UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÁRCIO PETER

POSICIONAMENTO DE FUNGICIDAS PARA O CONTROLE DE *Phakopsora pachyrhizi* AGENTE CAUSAL DA FERRUGEM ASIÁTICA NA SOJA.

CURITIBA-PR

2025

MÁRCIO PETER

POSICIONAMENTO DE FUNGICIDAS PARA O CONTROLE DE P*hakopsora pachyrhizi* AGENTE CAUSAL DA FERRUGEM ASIÁTICA NA SOJA.

Artigo 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(a): Doutoranda Débora Petermann

CURITIBA-PR

2025

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 6
2. REFERENCIAL TEÓRICO..... 9
2.1 CULTURA DA SOJA..... 9
2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA 10
2.3 FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA..... 12
3. METODOLOGIA..... 13
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS..... 15
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 19
6. REFERÊNCIAS..... 20

Posicionamento de fungicidas para o controle de *Phakopsora pachyrhizi* agente causal da ferrugem asiática na soja.

RESUMO

Phakopsora pachyrhizi é agente causal da ferrugem asiática da soja. A doença pode causar perdas de até 90% na produtividade, tornando seu manejo essencial para a cultura. Esse estudo teve como objetivo avaliar a influência do manejo de fungicidas em diferentes estágios do ciclo da cultura da soja, em diferentes ambientes de cultivo, na severidade e controle da doença. O experimento foi conduzido em três locais (ambiente), Santa Maria, Rio Pardo e Pelotas/RS, com cinco tratamentos baseados na aplicação de fungicidas. Foram avaliadas a severidade e o controle da ferrugem 15 e 30 dias após a quarta aplicação, além da produtividade para os diferentes locais de cultivo. O ambiente do Rio Pardo apresentou o maior controle da ferrugem 30 dias após a quarta aplicação, porém obteve menor produtividade. Tratamentos com aplicação de fungicidas iniciando aos 35 dias após a emergência (DAE) mostraram maior controle da doença, reforçando a importância desse período para o manejo eficiente. A produtividade foi inferior no tratamento sem aplicação de fungicidas, evidenciando a relevância do controle químico para maximizar os rendimentos da soja.

Palavras chaves: Ambiente de cultivo. Doenças; *Glycine max* L. Produtividade.

Positioning of fungicides to control *phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of asian rust in soybeans

ABSTRACT

Phakopsora pachyrhizi is the causal agent of Asian soybean rust. The disease can cause losses of up to 90% in productivity, making its management essential for the crop. This study aimed to evaluate the influence of fungicide management at different stages of the soybean crop development, in different growing environments, on the severity and control of the disease. The experiment was conducted in three locations (environment), Santa Maria, Rio Pardo and Pelotas/RS, with five treatments based on the application of fungicides. Rust severity and control were evaluated 15 and 30 days after the fourth application, in addition to productivity for different cultivation locations. The Rio Pardo environment showed the greatest rust control 30 days after the fourth application, but had lower productivity. Treatments with the application of fungicides started 35 days after emergence (DAE) showed greater control of the disease, reinforcing the importance of this period for efficient management. Productivity was lower in the treatment without fungicide application, highlighting the relevance of chemical control to maximize soybean yields.

Key words: Cultivation environment. Illnesses; *Glycine max* L. Yield.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é a cultura mais produzida, em escala global, um dos principais fatores para isso, é a capacidade deste grão em fornecer lipídeos e proteínas (FATTORI et al., 2022), tanto para a alimentação animal quanto para a alimentação humana (MURITHI et al., 2016), se tornando, desta forma, um importante alimento utilizado como fonte de proteína e óleo (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021), isso porque a soja apresenta cerca de 40% de proteína e 20% de óleo em sua composição (ROSA et al., 2015).

No Brasil, a soja apresenta grande importância econômica, uma vez que é o principal produto exportado no mercado internacional (FATTORI et al., 2022). Tanto que esta cultura movimenta bilhões de reais durante o ano, como consequência, apresenta impacto significativo na geração de riqueza para o país (OLIVEIRA et al., 2017). Na safra 2023/2024 o Brasil produziu 147.382 mil toneladas do grão, em uma área plantada de 46.029,8 mil hectares, obtendo uma produtividade média de 3.202 kg/ha (CONAB, 2024).

Durante o ciclo da cultura, ela fica submetida a diversas condições que podem comprometer a produção final em um campo de produção (ASAD et al., 2020), como o clima (HE et al., 2020), sendo que estes fatores podem variar em diferentes regiões de cultivo (FATTORI et al., 2022). Por este motivo, quando se conduz uma pesquisa cientifica que vise obter resultados sobre manejos agronômicos que impactam no rendimento da cultura, é de suma importância realizar em diferentes regiões produtoras, para que possa ser comprovado que os resultados são em virtude do efeito dos manejos avaliados e não pela influência do clima (GAWEDA et al., 2024).

A cultura da soja pode ficar exposta a diversos estresses abióticos e bióticos durante o seu ciclo de vida (ROSA et al., 2015). Dentre os estresses bióticos, os que causam maiores problemas em uma lavoura de soja são as ocorrências de plantas daninhas, insetos e patógenos (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021). Neste contexto, a ferrugem asiática é a principal doença capaz de causar reduções drásticas na produtividade final de uma lavoura de soja (SILVA et al., 2020).

A ferrugem asiática da soja é uma doença fúngica causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021). Esta doença pode

ocasionar sérios problemas na produtividade final da cultura (ROSA et al., 2015). A redução da área foliar (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021), perda de peso (ROSA et al., 2015) e redução da qualidade dos grãos (KATO et al., 2020,) são algumas consequências trazidas pela ferrugem asiática da soja.

