UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO TADEU ROSSI FRANGIOTTI

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

Curitiba

2024

BRUNO TADEU ROSSI FRANGIOTTI

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: MSc. Tulio Veríssimo Martins

Curitiba

2024

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

Aos amigos e colegas de trabalho, Jefferson Bento Ibanez e Thaisa Ferreira da Nóbrega, que sempre estiveram ao meu lado no desenvolvimento deste trabalho, pelo auxílio incondicional nas aplicações e avaliações.

À minha família, pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de dedicação a este trabalho.

Ao meu orientador, Tulio Veríssimo Martins, por ter desempenhado tal função com dedicação e amizade durante todo o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

A ferrugem-asiática-da-soja (FAS) é a principal doença que acomete a cultura da soja. Dentre as medidas de controle preconizadas para o manejo da doença, destaca-se a utilização de fungicidas químicos. Recomenda-se o uso de fungicidas multissítios em associação com fungicidas sítio-específico, como triazóis, estrobilurinas e carboxamidas. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agronômica de diferentes fungicidas no manejo da ferrugem-asiática em condições de campo. O experimento foi realizado entre dezembro de 2023 a abril 2024, no Centro de Experimentação Agronômica Ourofino Agrociência (CEAgro) em Guatapará-SP. Foi utilizada a cultivar de soja Neo 590 I2X e o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro blocos, contendo 9 tratamentos: [protioconazol + picoxistrobina] (96,0 + 80,0 g ha^{-1}), [protioconazol + picoxistrobina + mancozebe] (96,0 + 80,0 + 2250,0 g ha^{-1}), [protioconazol + picoxistrobina + clorotalonil] (96,0 + 80,0 + 1500,0 g ha^{-1}), [azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil] (79,5 + 24,0 + 975,0 g ha^{-1}), [azoxistrobina + tebuconazol] (60,0 + 100,0 g ha^{-1}), [bixafem + protioconazol + trifloxistrobina] (62,5 + 87,5 + 75,0 g ha^{-1}), [trifloxistrobina + tebuconazol] (50,0 + 100,0 g ha^{-1}) e [fluxapiroxade + protioconazol] (60,0 + 84,0 g ha^{-1}), além de uma testemunha sem aplicação. Foram realizadas avaliações semanais de severidade, fitotoxicidade e desfolha. Foi calculada a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para cada um dos tratamentos. Ao final do ciclo da cultura quantificou-se a produtividade e a massa de 1000 grãos. Dessa forma, constatou-se que os tratamentos [protioconazol + picoxistrobina + clorotalonil], [azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil], [protioconazol + picoxistrobina + mancozebe], [bixafem + protioconazol + trifloxistrobina], [trifloxistrobina + tebuconazol] e [fluxapiroxade + protioconazol] destacam-se com maior eficiência agronômica para o manejo da ferrugem-asiática. Esses tratamentos apresentaram os menores valores de AACPD, refletindo um controle significativo da progressão da doença, ao mesmo tempo em que mantiveram níveis de fitotoxicidade reduzidos.

Palavras-chave: Controle químico; estrubirulinas; *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*; triazóis.

ABSTRACT

Asian soybean rust (ASR) is the primary disease affecting soybean crops. Among the recommended control measures for managing this disease, the use of chemical fungicides stands out. The use of multisite fungicides in combination with site-specific fungicides, such as triazoles, strobilurins, and carboxamides, is recommended. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficacy of different fungicides in managing Asian rust under field conditions. The experiment was conducted from December 2023 to April 2024 at the Ourofino Agrociência Agronomic Experimentation Center (CEAgro) in Guatapará-SP. The Neo 590 I2X soybean cultivar was used, and the experimental design adopted was a randomized block design with four blocks, containing 9 treatments: [prothioconazole + picoxystrobin] (96.0 + 80.0 g ha-1), [prothioconazole + picoxystrobin + mancozeb] (96.0 + 80.0 + 2250.0 g ha-1), [prothioconazole + picoxystrobin + chlorothalonil] (96.0 + 80.0 + 1500.0 g ha-1), [azoxystrobin + cyproconazole + chlorothalonil] (79.5 + 24.0 + 975.0 g ha-1), [azoxystrobin + tebuconazole] (60.0 + 100.0 g ha-1), [bixafen + prothioconazole + trifloxystrobin] (62.5 + 87.5 + 75.0 g ha-1), [trifloxystrobin + tebuconazole] (50.0 + 100.0 g ha-1), and [fluxapyroxad + prothioconazole] (60.0 + 84.0 g ha-1), in addition to a control without application. Weekly assessments of severity, phytotoxicity, and defoliation were carried out. The Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) was calculated for each treatment. At the end of the crop cycle, yield and the mass of 1000 grains were quantified. It was found that the treatments [prothioconazole + picoxystrobin + chlorothalonil], [azoxystrobin + cyproconazole + chlorothalonil], [prothioconazole + picoxystrobin + mancozeb], [bixafen + prothioconazole + trifloxystrobin], [trifloxystrobin + tebuconazole], and [fluxapyroxad + prothioconazole] stood out for their higher agronomic efficiency in managing Asian rust. These treatments showed the lowest AUDPC values, reflecting significant control of disease progression while maintaining reduced levels of phytotoxicity.

