

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela  
chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em  
soja**

Amanda Chechi

Passo Fundo

2019

Amanda Chechi

Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Doutora em Agronomia.

Orientadora:  
Dra. Carolina Cardoso Deuner  
Coorientador:  
Dr. Walter Boller

Passo Fundo

2019

CIP – Catalogação na Publicação

---

C514s Chechi, Amanda

Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja / Amanda Chechi. – 2019.

131 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Dra. Carolina Cardoso Deuner.

Coorientador: Dr. Walter Boller.

Tese (Doutora em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Soja - Doenças e pragas. 2. Ferrugem asiática. 3. Plantas - Efeito dos fungicidas. I. Deuner, Carolina Cardoso, orientadora. II. Boller, Walter, coorientador. III. Título.

CDU: 633.34

## ATA DE DEFESA DE TESE



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

“Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja”

Elaborada por

Amanda Chechi

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
“Doutora em Agronomia – Área de Produção e Proteção de Plantas”

Aprovada em: 29/04/2018  
Pela Comissão Examinadora

  
**Dra. Carolina Cardoso Deuner**  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientadora

  
**Dr. Walter Boller**

  
**Dr. Carlos Alberto Forcelini**

  
**Dr. Laercio Luiz Hoffmann**  
Syngenta

  
**Dr. Lucas Navarini**  
IFRS

  
**Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi**  
Coordenador PPGAgro

  
**Dr. Eraldo Lourenso Zanatta**  
Diretor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária,  
Universidade de Passo Fundo

## **DEDICATÓRIA**

À minha família, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, pela bênção de alcançar meus objetivos e pelas pessoas iluminadas presentes nessa jornada.

Aos meus pais Valdecir e Angelita e avós José e Ide, que nunca mediram esforços para transformar meus sonhos em realidade. Também por estarem sempre presentes durante esta caminhada, transmitindo amor, coragem e motivação. Amo vocês!

Aos componentes do meu Comitê de Orientação, Dr. Walter Boller, Dra. Carolina Cardoso Deuner e Dr. Carlos Alberto Forcelini, pelos quais tenho imensa admiração, minha eterna gratidão por todos os ensinamentos.

Ao PPGAgro/UPF e à CAPES, pela oportunidade da realização do Curso de Doutorado e pela concessão da bolsa para meus estudos.

Aos professores e à banca por enriquecerem meu conhecimento e pela disponibilidade em contribuir na realização desta defesa.

Aos estagiários e à equipe do Laboratório de Fitopatologia pela ajuda, paciência, carinho e amizade.

Aos colegas e amigos que sempre estiveram ao meu lado, tanto nos bons como nos momentos difíceis, pelo carinho, estímulo, compreensão e amizade.

## **EPIGRAFE**

“Independentemente dos resultados obtidos: aprenda, cresça e siga em frente”

Dabo Swinney

## RESUMO

Chechi, Amanda. Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja. 131 f. Tese (Doutora em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