Os problemas atrelados a incidência da ferrugem asiática estão relacionados, principalmente pela redução da atividade fotossintética das folhas infectadas devido a presença de lesões produzidas pelo patógeno (EINHARDT et al., 2020) que ocasiona a redução do acúmulo de massa seca (OLIVEIRA et al., 2018), impactando diretamente no enchimento e qualidade dos grãos produzidos (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021; FATTORI et al, 2022). Com isso, essa doença representa uma ameaça para a obtenção de altos tetos produtivos em uma lavoura de soja (GODOY et al., 2016).

Os sintomas da ferrugem asiática na soja podem ocorrer em qualquer estágio da planta, mas as principais perdas de produtividade em virtude desta doença ocorrem quando a infecção ocorre no estágio de floração (R1) até o estágio de enchimento de grãos (R6) (MURITHI et al., 2016). O sintoma é caracterizado pelo aparecimento de pequenas lesões de coloração castanha, estando concentradas, principalmente na superfície abaxial dos folíolos da soja (REIS et al., 2019). Os sintomas também podem ser vistos em outros órgãos da planta, como, vagens, caules e pecíolos (JULLAINI & ZAMBOLIM, 2021). Estas lesões causam clorose foliar (GODOY et al., 2016) podendo resultar na desfolha prematura (GABARDO et al., 2020).

A umidade alta, em torno de 75% a 80%, favorecida pelas precipitações, auxiliam na proliferação da doença (MURITHI et al., 2016), isso porque, um período mínimo de orvalho de 6 horas favorece a infecção de *P. pachyrhizi* na planta (GODOY et al., 2016). Além disso, o fungo infecta a sua planta hospedeira em temperatura entre 10°C à 27,5°C (HOFFMANN et al., 2022), sendo a temperatura ótima entre 20°C a 23°C (ZUNTINI et al., 2019).

Para a redução dos impactos causados pela ferrugem asiática na cultura da soja é fundamental a adoção de diversas estratégias, como a utilização de cultivares de ciclo precoce (JULIANNI & ZAMBOLIM, 2021), semeadura no início da estação recomendada (RADONS et al., 2021), vazio sanitário (BUTTRÓS et al., 2022), eliminação de plantas voluntárias (REIS et al., 2020), monitoramento das lavouras durante todos os ciclos de crescimento e desenvolvimento da

cultura (SIKORA et al., 2014) e a utilização de fungicida de forma preventiva e em ocasiões em que a doença está presente no campo de produção (NETTO et al., 2020). Neste cenário é importante salientar que o método preventivo é essencial para diminuir os impactos da ferrugem asiática na cultura da soja (JULLIANI & ZAMBOLIM, 2021).

O uso de fungicidas é a principal forma de controle da ferrugem asiática em lavouras de soja (SACON et al., 2020), porém, é necessário realizar a aplicação em momentos oportunos, para melhor controle da doença (GODOY et al., 2016). Em geral são realizadas de três a cinco pulverizações com fungicidas em lavouras de soja com o objetivo de controlar a ferrugem asiática (FATTORI et al., 2022).

Este número de aplicações se deve a necessidade de realizar o controle preventivo, que geralmente ocorre na fase vegetativa da cultura (MORAES et al., 2022), e o controle curativo, que ocorre na fase reprodutiva da cultura (GODOY et al., 2016). O controle preventivo é importante para manter a sanidade das folhas para que não ocorra redução da eficiência fotossintética da planta (EINHARDT et al., 2020). Já o controle curativo auxilia no controle da ferrugem asiática após sua instalação na cultura, que é a fase em que há maior incidência desta doença na lavoura, bem como perdas na produtividade causadas por ela (MURITHI et al., 2016).

Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do manejo de fungicidas em diferentes estágios do ciclo da cultura da soja, em diferentes ambientes de cultivo, na severidade e no controle da ferrugem asiática da soja.

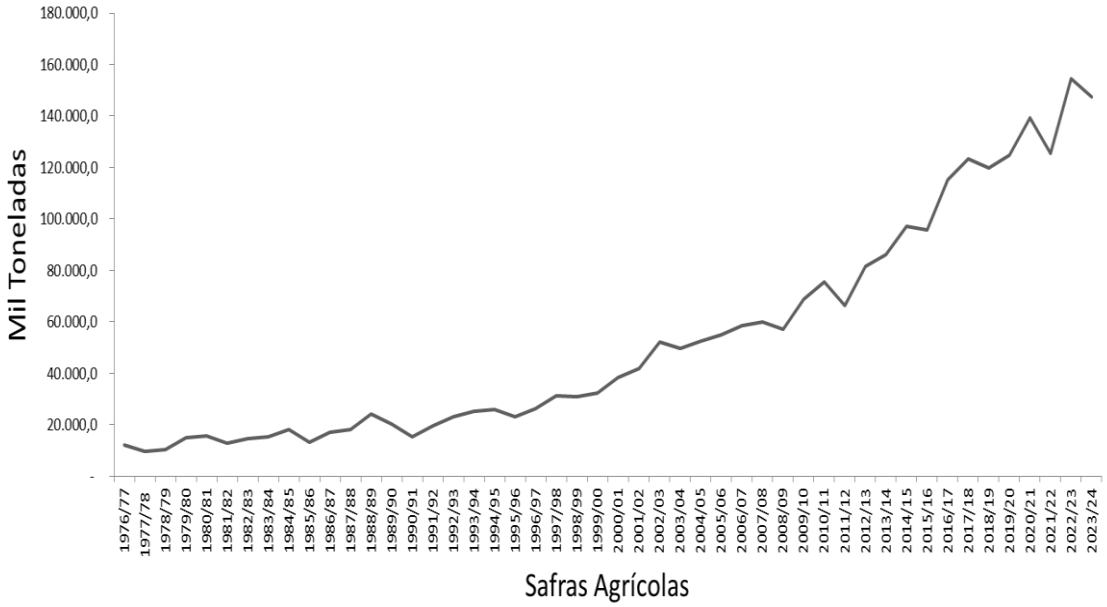
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CULTURA DA SOJA