Keywords: Chemical control; strobilurins; Glycine max; Phakopsora pachyrhizi; triazoles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Série histórica das chuvas acumuladas e temperaturas mínima e máxima no município de Guatapará/SP, durante o período de 01 de dezembro de 2023 a 31 de março de 2024. CEAgro 2023/24. 14

Figura 2. Escala diagramática de ferrugem-asiática da soja, proposta por Franceschi et al. (2020). CEAgro 2023/24. 14

Figura 3. Escala diagramática para estimativa de desfolha da soja, proposta por Hirano et al. (2010). CEAgro 2023/24..... 15

Figura 4. Escala descritiva e diagramática para avaliação de fitotoxidez em função da intensidade de cloroses e/ou bronzeamentos e necroses foliares causadas por fungicidas, proposta por Campos e Silva (2012). CEAgro 2023/24. 15

Figura 5. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de ferrugem-asiática na cultura da soja. 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de análise química de solo da gleba utilizada para realização do experimento. Laboratório: Athenas, Jaboticabal/SP. CEAgro 2023/24. 11

Tabela 2. Manejo fitossanitário da soja (cv. NEO 590 I2X) na gleba de condução do experimento. CEAgro 2023/24. 12

Tabela 3. Descrição dos tratamentos utilizados no controle de ferrugem-asiática da soja. CEAgro 2023/24. 13

Tabela 4. Descrição das condições nos momentos de aplicação dos tratamentos para controle de ferrugem-asiática da soja. CEAgro 2023/24. 13

Tabela 5. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) durante o período das avaliações de ferrugem-asiática na cultura da soja e eficiência dos tratamentos. 18

Tabela 6. Fitotoxicidade dos tratamentos aplicados na cultura da soja. 20

Tabela 7. Desfolha dos tratamentos aplicados na cultura da soja. 21

Tabela 8. Peso de mil grãos (PMG), produtividade em sacas de 60 kg por hectare ($SC.ha^{-1}$) e incremento em função dos tratamentos aplicados na cultura da soja..... 22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BBCH: *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical industry*

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

cv.: cultivar

DA1A: dias após primeira aplicação

DA2A: dias após segunda aplicação

DAA: dias após aplicação

DAE: dias após emergência

g: grama

ha^{-1}: hectare

i.a.: ingrediente ativo

mL: mililitro

N-P-K: nitrogênio, fósforo e potássio

PMG: peso de um mil grãos

Quilo: quilograma

t: tonelada

v/v: volume por volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10
2. MATERIAL E MÉTODOS 11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 17
4. CONCLUSÕES 24
REFERÊNCIAS 25

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L). Merril) é de suma importância para o agronegócio brasileiro, com uma produção de aproximadamente 147,353 milhões de toneladas na safra 2023/24, alcançando uma produtividade média de 3.205 quilos por hectare. Esses números consolidam o Brasil como líder mundial na produção de soja, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024).

A ferrugem-asiática da soja é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi,* pertencente ao filo Basidiomycota. Foi identificada pela primeira vez no Japão em 1902, e é considerada a doença mais devastadora para essa cultura, podendo ocasionar perdas de até 90% em condições favoráveis (Matsuo et al., 2015). Após se espalhar pela Ásia, Oceania e África, chegou à América do Sul em 2001 e à América do Norte em 2004, trazendo consigo significativas mudanças para o agronegócio brasileiro, como a adoção do vazio sanitário e restrições de semeadura em alguns estados (Godoy et al., 2016).

As primeiras manifestações da doença são pequenas lesões foliares de coloração castanha a marrom escura, seguidas pela formação de urédias na face abaxial das folhas, que liberam uredósporos. A doença apresenta comportamento policíclico, que possibilita progresso rápido da doença no campo (Henning et al., 2014). O principal impacto é a desfolha precoce, impedindo o desenvolvimento completo dos grãos e reduzindo a produtividade (Godoy et al., 2020).

Considerando a significativa ameaça que a ferrugem-asiática da soja representa para a cultura, é crucial monitorar a presença e evolução deste patógeno, o que constitui a etapa principal do processo de controle. O uso de fungicidas e a seleção do momento ideal para sua aplicação são práticas essenciais para o manejo eficaz da doença (Pelin et al., 2019). Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência agronômica de diferentes fungicidas no manejo da ferrugem-asiática em condições de campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de dezembro de 2023 a abril de 2024 (ano safra 2023/24), no Centro de Experimentação Agronômica Ourofino Agrociência (CEAgro), localizado na Rodovia Mario Maziero, Km 6,5, bairro Mombuca, Guatapará/SP, coordenadas 21º31’32,9”S e 48º00’02,2”O, a 512 m de altitude, que possui clima do tipo Cwa, com verões quentes e úmidos e inverno seco, segundo classificação de Köppen (1948).

A gleba escolhida para instalação do experimento possui histórico de experimentação agronômica de defensivos químicos em culturas de grãos. Anteriormente a semeadura da soja foi realizado a coleta de solo, destorroamento e peneira, para análise química em laboratório especializado. Os parâmetros químicos encontram-se abaixo (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de análise química de solo da gleba utilizada para realização do experimento. Laboratório: Athenas, Jaboticabal/SP. CEAgro 2023/24.

Parâmetro		Profundidade (cm)	
		0-20	20-40
pH	($CaCl_2$)	5,16	4,79
P	$mg.dm^{-3}$	26,33	15,77
S (SO_4^{2-})	$mg.dm^{-3}$	14,27	17,32
MO	$g.dm^{-3}$	15,51	12,97
K	$mmol_c.dm^{-3}$	2,3	1,42
Ca	$mmol_c.dm^{-3}$	21,74	9,97
Mg	$mmol_c.dm^{-3}$	13,44	6,67
Al	$mmol_c.dm^{-3}$	0,99	1,63
H+Al	$mmol_c.dm^{-3}$	29,88	31,49
SB	$mmol_c.dm^{-3}$	37,49	18,07
CTC efetiva	$mmol_c.dm^{-3}$	38,48	19,69
CTC potencial	$mmol_c.dm^{-3}$	67,36	49,56
V	%	56,00	36,00
M	%	3,00	8,00

P: fósforo, método de extração por resina. S: enxofre, espécie química sulfato. MO: matéria orgânica. K: potássio. Ca: cálcio. Mg: magnésio. Al: alumínio. H+Al: acidez potencial. SB: soma de bases. CTC: capacidade de troca catiônica. V: saturação por bases. m: saturação por alumínio. Fonte: elaborado pelo autor.

