET, G. A review of current knowledge of resistance aspects for the next-generation succinate dehydrogenase inhibitor fungicides. **Phytopathology**, v. 103, n. 9, p. 880–887, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23593940/>. Acesso em: 11 mai. 2022.

SILVA, O. C. *et al.* Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados a fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 72–77, jan./fev. 2013. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/tpp/a/jgwVkrYY64ksnNnMGKvZ5pD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2022.

SILVA, C. *et al.* Controle químico da ferrugem asiática da soja em diferentes sistemas de aplicações. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 32, p. 239–248, 2020. Disponível em:
<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2020B/controle.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SILVA, J. M. **Desempenho de combinações de fungicidas químicos e sua influência com aspectos fitossanitários da soja (*Glycine max*)**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2018. Disponível em:
https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_1/2019-02-08-05-17-12JAKELINNY%20MARTINS%20SILVA.pdf. Acesso em: 19 fev. 2023.

SILVA, S. Z. da. **Modelo determinístico e análise de incerteza para predição do tempo de resistência de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da succinato desidrogenase (SDHI) na cultura da soja**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em:
https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-08032018-123737/publico/Sergio_Zanon_da_Silva.pdf. Acesso em: 11 jul. 2022.

SILVA JÚNIOR, J. *et al.* Efeito de fungicidas sistêmico e protetores aplicados em diferentes estádios fenológicos no controle da ferrugem asiática da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 705–712, mai./jun. 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cagro/a/qXD5YbJkQt4DZtkRLmLnbVy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SIMÕES, K. *et al.* First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 125, p. 21-26, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41348-017-0117-5>. Acesso em: 25 out. 2023.

SOUZA, P. H. N. de. **Associação de Mancozebe com formulações comerciais mistas de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/1226/1/PauloHenriqueNascimentoDeSouza.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

STADNIK, M. J.; RIVERA, M. C. **Oídios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

SYDOW, H.; SYDOW, P. A contribution to knowledge of parasitic fungi of the island of Formosa. **Annales Mycologici**, v. 12, p. 105, 1914.

TAGLIAPIETRA, E. L. *et al.* Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 1882–1894, mar. 2021. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/agj2.20586>. Acesso em: 17 fev. 2023.

TOIGO, S. *et al.* Controle químico do oídio na cultura da soja. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 491–496, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99515597011>. Acesso em: 10 dez. 2023.

TSUKAHARA, R. Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 47–52, 2008. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2852>. Acesso em: 23 nov. 2022.

TSUMANUMA, G. M. **Controle de ferrugem asiática e desempenho de duas cultivares de soja submetidas a diferentes fungicidas e épocas de aplicações**. 2009. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001734534>. Acesso em 18 jun. 2023.

UEBEL, J. D. **Avaliação de fungicidas no controle de doenças foliares, grãos ardidos e efeito no NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) em híbridos de milho**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/19019/1/2015_JulianoDanielUebel.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

UTIAMADA, C. M. *et al.* Eficiência de fungicidas no controle de oídio da soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, p. 339-340, 1999.

VAN DER PLANK, J. E. **Plant Disease: Epidemics and Control**. New York: Academic

Press, 1963.

XAVIER, S. A. *et al.* Fotossíntese de folhas de soja infectadas por *Corynespora cassiicola* e *Erysiphe diffusa*. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 2, p. 156–159, abr./jun. 2015.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sp/a/pzmKt9LvSVzknH5KyHSJw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 mar. 2023.

XAVIER, S. A. *et al.* Older leaf tissues in younger plants are more susceptible to soybean rust. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 17–24, jan./mar. 2017. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asagr/a/NS54d9DF9FkX7c4zpnFTxrG/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 18 jul. 2022.

YORINORI, J. T. Oídio da soja. **Comunicado Técnico**, n. 59, p. 1–5, out. 1997. Disponível

em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/462060/1/comTec059.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

YORINORI, J. T. *et al.* Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, n. 6, p. 675–677, jun. 2005. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PD-89-0675>. Acesso em: 15 fev. 2023.