A soja é uma planta originada do nordeste da China, esta cultura é uma espécie leguminosa, que apresenta grande adaptabilidade a diferentes latitudes, condições de solo e clima (ROSA et al., 2015). A soja é a cultura mais produzida no mundo (FATTORI et al., 2022), ela apresenta grande importância para a alimentação animal e humana, por ser uma importante fonte de proteínas e lipídeos. Um grão de soja é composto por cerca de 20% de óleo e 40% de proteína, na forma de aminoácidos essenciais (ROSA et al., 2015). Além de apresentar nutrientes benéficos e fatores bioativos, fazendo com que este grão seja amplamente escolhido em diversas dietas nas mais variadas regiões do mundo (MURITHI et al., 2016).

No Brasil, a introdução da soja, em escala comercial iniciou na década de 1930 (ROSA et al., 2015), onde foram utilizados genótipos provenientes dos Estados Unidos, originalmente adaptadas ao cultivo na região sul deste país do norte da América (DE SOUSA et al., 2020). Porém, a produção de soja no Brasil tomou maiores proporções a partida década de 1980, a partir do melhoramento genético dos genótipos de soja que permitiu a expansão do cultivo para a região do Cerrado brasileiro (ROSA et al., 2015). Atualmente, a importância econômica da soja para o Brasil está vinculada ao fato de que ela é o produto do país que mais é exportado no mercado internacional (FATTORI et al., 2022).

No Brasil há uma grande evolução na produção de soja ao passar dos anos. Na safra 1980/81 a produção foi de 15.484,8 mil toneladas, já na safra de soja, em 2023/24, foi produzido 147.382 mil toneladas de grãos desta cultura no Brasil (Figura 1).



Fonte: CONAB (2024)

Figura 1: Evolução da produção de soja no Brasil.

2.2. FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

A ferrugem asiática está presente na maioria dos países que produzem soja (ROSA et al., 2015) sendo o fungo *Phakopsora pachyrhizi* o agente causal responsável pela doença na cultura (FATTORI et al., 2022). Este fungo foi identificado pela primeira vez em 1902, no Japão, e recebeu o nome de *Uredo sojae* (GODOY et al., 2016).

A primeira epidemia de ferrugem asiática relatada ocorreu no ano de 1914, em países localizados na região sudeste do continente asiático (ROSA et al., 2015). Assim, até a metade do século passado, foi relada a ocorrência somente no leste da Ásia e na Austrália (YAMAOKA, 2014). Posteriormente este fungo se espalhou pelo mundo ocorrendo pela primeira vez na Índia em 1970 (PATIL & BASAVARAJA, 2014), em Porto Rico em 1976 (ZAMBOLINI et al., 2021), em Togo em 1980 (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021), no Havaí em 1994 (MURITHI et al., 2016), em Uganda em 1996 (MURITHI et al., 2015), em Quênia e Ruanda, Zimbábue e Zâmbia em 1998 (JULLIATI & ZAMBOLIM, 2021), no Paraguai e oeste do Paraná, no Brasil (GODOY et al., 2016), e na África do Sul e Nigéria em 2001 (JULLIATI & ZAMBOLIM, 2021), na Argentina em 2003

(ROSA et al., 2015), nos Estados Unidos em 2004 (GODOY et al., 2016) e em Gana em 2007 (JULLIATI & ZAMBOLIM, 2021).

No Brasil, a incidência da ferrugem asiática na soja é maior quando comparado com outros países da América, como a Argentina e os Estados Unidos, devido às condições ambientais. O inoculo *P. pachyrhizi* consegue sobreviver apenas em áreas do sul dos Estados Unidos e no norte da Argentina, devido as baixas temperaturas que ocorrem nas demais regiões destes países durante o inverno, diferentemente do que ocorre no Brasil (ROSA et al., 2015). Além disso, o alto regime de chuvas, que ocorrem em alguns anos no Brasil, também favorece a proliferação do fungo nas lavouras brasileiras de soja (FATTORI et al., 2022).

P. pachyrhizi é um parasita obrigatório (GODOY et al., 2016), ele produz uredósporos e teliósporos (ZAMBOLINI et al., 2022). A produção dos uredósporos é fundamental para a sobrevivência do fungo ao longo do ano (SEGERS et al., 2016). Ou seja, para que este fungo consiga sobreviver, ele necessita apresentar produção contínua de uredósporos em um hospedeiro adequado (HOFFMANN et al., 2022). A principal forma de sobrevivência da ferrugem é em plantas de soja oriundas dos processos de perda de colheita favorecendo e germinação e estabelecimento de plantas de soja tiguera que se mantem vivas durante o período de inverno promovendo processos de sobrevivência e multiplicação da doença. O vazio sanitário é de fundamental importância para interromper o processo de desenvolvimento e multiplicação da doença entre safra das culturas sendo adotado em praticamente todo o território nacional. Ele consiste na eliminação de plantas de soja voluntárias estabelecidas entre safra bem como a proibição de cultivo de soja durante um determinado período.