Foi realizado a calagem (1,0 $t.ha^{-1}$) e gessagem (3,0 $t.ha^{-1}$) em 28/09/2023 seguidos de uma operação de gradagem profunda (20 cm de profundidade) e duas operações de grade niveladora. Com antecedência de 18 dias a semeadura, foi realizado a dessecação química pré-plantio em área total, através do uso de tiafenacil

(67,8 g i.a. ha^{-1}) + glifosato (1620,0 g e.a. ha^{-1}), com adição a calda de pulverização de 0,5% (v/v) de adjuvante a base de éster metílico de soja.

A semeadura da soja (cv. Neo 590 I2X) foi realizada em 22/12/2023 após o tratamento de sementes *on farm* associando tiametoxam (70,0 g i.a.100 Kg^{-1} semente) + fludioxonil (5,0 g i.a. 100 Kg^{-1} semente) e a emergência das plântulas ocorreu em 29/12/2023. Para operação foi usado plantadeira mecanizada com espaçamento entrelinhas de 0,5 m e população final desejada de 280.000 plantas.ha^{-1}. A adubação de base foi feita adubo formulado 04-14-08 (N-P-K) a 500,0 kg.ha^{-1}.

O manejo de plantas daninhas em pré-emergência foi realizado na sequência da operação de semeadura, através de pulverizador acoplado ao trator, com uso de [sulfentrazona (200,0 g i.a. ha^{-1}) + clomazona (500,0 g i.a. ha^{-1})]. A temperatura média registrada durante a pulverização foi 34,0 °C, umidade relativa 46,0% e velocidade do vento 3,0 km.h^{-1}. O manejo fitossanitário realizado após a emergência da soja e estádio fenológico da cultura está descrito abaixo (tabela 2).

Tabela 2. Manejo fitossanitário da soja (cv. NEO 590 I2X) na gleba de condução do experimento. CEAgro 2023/24.

Data	Ingrediente ativo	Dose (g ou mL i.a. ha^{-1})	Estádio fenológico (BBCH)
24/01/2024	[Imidacloprido + beta-ciflutrina]	100,0 + 12,5	29
01/02/2024	[Diafentiuron + propilenoglicol] + Bifentrina	400,0 + 42,5 5,0	35
09/02/2024	[Acetamiprido + piriproxifem] Acefato Glifosato [Cletodim + haloxifope-p-metílico]	60,0 + 30,0 970,0 1620,0 72,0 + 37,1	38
07/02/2024*	Piriproxifem Acetamiprido	25,0 80,0	37
06/03/2024*	Acefato Glifosato [Cletodim + haloxifope-p-metílico	750,0 1620,0 72,0 + 37,1	60
13/03/2024	[Tiametoxam + lambda-cialotrina]	[35,2 + 26,5]	65
22/04/2024	Glufosinato-sal de amônio	400,0	88

* adição a calda de 0,5% (v/v) de adjuvante a base de éster metílico de soja. Fonte: elaborado pelo autor.

Para instalação do experimento, adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro blocos, contendo oito tratamentos por fungicidas e uma testemunha, totalizando 9 tratamentos. As unidades experimentais foram compostas por parcelas de 3,0 m (largura) X 5,0 m (comprimento), totalizando área de 15,0 m².$parcela^{-1}$ por tratamento em cada bloco. Os tratamentos, nome comercial, ingrediente ativo e doses foram descritos na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3. Descrição dos tratamentos utilizados no controle de ferrugem-asiática da soja. CEAgro 2023/24.

Ingrediente ativo	Dose (g ou mL i.a. ha^{-1})
Testemunha	-
[Protioconazol + picoxistrobina]	[96,0 + 80,0]
[Protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe	[96,0 + 80,0] + 2250,0
[Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil	[96,0 + 80,0] + 1500,0
[Azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil]	[79,5 + 24,0 + 975,0]
[Azoxistrobina + tebuconazol]	[60 + 100]
[Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina]	[62,5 + 87,5 + 75,0]
[Trifloxistrobina + tebuconazol]	[50,0 + 100,0]
[Fluxapiroxade + protioconazol]	[60,0 + 84,0]

* adição a calda de 0,25% (v/v) de adjuvante a base de éster metílico de soja. Fonte: elaborado pelo autor.

A aplicação dos tratamentos foi realizada através de pulverizador pressurizado por CO_2, equipado com barra de seis pontas, modelo TX VK 811002, espaçadas em 0,50 m, posicionados a 0,5 m de altura em relação à superfície das plantas, volume de calda de 200 $L.ha^{-1}$ e pressão de trabalho de 3,2 bar. Os tratamentos foram aplicados em duas vezes, aos 41 e 55 DAE, respectivamente, conforme descrição abaixo (tabela 4).

Tabela 4. Descrição das condições nos momentos de aplicação dos tratamentos para controle de ferrugem-asiática da soja. CEAgro 2023/24.

	1ª Aplicação	2ª Aplicação
DAE	41	55
Data	08/02/2024	22/02/2024
Hora de início:	9:00h	09:57h
Hora de término:	09:30h	11:07h
T mín (°C):	26,0	27,0
T máx (°C):	27,0	29,0
UR média (%):	76,0	72,0
Vel. vento (m/s):	1,38	3,05
Nebulosidade (%):	80,0	69,0
Umidade do solo:	Sim	Sim
Estádio (BBCH):	38	51

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados, agrupados em semanas, do regime pluviométrico acumulado e temperaturas médias, máximas e mínimas do município de Guatapará/SP (21°29'27,2"S 47°59'53,5"O) foram coletados em estação meteorológica da empresa e estão apresentados abaixo (Figura 1).