YORINORI, J. T.; HARTMAN, G. L. **Soybean Rust: Lessons Learned from the Pandemic in Brazil**. Minnesota: The American Phytopathological Society, 2021.

YORINORI, J. T.; NUNES JÚNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. **Ferrugem “asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. **Epidemiology and plant disease management**. New York: Oxford University Press, 1979.

ZAMBOLIM, L.; JULIATTI, F. C.; GUERRA, W. How to cope with the vulnerability of site specific fungicides on the control of Asian soybean rust. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 4, n. 1, p. 14–25, jan. 2021. Disponível em:

<https://www.agronomyjournals.com/article/view/44/4-1-4>. Acesso em: 07 jun. 2022.

ZAMBOLIM, L.; VENÂNCIO, W. S.; OLIVEIRA, S. H. F. DE. **Manejo da resistência de fungos a fungicidas**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1447–1454, mai. 2016. Disponível em:

<https://pdfs.semanticscholar.org/196a/996105bb776f0bd3e74cdbe95787ce0d4ea6.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.

APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DA PESQUISA

Fotografia 1 - Visualização geral do ensaio em um ano de safra



Fonte: O autor.

Fotografia 2 – Diferenças entre os tratamentos no controle de Oídio



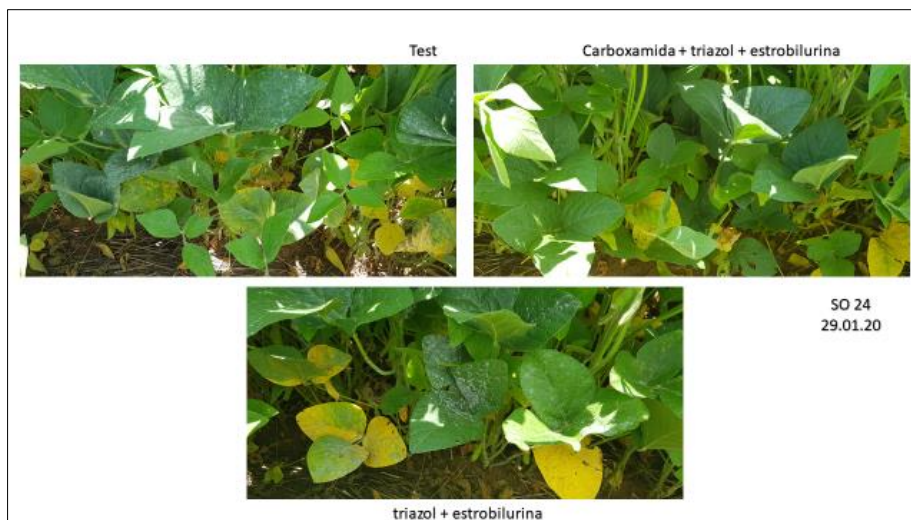
Fonte: O autor.

Fotografia 3 – Curiosidade da diferença morfológica da soja



Fonte: O autor.

Fotografia 4 – Fungicidas com Carboxamidas no controle de Oídio



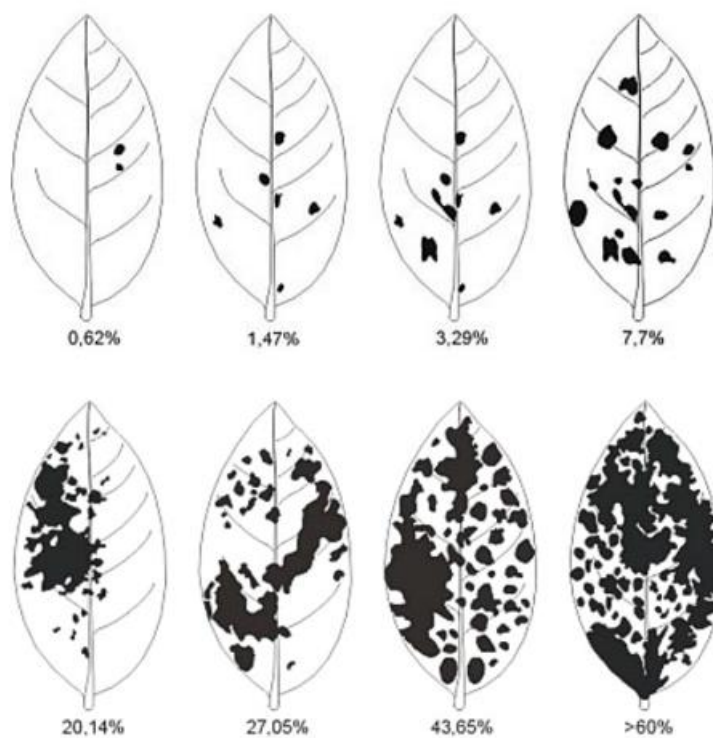
Fonte: O autor.