No Brasil foram relatadas mais de 150 espécies de plantas das famílias das Fabaceas como hospedeiros alternativos da doença entre elas o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o kudzu (*Pueraria lobata* Willd.) Ohwi) e a soja perene (*Neotonia witwigii* (Wight & Arn.) J.A. Lackey) (REIS, 2019).

Os urediniósporos são responsáveis pelo inóculo primário da doença (MURITHI et al., 2016). Estes após removidos das urédias, podem ser transportados pelas correntes de ar para longas distâncias (SEGERS et al.,

2016), é por este motivo que o fungo pode ser disseminado entre os diferentes campos de produção (SIKORA et al., 2014).

Na presença de água e temperatura entre 21°C a 25°C, os urediniósporos depositados na superfície da folha hospedeira iniciam o seu processo de germinação e consequente infecção, posteriormente inicia o processo de penetração através da cutícula e da parede celular epidérmica do hospedeiro e a colonização, onde hifas ramificadas primárias originam a formação de um micélio nos espaços intercelulares das folhas, após aproximadamente 8 dias do início da infecção, onde inicia a agregação de hifas, causando a formação do primórdio de uredinia, após 3 a 4 dias, inicia, então a produção de novos urediniósporos (ROSA et al., 2015).

2.3. FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA

O potencial de produtividade da soja está atrelado a diversos fatores, como a fertilidade do solo (MURITHI et al., 2016), população de planta, disponibilidade hídrica, genótipo adaptado ao clima, época de semeadura (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021) e fatores bióticos, como a ocorrência de insetos, plantas daninhas e patógenos (ROSA et al., 2015). Neste contexto, a ferrugem asiática é a principal doença capaz de causar perdas no rendimento em uma lavoura de soja (SILVA et al., 2020).

A ferrugem asiática é uma ameaça para a produção global de soja (MURITHI et al., 2016). Isso porque ela causa a redução da área foliar (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021), perda de peso (KATO et al., 2020), redução da qualidade dos grãos (FATTORI et al., 2022), comprometimento da formação e enchimento das vagens e impactando negativamente no teor de óleo e proteína do grão (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021).

Altas precipitações durante o ciclo de cultivo favorecem a proliferação da doença (FATTORI et al., 2022), pois um período mínimo de orvalho de 6 horas é o ideal para que o fungo possa infectar a planta (GODOY et al., 2016). Além disso, com o fechamento do dossel no estágio de floração (R1) ocorre um rápido desenvolvimento da ferrugem asiática pela ocorrência de condições climáticas mais favoráveis, como molhamento foliar por maior período ao longo do dia e temperaturas mais amenas (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021). Por este motivo,

essa doença pode causar desfolha prematura na cultura da soja (GABARDO et al., 2020).

Os sintomas são característicos pela formação de lesões de cor castanha, principalmente na superfície abaxial dos folíolos. Essas lesões favorecem a clorose foliar (GODOY et al., 2016), e conforme a doença se desenvolve ocasiona a desfolha prematura da planta, resultando em perda de rendimento (GABARDO et al., 2020). Assim, para um controle efetivo da doença em lavouras de soja é recomendando a aplicação de fungicidas de três a cinco vezes, principalmente na fase reprodutiva da cultura (FATTORI et al., 2022).

Os principais grupos de fungicidas utilizados no controle de ferrugem asiática são as estrobilurinas, carboxamidas, triazóis e morfolinas.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido na safra 2023/2024 nos municípios de Santa Maria/RS (113 metros de altitude, 29°41'03" S de latitude e 53°48'25" O de longitude), Rio Pardo/RS (41 metros de altitude, 29°59'34" S de latitude e 52°22'15" O de longitude) e Pelotas/RS (7 metros de altitude, 31°46'19" S de latitude e 52°20'33" O de longitude). A cultivar utilizada, para as três regiões, foi a ST 616 I2X (Soytech). O experimento contou com cinco tratamentos distintos, conforme apresentado na tabela 1.

TABELA 1: Tratamentos utilizados para a condução do experimento

Tratamentos	Época da aplicação					
	25DAE[1]	35DAE	45DAE	R1[2]	R3[3]	R5[4]
T1						
T2		1°		2°	3°	4°
T3			1°	2°	3°	4°
T4	V3		1°	2°	3°	4°
T5	V3	1°	2°		3°	4°

[1]-DAE – Dias após a emergência da cultura;
[2]-R1 – Início do Florescimento – Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal no caule;
[3]-R3 – Início da formação do legume/vagem – Legume/vagem com 5mm de comprimento num dos 4 últimos nós da haste principal do caule, com folha completamente desenvolvida;
[4]-R5 – Início da formação de grãos no legume/vagem – Grão com 3mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós da haste principal do caule, com folha completamente desenvolvida.

FONTE: PETER (2024)

O tratamento 1 consistiu na testemunha, sem aplicação de fungicidas. Nos demais tratamentos, foram realizadas aplicações de fungicidas em estádio V3 com Cypress (ciproconazol + difenoconazol), 1° aplicação com Belyan + Bravonil (Mefentrifluconazol + Fluxapiroxade + Piraclostrobina + Clorotalonil), a 2° com Blavity + Troia (Fluxapiroxade + Protioconazol + Mancozebe), a 3° com Versatilis + Bravonil (Fenpropimorfe + Clorotalonil) e a 4° Versatilis + Troia (Fenpropimorfe + Mancozebe).

O experimento seguiu o delineamento em blocos ao acaso, com duas repetições. Cada parcela foi composta por 4 linhas com 10 metros de comprimento, resultando em uma área total de 20m² por parcela.