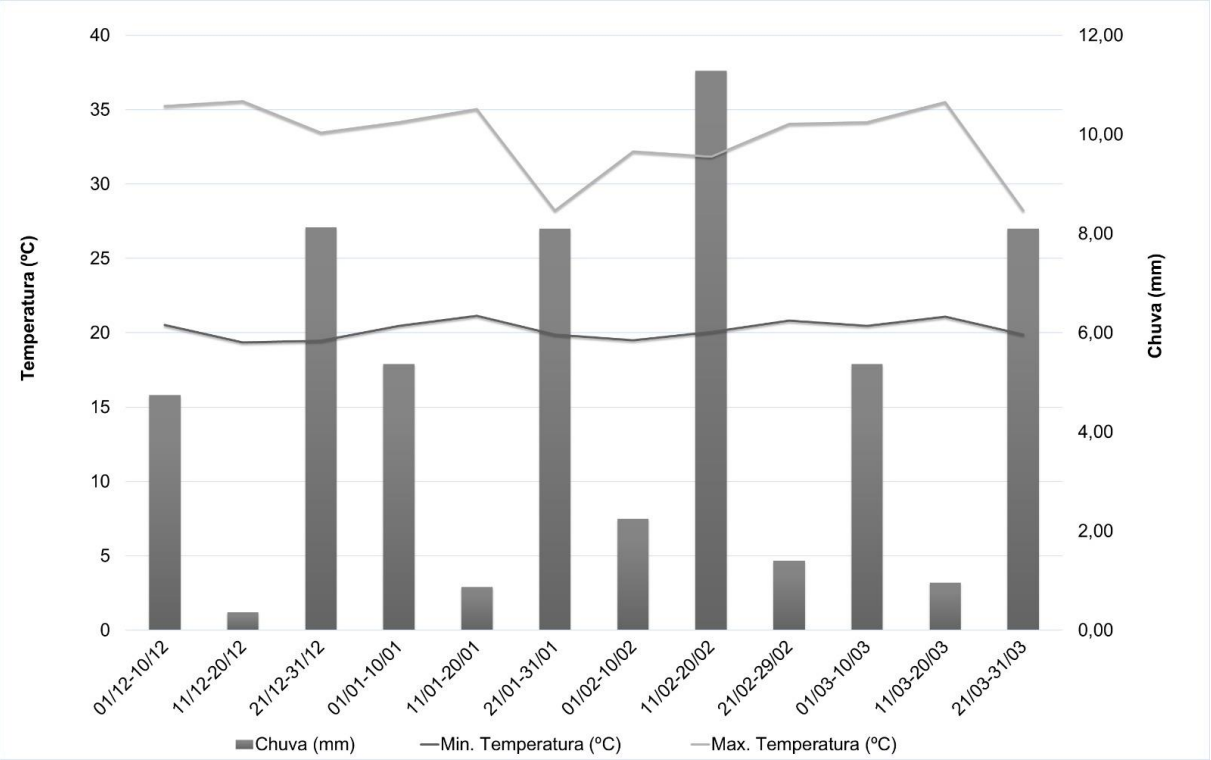

Figura 1. Série histórica das chuvas acumuladas e temperaturas mínima e máxima no município de Guatapará/SP, durante o período de 01 de dezembro de 2023 a 31 de março de 2024. CEAgro 2023/24.

Foram realizadas avaliações de severidade no terço inferior e médio das plantas e desfolha (%) aos 7 e 14DA1A e 7 e 14 DA2A, conforme a escala diagramática proposta por Franceschi et al. (2020) (Figura 2) e Hirano et al., (2010) (Figura 3), respectivamente. A fitotoxicidade foi avaliada aos 7 e 14 DA1A e 7 e 14 DA2A, conforme escala proposta por Campos e Silva (2012) (Figura 4), enquanto estimativa de produtividade e peso de mil grãos (PMG) ao fim do ciclo da cultura.

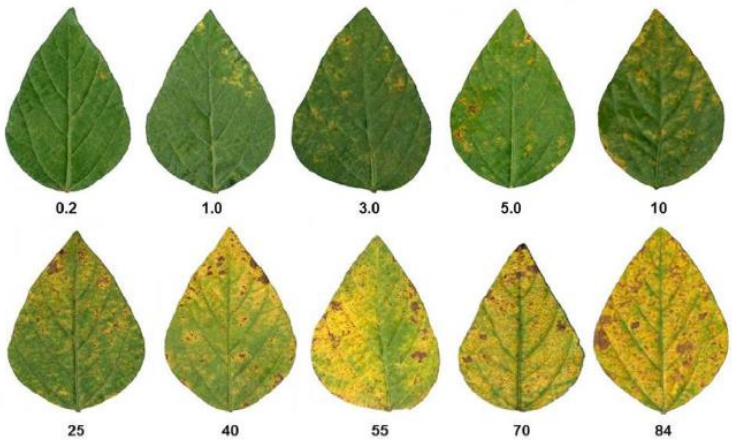

Figura 2. Escala diagramática de ferrugem-asiática da soja, proposta por Franceschi et al. (2020). CEAgro 2023/24.