Fotografia 5 – Semeadura Dezembro/2020



Fonte: O autor.

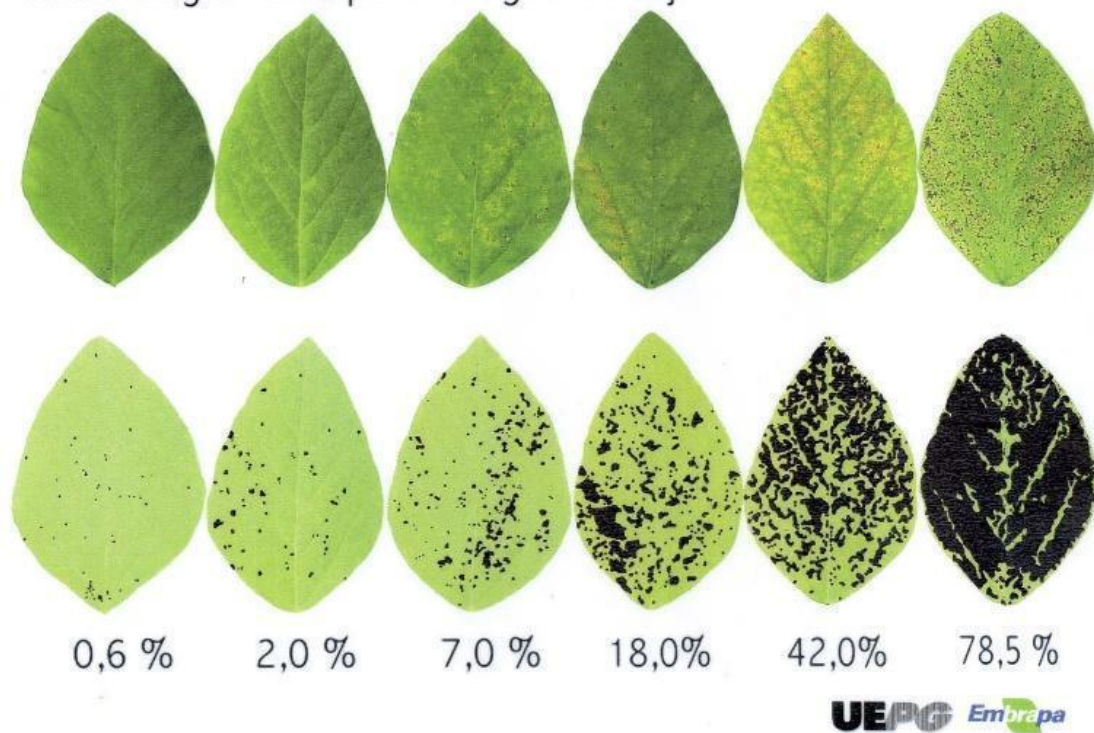
**ANEXO A – ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA SEVERIDADE DE OÍDIO DA
SOJA (*Microspheera diffusa*)**



Fonte: Mattiazzi (2003).

**ANEXO B – ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA SEVERIDADE DE FERRUGEM
DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*)**

Escala Diagramática para ferrugem da soja



Fonte: Godoy; Koga; Canteri (2006).