A severidade e o controle da ferrugem asiática foram avaliados visualmente utilizando uma escala diagramática, através da metodologia proposta por James (1971). As variáveis analisadas foram: severidade da ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (SF15DA4A), severidade da ferrugem 30 após a 4° aplicação (SF30DA4A), controle da ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (CF15DA4A) e o controle de ferrugem 30 após a 4° aplicação (CF30DA4A). A avaliação foi realizada em 10 plantas por parcela, a partir de três trifólios no terço inferior, três no terço médio e três no terço superior.

Posteriormente, os grãos foram colhidos manualmente quando atingiram grau de umidade entre 18% e 20%, em uma área de 2 metros quadrados por parcela, desconsiderando as linhas de bordadura e início e final de parcela. Após colhidos, estes grãos foram submetidos à secagem em estufa de ventilação forçada em temperatura de 41°C até atingirem 12% de umidade. Em seguida, foram pesadas em balança de precisão para a determinação do rendimento de grãos, expresso em kg/ha.

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância e, se significativos pelo teste F a nível 5% de probabilidade, submetidos a análise de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para variação ambiental foi observado diferença estatística significativa nas variáveis CF15DA4A, CF30DA4A e produtividade, enquanto para as variáveis SF15DA4A e SF30DA4A não houve diferença estatística significativa (Tabela 2). Em relação ao fator tratamento, todas as variáveis analisadas apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 2).

TABELA 2: Resumo da análise de variância para severidade e controle de ferrugem asiática da soja e produtividade da cultura

	GL	SF15DA4A[1]	SF30DA4A[2]	CF15DA4A[3]	CF30DA4A[4]	Prod (kg.ha)[5]
Ambiente	2	152,02ns	5,70ns	14,70*	42,63*	1339439,53*
Tratamento	4	2032,31*	4543,11*	11183,36*	6947,53*	4123642,73*
Bloco	1	3,40ns	2,13ns	0,53ns	14,70ns	321988,80*
Erro	22	46,80	4,58	3,06	3,31	54988,61
TOTAL	29					
C. V.(%)		71,34	6,73	2,27	3,00	4,71

GL = graus de liberdade; C.V. = coeficiente de variação; [1] Severidade de ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (SF15DA4A); [2] Severidade de ferrugem 30 dias após a 4° aplicação (SF30DA4A); [3] Controle de ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (CF15DA4A); [4] Controle de ferrugem 30 dias após a 4° aplicação (CF30DA4A), [5]Produtividade (Prod).

FONTE: PETER (2024)

Não foi observada diferença entre os ambientes de cultivo para a severidade de ferrugem asiática 15 e 30 dias após a quarta aplicação (SF15DA4A, SF30A4A) (Tabela 3). O ambiente 3 (Pelotas) apresentou controle de ferrugem 15 dias após a quarta aplicação (CF15DA4A) 2,4% superior em relação ao ambiente 1 (Santa Maria), enquanto o ambiente 2 (Rio Pardo) não mostrou diferença significativa em relação aos demais ambientes (Tabela 3). O controle da ferrugem asiática mais eficaz no ambiente 3 (Pelotas), quando comparado com o ambiente 1 (Santa Maria), deve-se ao fato de a semeadura no ambiente Pelotas ocorrer cerca de 20 dias após os demais ambientes. A diferença climática entre os ambientes durante o ciclo da soja, além de ser um dos principais fatores que podem afetar a produtividade das lavouras (ASAD et al., 2020), também afeta diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (HE et al., 2020), impactando no manejo da cultura. Além disso, o clima

tem efeito direto na ocorrência de doenças nas lavouras de soja (FATTORI et al., 2022).

Para a variável CF30DA4A, o ambiente 2 (Rio Pardo) apresentou um controle de ferrugem 3,8% superior ao ambiente 1 (Santa Maria) e 10,2% superior ao ambiente 3 (Pelotas). O melhor controle da ferrugem asiática em Rio Pardo está relacionado as condições climáticas distintas entre os ambientes. Dessa forma, altas precipitações (FATTORI et al., 2022) e condições de temperatura favorável (ZUNTINI et al., 2019) na faixa dos 20°C (ALVES et al., 2007) e entre 22 a 25°C conforme (DANELLI e REIS, 2016), alta umidade relativa do ar, e a duração do molhamento foliar (CAO et al., 2014) com períodos superiores a 10 horas em dias consecutivos (MELCHING et al., 1989) são os principais fatores ambientais que favorecem o desenvolvimento da ferrugem asiática nas lavouras de soja.

A produtividade foi menor no ambiente 2 (Rio Pardo), apresentou redução de 11,6% em relação ao ambiente 1 (Santa Maria) e de 12,7% em comparação com o ambiente 3 (Pelotas) (Tabela 3). Assim, é possível observar que a severidade e o controle da ferrugem asiática não foram os fatores determinante para a menor produtividade no ambiente 2 (Rio Pardo). Isso ocorre porque, para a variáveis SF15DA4A e SC30DA4A não houve diferença entre os ambientes e para o CF15DA4A e CF30DA4A o ambiente 2 (Rio Pardo) apresentou médias iguais ou superiores às dos outros ambientes.