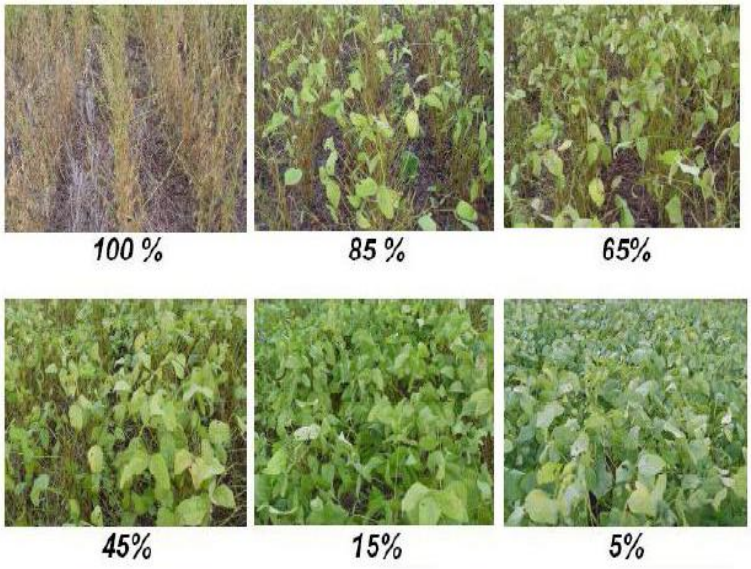

Figura 3. Escala diagramática para estimativa de desfolha da soja, proposta por Hirano et al. (2010). CEAgro 2023/24.

NOTA	DESCRIÇÃO	
0	AUSÊNCIA DE FITOTOXIDEZ	-
1	MUITO LEVE	Até 10% de área foliar com presença de cloroses ou bronzeamento;
2	MEDIANAMENTE LEVE	entre 11 a 25% de área foliar com cloroses ou bronzeamento;
3	LEVE	entre 11 a 25% de área foliar afetada e com necroses;
4	MEDIANAMENTE FORTE	entre 25% a 50% de área foliar afetada e com necroses;
5	FORTE	entre 50% a 75% de área foliar afetada e com necroses pronunciadas;
6	MUITO FORTE	mais de 75% de área foliar afetada e com necroses pronunciadas;
7	EXTREMAMENTE FORTE	seca total do folíolo afetado.

Figura 4. Escala descritiva e diagramática para avaliação de fitotoxidez em função da intensidade de cloroses e/ou bronzeamentos e necroses foliares causadas por fungicidas, proposta por Campos e Silva (2012). CEAgro 2023/24.

Ao término do ciclo da cultura (BBCH 88), estádio de maturação fisiológica (R7.2), foi realizado a dessecação das plantas cultivadas (em 22/04/2024) através da pulverização foliar de glufosinato-sal de amônio (400 g ha^{-1}), com adição a calda de pulverização de 0,2% (v/v) de adjuvante a base de éster metílico de soja.

Para estimativa da produtividade foram colhidas manualmente as quatro linhas centrais da área útil das parcelas (descartados 0,5 m das extremidades e

bordaduras das unidades experimentais). Após a colheita, foi realizado testes referentes a umidade do grão de cada parcela e peso de mil grãos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, seguido pela comparação das médias por meio do teste de Tukey, adotando significância de 5%. A realização da ANOVA e seus desdobramentos foram realizadas através do software estatístico AgroEstat – sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos (Barbosa; Maldonado Júnior, 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5, são apresentados os dados referentes à área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e à eficiência dos diferentes tratamentos utilizados. Observa-se que os tratamentos aplicados na cultura da soja foram eficazes no controle da ferrugem-asiática, resultando em uma redução significativa da AACPD quando comparados ao tratamento testemunha, com diferenças estatisticamente significativas (Tabela 5). Todos os tratamentos com fungicidas demonstraram uma eficiência substancial no controle da doença, apresentando percentuais de eficiência superiores a 55%.

Os tratamentos com combinações de [Protioconazol + picoxistrobina], [protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe, e [Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil mostraram resultados estatisticamente semelhantes, com eficiência de aproximadamente 56,34% a 56,50%. Especificamente, a combinação [Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil foi a mais eficiente, com 56,50% de eficiência, seguida de perto pelas demais combinações de [protioconazol + picoxistrobina] que também apresentaram resultados muito próximos. Além disso, o tratamento [azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil] apresentou uma eficiência de 56,42%, estatisticamente semelhante aos outros tratamentos mencionados.

Os tratamentos com [Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina] e [Fluxapiroxade + protioconazol] também se destacaram, apresentando eficácias de 56,35% e 56,33%, respectivamente. O tratamento com [Trifloxistrobina + tebuconazol] teve uma eficiência de 56,15%, também estatisticamente semelhante aos demais tratamentos. Em contraste, a doença progrediu exponencialmente no tratamento testemunha, sem a aplicação de fungicidas, apresentando uma AACPD de 1233,6, significativamente maior do que todos os tratamentos aplicados.

Tabela 5. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) durante o período das avaliações de ferrugem-asiática na cultura da soja e eficiência dos tratamentos.

Tratamentos	AACPD					Scott-Knott[1]	% Eficiência[3]
	0-7 DA1A	7-14 DA1A	0-7 DA2A	7-14 DA2A	SOMA		
Testemunha	51,1	181,9	421,0	579,5	1233,6	a	0,00
[Protioconazol + picoxistrobina]	1,22	2,75	178,3	356,2	538,50	b	56,34
[Protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe	1,22	2,60	178,1	355,1	537,00	b	56,46
[Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil	1,24	2,27	177,9	355	536,50	b	56,50
[Azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil]	1,13	2,69	178,7	354,9	537,56	b	56,42
[Azoxistrobina + tebuconazol]	1,15	3,87	180,2	359,9	545,26	b	55,80
[Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina]	0,92	2,86	178,5	356,1	538,42	b	56,35
[Trifloxistrobina + tebuconazol]	1,38	3,60	179,2	356,7	540,92	b	56,15
[Fluxapiroxade + protioconazol]	1,10	2,48	178,5	356,6	538,70	b	56,33
CV (%)	4,82						

DA1A: Dias após a primeira aplicação; DA2A: Dias após a segunda aplicação; [1]Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si por Scott-Knott à 5% de probabilidade; [2]Coeficiente de variação dos dados; [3]Porcentagem de eficiência de Abbott (1925).