A ferrugem-asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é uma das doenças mais severas que incide na cultura e a principal estratégia de controle é a utilização de fungicidas. Fatores como volume de calda, tamanho de gotas, características do produto e da cultivar de soja utilizados e também as condições climáticas, como a ocorrência de chuva, exercem influência na eficácia de controle da doença. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a sensibilidade de doze isolados de *P. pachyrhizi* aos fungicidas mais utilizados; verificar se a simulação de chuva, em intervalos de tempo diferentes (30 a 240 minutos), após a aplicação de fungicidas penetrantes e não-penetrantes com diferentes volumes de calda (70 e 150 L ha<sup>-1</sup>), afeta a eficácia do controle químico da FAS; e verificar se o uso de combinações de volumes de calda (70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>) e tamanhos de gota (fino e médio) na aplicação de fungicidas no campo, afeta o controle da FAS em cultivares de soja de diferentes índices de área foliar (BMX Lança e BMX Garra). Como resultados do primeiro ensaio, os fungicidas apresentam diferentes níveis de fungitoxicidade aos isolados de *P. pachyrhizi* dos distintos locais testados. Os fungicidas sítio-específico apresentaram alta a moderada fungitoxicidade aos isolados enquanto os multissítios apresentaram atividade moderada a pouco tóxica. Para o ensaio de simulação de chuva, os fungicidas não-penetrantes foram mais suscetíveis à remoção pela chuva, especialmente quando utilizado o volume de calda de 70 L ha<sup>-1</sup>. As porcentagens de controle dos tratamentos se igualaram estatisticamente à testemunha com fungicida e sem chuva quando esta ocorreu entre os 120 e 180 minutos após a aplicação para os fungicidas penetrantes e aos 240 minutos para os protetores. O quanto mais próximo do momento da aplicação do fungicida a chuva ocorrer, maior é a remoção do produto e a redução no controle da doença, sendo que os fungicidas não-penetrantes são mais suscetíveis à lixiviação do que os penetrantes. O volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> atenuou em uma hora o impacto da chuva sobre a absorção ou retenção do fungicida na superfície foliar, promovendo maior controle da doença. Para o último ensaio, os volumes crescentes de calda de acordo com o crescimento da cultura (70, 110 and 150 L ha<sup>-1</sup>) e gotas finas (na segunda e terceira aplicações) apresentaram resultados de rendimento semelhantes à utilização do volume de calda fixo de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, independentemente do tamanho de gotas, para a cultivar BMX Lança em 2017, quando seu índice de área foliar (IAF) máximo foi de 5,8. Para a cultivar BMX Garra que, no mesmo ano, apresentou IAF máximo de 7,1, os maiores valores de rendimento de sementes foram com a utilização do volume fixo de 150 L ha<sup>-1</sup> com ambos os tamanhos de gota. Em 2018, as cultivares BMX Lança e BMX Garra apresentaram IAF máximos de 4,9 e 5,5, respectivamente, e não foram detectadas diferenças estatísticas entre os tratamentos que receberam aplicações de fungicidas quanto à produtividade das cultivares. A exceção foi somente o tratamento com 70 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, com o uso de gotas médias para a cv. Garra, o qual foi inferior aos demais. Quanto maior o índice de área foliar e a pressão de doença, maior é a necessidade de proteção das plantas de soja, sendo que o uso de maiores volumes de calda promovem maior proteção da área foliar e gotas finas apresentam maior capacidade de penetrar ao longo do dossel da soja, proporcionando maior cobertura do alvo.

Palavras-chave: 1. Concentração efetiva. 2. Fungitoxicidade. 3. *Glycine max*. 4. Simulação de chuva. 5. Tecnologia de aplicação.



## ABSTRACT

Chechi, Amanda. Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja. 131 f. Tese (Doutora em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

Asian soybean rust (ASR), caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi*, is one of the most severe diseases affecting the crop and the main control strategy is the fungicide application. Factors such as spray volume, droplet size, product features, the soybean cultivar used, and also the climatic conditions, such as the rain occurrence, influence the disease control effectiveness. The objectives of this work were to evaluate the sensitivity of twelve *P. pachyrhizi* isolates to the most commonly used fungicides; to verify if the rainfall simulation, at different time intervals (30 to 240 minutes), after the application of penetrant and non-penetrant fungicides with different spray volumes (70 and 150 L ha<sup>-1</sup>), affects the effectiveness of the ASR chemical control; and to verify if the combination of spray volumes (70, 110 and 150 L ha<sup>-1</sup>) and droplet sizes (fine and medium), in the fungicide application in the field, affects the ASR control in soybean cultivars with different leaf area index (BMX Lança and BMX Garra). As a result of the first assay, the fungicides presented different levels of fungitoxicity to *P. pachyrhizi* isolates obtained from different places. Site-specific fungicides showed high to moderate fungitoxicity to the isolates while the multisites presented moderate to slightly toxic activity. For the rain simulation test, non-penetrating fungicides were more susceptible to rain removal, especially when using the 70 L ha<sup>-1</sup> spray volume. The control percentages of the treatments were considered statistically similar to the control which received the fungicide application but it was not submitted to rainfall, when it occurred between 120 and 180 minutes after the application of penetrating fungicides and at 240 minutes for the non-penetrants. The closer is the application of the fungicide to the rain occurrence, the greater are the product removal and the disease control reduction. Non-penetrating fungicides were more susceptible to leaching than penetrants. The spray volume of 150 L ha<sup>-1</sup> attenuated in one hour the rain impact on the fungicide absorption or retention on the leaf surface, promoting greater disease control. For the last trial, increasing spray volumes according to the crop development (70, 110 and 150 L ha<sup>-1</sup>) and fine droplets (in the second and third applications) showed yield results similar to the use of 150 L ha<sup>-1</sup> fixed spray volume, regardless of droplet size, for cv. BMX Lança in 2017, when its maximum leaf area index (LAI) was 5.8. For cv. BMX Garra, which in the same year presented maximum LAI of 7.1, the highest seed yield was observed with the use of the fixed spray volume of 150 L ha<sup>-1</sup> in all applications, with both droplet sizes. In 2018, cultivars BMX Lança and BMX Garra had maximum LAI of 4.9 and 5.5, respectively, and no statistical differences were detected among the treatments that received fungicide application. The exception was only the treatment with 70 L ha<sup>-1</sup> in all applications, with medium drops for cv. Garra, which was statistically inferior when compared to the other treatments. The higher the leaf area index and the disease pressure, the greater is the need of soybean plants protection, and the use of larger spray volumes promotes greater leaf area protection and fine droplets presented greater capacity to penetrate along the soybean canopy, providing greater target coverage.