TABELA 3: Severidade e controle de ferrugem asiática da soja e produtividade da cultura para diferentes ambientes de cultivo e manejos de fungicida

Ambiente	SF15DA4A[1]	SF30DA4A[2]	CF15DA4A[3]	CF30DA4A[4]	Prod (kg.ha)[5]
1 – Santa Maria	6,60 a	31,90 a	75,90 b	59,20 b	5158,20 a
2 – Rio Pardo	14,00 a	31,00 a	77,40 ab	63,00 a	4560,32 b
3 - Pelotas	8,17 a	32,50 a	78,30 a	52,90 b	5225,96 a

[1] Severidade de ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (SF15DA4A); [2] severidade de ferrugem 30 dias após a 4° aplicação (SF30DA4A); [3] controle de ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (CF15DA4A); [4] Controle de ferrugem 30 dias após a 4° aplicação (CF30DA4A); [5]Produtividade (kg.ha).

FONTE: PETER (2024)

A diferença observada pode estar atribuída a variabilidade de climática entre os ambientes. Neste sentido, diferentes ambientes de cultivo podem proporcionar para as plantas diferentes condições para o seu crescimento e desenvolvimento (FATTORI et al., 2022), podendo influenciar positivamente ou negativamente a produtividade (HE et al., 2020). Assim, o clima é um dos principais fatores que podem afetar a produtividade de uma lavoura de soja (ASAD et al., 2020), pois impacta diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (FATTORI et al., 2022). Outro fator é o manejo da área utilizada, na qual o ambiente de Rio Pardo estava com cultivo de soja em primeiro ano, sendo as demais áreas utilizadas com plantio de soja a mais de 5 anos.

A severidade da ferrugem 15 dias após a quarta aplicação (SF15DA4A) foi significativamente maior no tratamento 1, apresentando valores 41,4%, 40,4%, 40,9% e 41,8% superiores em comparação aos tratamentos 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Enquanto entre os demais tratamentos não houve diferença estatística significativa (Tabela 4). Já a severidade 30 dias após a quarta aplicação (SF30DA4A) foi menor nos tratamentos 2 e 5, com 17,7% e 16,7%, seguidos pelos tratamentos 3 e 4 que tiveram 22,3% e 21,5%, respectivamente. No tratamento 1, a severidade atingiu 80,8% devido a não aplicação de fungicidas (Tabela 4).

Quanto ao controle de ferrugem asiática 15 dias após a quarta aplicação (CF15DA4A), o tratamento 5 apresentou o maior controle, com 98,2%, seguido dos tratamentos 2, 4 e 3 com 96,8%, 96,2% e 94,8% de controle, respectivamente. Além disso, não houve diferença estatística entre os tratamentos 5, 2 e 4 (Tabela 4). Já o controle da ferrugem 30 dias após a quarta aplicação (CF30DA4A) foi superior nos tratamentos 2 e 5, com 79,3% e 78,7%, seguidos pelos tratamentos 4 e 3 com 73,3% e 72,3% respectivamente (Tabela 4).

As maiores médias de severidade da ferrugem asiática observadas no tratamento 1, tanto para SF15DA4A quanto para SF30DA4A, assim como a ausência de controle da doença em CF15DA4A e CF30DA4A, resultam da falta de aplicação de fungicidas, permitindo a disseminação e reprodução da *P. pachyrhizi*. Isso ocorre porque, para um controle eficiente da ferrugem asiática em lavouras de soja é recomendado a realização de 3 a 5 aplicação de fungicidas ao longo do ciclo da cultura (FATTORI et al., 2022).

Os tratamentos 2 e 5 apresentaram menor severidade de ferrugem aos 30 dias após a 4° aplicação (SF30DA4A), resultando no maior controle da doença alcançado nesse período (CF30DA4A). As aplicações iniciando aos 35 dias após a emergência da cultura com produtos com maior eficiência promoveram o controle mais efetivo da doença. Além disso, as aplicações realizadas durante o período reprodutivo da cultura foram fundamentais, considerando que a maior incidência da doença ocorre entre os estágios de floração (R1) até enchimento de grãos (R6) (MURITHI et al., 2016).

A aplicação de fungicida aos 35 dias após a emergência da soja é considerada uma medida preventiva essencial para o controle da ferrugem asiática (MORAES et al., 2022). Neste período, que coincide com o período vegetativo da planta, as condições de umidade geralmente se mantêm entre 75% a 80% (MURITHI et al., 2016), enquanto as temperaturas se mantêm entre 20°C a 23°C (ZUNTINI et al., 2019), condições ideais para o desenvolvimento de *P. pachyrhizi*. Dessa forma, a aplicação neste momento contribui para a redução da incidência da doença, pois os primeiros sintomas causados podem ser negligenciados, e com essa aplicação preventiva, há a prevenção de maior incidência nos campos de produção.

A produtividade no tratamento 1 foi 35,6%, 32,7%, 33,0% e 35,8% menor em relação aos tratamentos 2, 3, 4 e 5, respectivamente (Tabela 4). Estes resultados demonstram a importância da realização do controle fitossanitário da ferrugem asiática para a obtenção de altos rendimentos em uma lavoura de soja, isso porque a doença pode causar severos danos a produtividade final em uma lavoura quando não manejada adequadamente (FATTORI et al., 2022). A redução no rendimento está associada com a redução da área foliar (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2021) e perda de peso dos grãos (KATO et al., 2020). Esses fatores estão relacionados com a capacidade de *P. pachyrizi* em comprometer a atividade fotossintética das folhas infectadas (EINHARDT et al., 2020), uma vez que a infecção leva a redução da área foliar (MURITHI et al., 2016). Como consequência, há um efeito negativo no acúmulo de massa seca (OLIVEIRA et al., 2018) e no enchimento de grãos (JULIATTI & ZAMBOLIM, 2017). Dessa forma, o controle ineficiente da ferrugem asiática causa perdas agressivas na produtividade final de uma lavoura de soja (GODOY et al., 2016).