A Figura 5 apresenta a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) de ferrugem-asiática na cultura da soja ao longo de quatro intervalos de avaliação. Observa-se que o tratamento testemunha (T1) apresentou um aumento constante e significativo da AACPD, atingindo valores superiores a 600 no quarto intervalo. Isso indica uma progressão acelerada da doença na ausência de fungicidas.

Por outro lado, todos os tratamentos com fungicidas (T2 a T9) mostraram uma progressão muito mais lenta da doença. No primeiro intervalo, os valores de AACPD para esses tratamentos foram praticamente nulos, demonstrando uma eficácia inicial no controle da ferrugem-asiática. À medida que os intervalos avançam, a AACPD nos tratamentos com fungicidas aumenta, mas em um ritmo consideravelmente mais lento em comparação com o tratamento testemunha.

Os tratamentos T3, T4, T5, T7, T8 e T9 exibiram curvas de progresso da doença muito semelhantes, com valores de AACPD menores que 400 no quarto intervalo. Esse resultado sugere que esses tratamentos são eficazes na supressão da ferrugem-asiática ao longo do tempo.

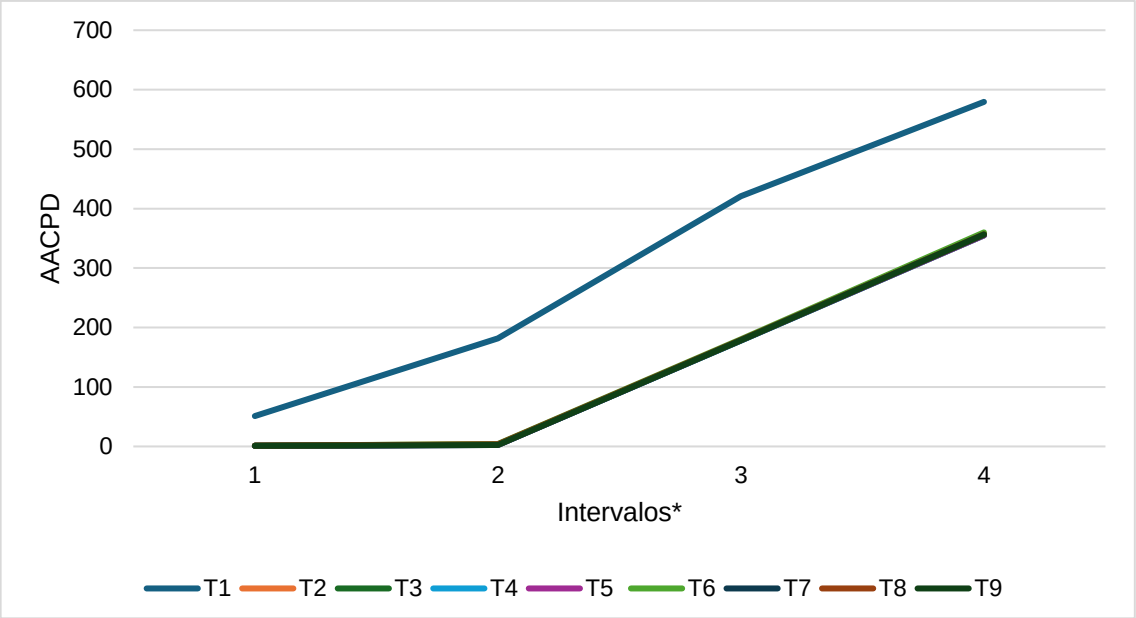

Figura 5. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de ferrugem-asiática na cultura da soja. *1: 0-7 dias após a primeira aplicação; 2: 7-14 dias após a primeira aplicação; 3: 0-7 dias após a segunda aplicação; 7-14 dias após a segunda aplicação.

Sintomas leves de fitotoxicidade foram observados a partir da segunda aplicação dos tratamentos (Tabela 6). Os sintomas consistiram em amarelecimento e/ou necrose do limbo foliar, na região internerval. Aos 7 dias após a primeira aplicação (DA1A), não foram observados sintomas de fitotoxicidade em nenhum dos tratamentos, incluindo o tratamento testemunha. No entanto, aos 14 DA1A, começaram a surgir leves sintomas em alguns tratamentos.

Os tratamentos com [protioconazol + picoxistrobina], [azoxistrobina + tebuconazol], [bixafem + protioconazol + trifloxistrobina], [trifloxistrobina + tebuconazol], e [fluxapiroxade + protioconazol] apresentaram fitotoxicidade variando de 2,25% a 3,25%. Dentre eles, o tratamento com [Fluxapiroxade + protioconazol] apresentou a maior média com 3,25%, enquanto os outros tratamentos mostraram valores semelhantes em torno de 2,25% a 2,5%, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 6).

Aos 7 dias após a segunda aplicação (DA2A), os sintomas de fitotoxicidade aumentaram em todos os tratamentos, com as maiores médias observadas nos tratamentos [Protioconazol + picoxistrobina] com 6,25% e [Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina] com 7%. Esses valores diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, mas ainda são considerados níveis moderados de fitotoxicidade.

Aos 14 DA2A, os níveis de fitotoxicidade continuaram a progredir, atingindo a maior porcentagem nos tratamentos [protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe e [bixafem + protioconazol + trifloxistrobina], ambos com 10%. Embora esses valores sejam superiores aos observados anteriormente, ainda são considerados níveis relativamente baixos de fitotoxicidade (Tabela 6).

Com base nos resultados obtidos, é importante ressaltar que os fungicidas da classe dos triazóis, como o protioconazol, têm sido associados a efeitos fitotóxicos, variando de leve a grave. No entanto, é necessário considerar que a fitotoxicidade também pode depender de outros fatores, como a dosagem aplicada, as condições ambientais e a sensibilidade da cultura em questão (ALLEN; WILKERSON, 2019).

Tabela 6. Fitotoxicidade dos tratamentos aplicados na cultura da soja.

Tratamentos	Fitotoxicidade (%)			
	7 DA1A	14 DA1A	7 DA2A	14 DA2A
Testemunha	0,0 a	0,0 b	0,0 c	0,0 d
[Protioconazol + picoxistrobina]	0,0 a	2,25 a	6,25 a	7,5 b
[Protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe	0,0 a	0,5 b	3,75 b	10,0 a
[Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil	0,0 a	0,5 b	3,25 b	6,25 b
[Azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil]	0,0 a	0,5 b	2,75 b	2,75 c
[Azoxistrobina + tebuconazol]	0,0 a	2,25 a	5,0 a	4,0 c
[Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina]	0,0 a	2,5 a	7,0 a	10,0 a
[Trifloxistrobina + tebuconazol]	0,0 a	2,25 a	5,0 a	5,75 b
[Fluxapiroxade + protioconazol]	0,0 a	3,25 a	5,25 a	5,75 b
Médias	0,0	1,55	4,25	5,92
CV (%)	0	88,46	47,25	35,49

DA1A: Dias após a primeira aplicação; DA2A: Dias após a segunda aplicação; Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si por Scott-Knott à 5% de probabilidade; Coeficiente de variação dos dados.

Ao analisar a evolução dos resultados de desfolha das plantas ao longo do tempo, destaca-se que os tratamentos demonstraram diferenças significativas a partir das avaliações realizadas após a segunda aplicação, conforme evidenciado pelo teste de F (Tabela 7). Ressalta-se que no período de 14 DA1A, todos os tratamentos apresentaram 0% de desfolha, indicando uma resposta inicial uniforme e sem diferenças significativas.

Após a segunda aplicação, observaram-se variações nos índices de desfolha das plantas à medida que as avaliações avançaram. Em média, a desfolha foi de 6,3% aos 7 dias após a segunda aplicação, aumentando para 11,11% aos 14 dias e alcançando 20,69% aos 21 dias. No entanto, não houve diferença estatisticamente

significativa entre os tratamentos, exceto em relação ao tratamento testemunha, que apresentou uma média de 38,75% aos 21DA2A.

Tabela 7. Desfolha dos tratamentos aplicados na cultura da soja.

Tratamentos	Desfolha (%)			
	14 DA1A	7 DA2A	14 DA2A	21 DA2A
Testemunha	0 a	12,5 a	30 a	38,75 a
[Protioconazol + picoxistrobina]	0 a	6,25 c	8,75 b	17,5 b
[Protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe	0 a	3,75 c	7,5 b	15,0 b
[Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil	0 a	3,25 c	6,25 b	16,25 b
[Azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil]	0 a	2,75 c	8,75 b	17,5 b
[Azoxistrobina + tebuconazol]	0 a	5 c	10 b	17,5 b
[Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina]	0 a	7 b	10 b	20 b
[Trifloxistrobina + tebuconazol]	0 a	7,5 b	8,75 b	22,5 b
[Fluxapiroxade + protioconazol]	0 a	8,75 b	10 b	21,25 b
Médias	0	6,3	11,11	20,69
CV (%)	0	37,3	17,85	17,36

DA1A: Dias após a primeira aplicação; DA2A: Dias após a segunda aplicação; Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si por Scott-Knott à 5% de probabilidade; CV: Coeficiente de variação dos dados.

Em relação aos resultados obtidos para o peso de mil grãos (PMG), produtividade em sacas/ha e incremento (%) conforme apresentados na tabela 8 abaixo, observou-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a variável PMG, de acordo com o teste de F realizado.

Todos os tratamentos apresentaram produtividade superior a testemunha sem aplicação de fungicida. Dessa forma, destaca-se que o tratamento [azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil] pela maior produtividade da soja, com um incremento de 55,55% em comparação com a testemunha. Ressalta-se que esse tratamento apresentou diferença estatisticamente significativa em relação aos demais, exceto ao [protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe, que registrou um incremento de produtividade de 37,7%.

Além disso, os demais tratamentos avaliados também apresentaram bons resultados em termos de produtividade da soja, com incrementos que variaram entre 15,03% e 28,33%. Vale ressaltar que esses resultados não diferiram estatisticamente entre si, porém todos se destacaram em relação à testemunha.

Tabela 8. Peso de mil grãos (PMG), produtividade em sacas de 60 kg por hectare ($SC.ha^{-1}$) e incremento em função dos tratamentos aplicados na cultura da soja.

Tratamentos	PMG (g)		SC/ha^{-1}		Incremento (%)
Testemunha	85,79	b	17,03	c	0,00
[Protioconazol + picoxistrobina]	92,95	a	19,59	b	15,03
[Protioconazol + picoxistrobina] + mancozebe	96,91	a	23,45	a	37,70
[Protioconazol + picoxistrobina] + clorotalonil	96,05	a	21,94	b	28,83
[Azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil]	97,39	a	26,49	a	55,55
[Azoxistrobina + tebuconazol]	99,06	a	22,15	b	30,06
[Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina]	94,03	a	21,71	b	27,48
[Trifloxistrobina + tebuconazol]	92,76	a	20,71	b	21,61
[Fluxapiroxade + protioconazol]	94,52	a	20,94	b	22,96
Médias	94,16		29,75		-
CV (%)	4,74		9,87		-

Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si por Scott-Knott à 5% de probabilidade; CV: Coeficiente de variação dos dados.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que os tratamentos [protioconazol + picoxistrobina + clorotalonil], [azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil], [protioconazol + picoxistrobina + mancozebe], [bixafem + protioconazol + trifloxistrobina], [trifloxistrobina + tebuconazol] e [fluxapiroxade + protioconazol] demonstraram um controle eficaz da ferrugem-asiática, com baixos valores de AACPD e alta produtividade, superando a testemunha, e apresentaram baixa fitotoxicidade.