TABELA 4: Severidade de ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (SF15DA4A), severidade de ferrugem 30 dias após a 4° aplicação (SF30DA4A), controle de ferrugem 15 dias após a 4° aplicação (CF15DA4A), controle de ferrugem 30 dias após a 4° aplicação (CF30DA4A) e produtividade (Prod) para os diferentes tratamentos aplicados.

Tratamento	SF15DA4A	SF30DA4A	CF15DA4A	CF30DA4A	Prod (kg.ha)
1	42,50 a	80,83 a	0 c	0 c	3512,45 b
2	1,06 b	17,66 c	96,80 ab	78,16 a	5456,06 a
3	2,05 b	22,33 b	94,83 b	72,33 b	5221,91 a
4	1,61 b	21,50 b	96,16 ab	73,33 b	5246,00 a
5	0,71 b	16,66 c	98,16 a	79,33 a	5469,36 a

Tratamento 1: testemunha; Tratamento 2: 35 DAE (Mefentrifluconazol + Fluxapiroxade + Piraclostrobina + Clorotalonil), R1 (Fluxapiroxade + Protioconazol + Mancozebe), R3 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Clorotalonil) e R5 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Mancozebe); Tratamento 3: 45 DAE (Mefentrifluconazol + Fluxapiroxade + Piraclostrobina + Clorotalonil), R1 (Fluxapiroxade + Protioconazol + Mancozebe), R3 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Clorotalonil) e R5 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Mancozebe); Tratamento 4: V3 (ciproconazol + difenoconazol), 45 DAE (Mefentrifluconazol + Fluxapiroxade + Piraclostrobina + Clorotalonil), R1 (Fluxapiroxade + Protioconazol + Mancozebe), R3 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Clorotalonil) e R5 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Mancozebe); Tratamento 5: V3 (ciproconazol + difenoconazol), 35 DAE (Mefentrifluconazol + Fluxapiroxade + Piraclostrobina + Clorotalonil), R1 (Fluxapiroxade + Protioconazol + Mancozebe), R3 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Clorotalonil) e R5 (Fenpropimorfe + Mefentrifluconazol + Mancozebe).

FONTE: PETER (2024)

Entre os tratamentos 2, 3, 4 e 5 não houve diferença significativa para a produtividade (Tabela 4). Isso indica que a menor incidência e o maior controle da ferrugem asiática, verificados nos tratamentos 2 e 5 em SF30DA4A e CF30DA4A, não foram suficientes para influenciar significativamente o rendimento final da cultura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle de ferrugem asiática aos 30 dias após a quarta aplicação foi superior no ambiente de Rio Pardo, nesse mesmo ambiente apresentou menor produtividade. Esse resultado sugere qque a severidade da ferrugem asiática não foi o fator determinante para a produtividade final da lavoura. Além disso, a incidência da doença foi menor e o controle mais eficiente nos tratamentos com aplicações iniciadas aos 35 dias após a emergência da cultura. Por fim, a ausência do controle com aplicação de fungicida resultou na redução da produtividade.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, M. C., POZZA, E. A., FERREIRA, J. B., ARAÚJO, D. V., COSTA, J. C. B., DEUNER, C. C., … Machado, J. C.. The effects of temperature and leaf wetness periods on the development of soybean rust in the cultivars Conquista, Savana and suprema. **Summa Phytopathologica**, 33(3), 239-244, 2007.

ASAD, S. A.; WAHID, M. A.; FARINA, S.; ALI, R.; MUHAMMAD, F. Soybean production in Pakistan: experiences, challenges and prospects. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 24, n. 4, p. 995-1005, 2020.

BUTTRÓS, V. H.; ARAÚJO, N. A. F.; D'ÁVILA, V. D. A.; PEREIRA, M. M. A.; MELO, D. D. S.; PASQUAL, M.; DÓRIA, J. A. Little helper: Beneficial bacteria with growth-promoting mechanisms can reduce asian soybean rust severity in a cell-free formulation. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2635, 2022.

CAO, X., YAO, D., XU, X., ZHOU, Y., DING, K., DUAN, X., … LUO, Y. Development of weather and airborne inoculum-based models to describe disease severity of wheat powdery mildew. **Plant Disease**, 99(3), 395-400, 2015.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da safra de grãos. **Documento online**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 20 de setembro de 2024.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas. **Documento online**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 20 de setembro de 2024.

DANELLI, A. L. D., & REIS, E. M. Quantification of incubation, latent and infection periods of Phakopsora pachyrhizi in soybean, according to chronological time and degree-days. **Summa Phytopathologica**, 42(1), 11-17, 2016.

DE SOUSA, I. S. F. Condicionantes da modernização da soja no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 28, n. 2, p. 175-212, 2020.

EINHARDT, A. M.; FERREIRA, S.; SOUZA, G. M.; MOCHKO, A. C.; RODRIGUES, F. A. Cellular oxidative damage and impairment on the photosynthetic apparatus caused by Asian Soybean Rust on soybeans are alleviated by nickel. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, p. 1-13, 2020.

FATTORI, I. M.; SENTELHAS, P. C.; MARIN, F. R. Assessing the impact of climate variability on Asian rust severity and soybean yields in different Brazilian mega-regions. **International Journal of Plant Production**, p. 1-12, 2022.

GABARDO, G.; DALLA PRIA, M.; CARNEIRO, D. E.; BARBOSA, E. A. A. Respostas fisiológicas das cultivares de soja NA5909 e TMG7062 submetidas a

diferentes produtos para controle de doenças fúngicas em campo. **Brazilian Journal of Development,** v. 6, n. 3, p. 15673-15689, 2020.