Esses resultados estão de acordo com a literatura existente, que aponta que os fungicidas mais eficazes contra a ferrugem-asiática são as estrubirulinas, incluindo picoxistrobina, azoxistrobina, trifloxistrobina e fluxapiroxade, bem como os triazóis, como protioconazol, ciproconazol e tebuconazol. As estrubirulinas atuam sobre a respiração celular dos fungos, enquanto os triazóis inibem a síntese de ergosterol. Devido à alta agressividade do patógeno, ambos os grupos de fungicidas são recomendados para aplicação preventiva (Rezende et al., 2016).

Além disso, é recomendado a combinação de diferentes grupos químicos para melhorar o controle da ferrugem-asiática. Alves e Juliatti (2018) demonstraram que misturas de triazóis, estrobilurinas e fungicidas protetores aumentam tanto a produtividade quanto a eficiência no controle da doença. No geral, a utilização de dois ou mais ingredientes ativos com mecanismos de ação distintos promove um controle mais abrangente da ferrugem da soja. Essa combinação não só amplia o espectro de ação do produto, mas também proporciona um maior residual, reduzindo o risco de

desenvolvimento de populações resistentes do patógeno (Meneghetti et al., 2010). Neste sentido, todos os tratamentos avaliados neste estudo incorporaram diferentes princípios ativos, o que os tornam importantes ferramentas para o manejo da resistência da doença.

Portanto, os tratamentos supracitados se destacam como ótimas alternativas para o manejo da ferrugem-asiática da soja nas condições estudadas, oferecendo um equilíbrio eficaz entre controle da doença e impacto mínimo sobre a cultura.

4. CONCLUSÕES

Para as condições do presente estudo, pode-se que concluir que os tratamentos [protioconazol + picoxistrobina + clorotalonil], [azoxistrobina + ciproconazol + clorotalonil], [protioconazol + picoxistrobina + mancozebe], [bixafem + protioconazol + trifloxistrobina], [trifloxistrobina + tebuconazol] e [fluxapiroxade + protioconazol] se destacam-se como as estratégias mais eficazes para o manejo da ferrugem-asiática da soja. Esses tratamentos apresentaram os menores valores de AACPD, refletindo um controle significativo da progressão da doença, ao mesmo tempo em que mantiveram níveis de fitotoxicidade reduzidos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, T. W.; WILKERSON ,T. H. In: BRADLEY, C. **Proceedings of the 46th Annual Meeting of the Southern Soybean Disease Workers** (March 6-7, 2019, Pensacola Beach, Florida), 2019.

ALVES, V. M.; JULIATTI, F. C. Fungicidas no manejo da ferrugem da soja, processos fisiológicos e produtividade da cultura. **Summa Phytopathologica**, v. 44, p. 245-251, 2018.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J.W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos.** Jaboticabal, FCAV/UNESP, 2015.

CAMPOS, H. D., SILVA, L. H. C. P. Escala descritiva e diagramática para avaliação de fitotoxidez em função da intensidade de cloroses e / ou bronzeamentos e necroses foliares causadas por fungicidas. Rio Verde, Goiás, 2012, 2p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos. 9º levantamento Safra 2023/24.** Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos. Acesso em: jul. 2024.

FRANCESCHI, V.T.; ALVES, K.S.; MAZARO, S.M.; GODOY, C.V.; DUARTE, H.S.S.; DEL PONTE, E.M. A new standard area diagram set for assessment of severity of soybean rust improves accuracy of estimates and optimizes resource use. **Plant Pathology**, Sutton Bonington, v.69, n.3, p.495-505, 2020.

GODOY, C. V.; ALMEIDA, A. M. R.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C.; DIAS, W. P.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; HENNING, A. A.; YORINORI, J. T.; FERREIRA, L. P.; SILVA, J. F. V. Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. v. 2. p. 657-675.

HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. R. IN: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (Ed.). Compendium of Soybean Diseases and Pests. 5ª ed. St. Paul: **American Phytopathological Society.** 2015. 56-58.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M. **Manual de identificação de doenças de soja.** Embrapa Soja, Londrina, PR, 2014.

HIRANO, M., HIKISHIMA, M., SILVA, A. J. D., XAVIER, S. A., CANTERI, M. G. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugemasiática em soja. **Summa phytopathologica**, 36, 248-250.

KÖPPEN, W. **CLIMATOLOGÍA**. México, DF: Fondo de Cultura Económica. 1948. 71 p.

MATSUO, E., LOPES, E.A., SEDIYAMA, T. Manejo de doenças. In: SEDIYAMA, T. SILVA, F., BORÉM, A. Soja do plantio a colheita. **Editora UFV.** Viçosa, p. 288-309, 2015.

MENEGHETTI, R. C.; BALARDIN, R. S.; CORTE, G. D.; FAVERA, D. D.; DEBONA, D. Avaliação da ativação de defesa em soja contra *Phakopsora pachyrhizi* em condições controladas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, p. 823-829, 2010.

PELIN, C.; WORDELL FILHO, J. A.; NESI, C. N. Ferrugem asiática da soja: etiologia e controle. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 3, p. 18-21, 2020.

REZENDE, J.; BERGAMIN, A.; CAMARGO, L. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 2. ed. Piracicaba, SP: 2016. v. 2.

TREMBLAY, A.; HOSSEINI, P.; LI, S.; ALKHAROUF, N. W.; MATTHEWS, B. F. (2013). Analysis of *Phakopsora pachyrhizi* transcript abundance in critical pathways at four time-points during infection of a susceptible soybean cultivar using deep sequencing. **BMC genomics**, v. 14, p. 1-17, 2013.