GAWĘDA, D.; NOWAK, A.; HALINIARZ, M.; WOŹNIAK, A. Yield and economic effectiveness of soybean grown under different cropping systems. **International journal of plant production,** v. 14, n. 3, p. 475-485, 2020.

GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 05, p. 407-421, 2016.

HE, L.; JIN, N.; YU, Q. Impacts of climate change and crop management practices on soybean phenology changes in China. **Science of the Total Environment**, v. 707, p. 135638, 2020.

HOFFMANN, L. L.; BOLLER, W.; FORCELINI, C. A. Fungicide spraying programs reducing Asian soybean rust impact on soybean yield components. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 3, p. 40, 2022.

JAMES, C. A manual of assessment keys for plant diseases. **American Phytopathological Society**, 1971.

JULIATTI, F. C., & ZAMBOLIM, L. Etiology, epidemiology and management of asian soybean rust (ASR) in Brazil and vulnerability of chemical control of specific without multisite fungicides. **In Cereal Grains-Volume 1. IntechOpen**., 2021.

MELCHING, J. S., DOWLER, W. M., KOOGLE, D. L., & ROYER, M. H. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, 73(2), 117-122, 1989.

MORAES, L. R. D.; RIBEIRO, L. M. Fungicide spraying technologies in the control of asian rust in soybean cultivars. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 574-585, 2022.

MURITHI, H. M.; BEED, F. D.; SOKO, M. M.; HAUDENSHIELD, J. S.; HARTMAN, G. L. First report of Phakopsora pachyrhizi causing rust on soybean in Malawi. **Plant disease**, v. 99, n. 3, p. 420-420, 2015.

MURITHI, H. M.; BEED, F.; TUKAMUHABWA, P.; THOMMA, B. P.; JOOSTEN, M. H. Soybean production in eastern and southern Africa and threat of yield loss due to soybean rust caused by Phakopsora pachyrhizi. **Plant pathology**, v. 65, n. 2, p. 176-188, 2016.

NETTO, A.; SACON, D.; GALLINA, A.; FOCHESATTO, M.; STEFANSKI, F. S.; MILANESI, P. M. Use of systemic fungicides combined with multisite to control of asian rust and soybean yield. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 1, p. 101-108, 2020.

OLIVEIRA, G. L. T. The geopolitics of Brazilian soybeans. **Soy, Globalization, and Environmental Politics in South America**, p. 98-122, 2017.

OLIVEIRA, T. B.; PEIXOTO, L. A.; TEODORO, P. E.; ALVARENGA, A. A.; BHERING, L. L.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Relationship between biochemical and photosynthetic traits with Asian soybean rust. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3925-3940, 2018.

PATIL, P. V.; BASAVARAJA, G. T. (2014). Asian Soybean Rust: Eco-friendly Management Options for Indian Farmers. **Soybean Research**, v. 195, 2014.

RADONS, S. Z.; HELDWEIN, A. B.; PUHL, A. J.; NIED, A. H.; DA SILVA, J. R. Climate risk of Asian soybean rust occurrence in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Tropical Plant Pathology**, n. 46, p. 435-442, 2021.

REIS, E. M.; Sobre os hospedeiros de Phakopsora pachyrhizi, no Brasil. **Summa Phytopathol**., Botucatu, v. 45, n. 1, p. 113, 2019

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. Relationship between soybean plant defoliation and Asian soybean rust severity. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 3, p. 252-254, 2019.

REIS, E. M.; PASQUALI, R. M.; BELUFI, L. M. D. R.; GUERRA, W. D.; ZANATTA, M. Comparative severity analysis of Asian soybean rust in soybean farms sown in December and February in Mato Grosso, 2018/19 growing season. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 9, p. 130, 2020.

SEGERS, F. J.; DIJKSTERHUIS, J.; GIESBERS, M.; DEBETS, A. J. Natural folding of airborne fungal spores: a mechanism for dispersal and long-term survival?. **Fungal Biology Reviews**, v. 44, p. 100292, 2023.

SIKORA, E. J.; ALLEN, T. W.; WISE, K. A.; BERGSTROM, G.; BRADLEY, C. A.; BOND, J.; ZIDEK, J. A coordinated effort to manage soybean rust in North America: A success story in soybean disease monitoring. **Plant disease**, v. 98, n. 7, p. 864-875, 2024.

SILVA, E.; DA GRAÇA, J. P.; PORTO, C.; MARTIN DO PRADO, R.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; MEYER, M. C.; PILAU, E. J. Unraveling Asian Soybean Rust metabolomics using mass spectrometry and Molecular Networking approach. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 138, 2020.

YAMAOKA, Y. Recent outbreaks of rust diseases and the importance of basic biological research for controlling rusts. **Journal of general plant pathology**, v. 80, p. 375-388, 2024.

ZAMBOLIM, L.; JULIATTI, F. C.; GUERRA, W. How to cope with the vulnerability of site specific fungicides on the control of Asian soybean rust. **Int. J. Res. Agron**, v. 4, n. 1, p. 14-25, 2021.

ZAMBOLIM, L.; REIS, E. M., GUERRA, W. D., JULIATTI, F. C.; MENTEN, J. O. M. Manejo integrado da ferrugem asiática da soja. **Eur J Appl Sci** , v. 10, n. 2, 2022.

ZUNTINI, B.; ALVAREZ, R. D. C. F.; THEODORO, G. D. F.; ZUFFO, A. M. Effect of adding fungicide to mixtures of triazoles and strobilurins in the control of downy mildew and Asian soybean rust. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p.e53688, 2019.