Key words: 1. Application technology. 2. Effective concentration. 3. Fungitoxicity. 4. *Glycine max*. 5. Rainfall simulation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1	<i>Cultura da soja</i>	15
2.2	<i>Ferrugem-asiática da soja</i>	15
2.3	<i>Manejo da ferrugem-asiática da soja</i>	16
2.3.1	Controle cultural	16
2.3.2	Controle genético	17
2.3.3	Controle químico	19
2.3.3.1	Triazóis, triazolonas e morfolinas	19
2.3.3.2	Estrobilurinas	20
2.3.3.3	Carboxamidas	20
2.3.3.4	Multissítios	21
2.4	<i>Redução da sensibilidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> aos fungicidas</i>	22
2.5	<i>Tecnologia de aplicação de fungicidas</i>	25
2.5.1	Volume de calda	26
2.5.2	Espectro de gotas	28
2.5.3	Arquitetura de plantas	31
2.5.4	Chuva e aplicação de fungicidas	32
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I</b>	<b>34</b>
3.1	<i>Resumo</i>	34
3.2	<i>Introdução</i>	34
3.3	<i>Material e Métodos</i>	37
3.4	<i>Resultados e Discussão</i>	41
3.5	<i>Conclusões</i>	54
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II</b>	<b>56</b>
4.1	<i>Resumo</i>	56
4.2	<i>Introdução</i>	56
4.3	<i>Material e Métodos</i>	58
4.4	<i>Resultados e Discussão</i>	61
4.5	<i>Conclusões</i>	73
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III</b>	<b>74</b>

<i>5.1</i>	<i>Resumo</i>	74
<i>5.2</i>	<i>Introdução</i>	74
<i>5.3</i>	<i>Material e Métodos</i>	76
<i>5.4</i>	<i>Resultados e Discussão</i>	81
<i>5.5</i>	<i>Conclusões</i>	95
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>96</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>117</b>
	<i>Anexo I</i>	118
	<b>APÊNDICES</b>	<b>120</b>
	<i>Apêndice I</i>	121
	<i>Apêndice II</i>	127
	<i>Apêndice III</i>	129

## 1 INTRODUÇÃO

A ferrugem-asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é uma das doenças mais severas que incide na cultura, com capacidade de causar danos variando de 50 a 90% (HARTMANN et al., 2015), sendo que a média da severidade da doença ao final do ciclo da cultura, para o estado do Rio Grande do Sul, nos últimos sete anos, variou entre 65-70%. A desfolha precoce impede a completa formação e o enchimento de legumes, diminuindo o número e a massa final das sementes. O controle da doença é baseado, principalmente, em pulverizações de fungicidas (LEVY, 2015).

Nas últimas safras foi observada redução na eficácia de controle da doença pelos fungicidas mais utilizados. A pressão de seleção ocasionada pelo uso intensivo de um mesmo ingrediente ativo, juntamente com a sua aplicação de forma incorreta (subdosagem, aplicações curativas) fizeram com que ocorresse a redução de sensibilidade do fungo aos fungicidas, seja por meio de mutações genéticas ou por outras formas de resistência como a respiração alternativa, desvio de efluxo ou superexpressão do gene/enzima alvo (BRENT & HOLLOMON, 2007; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010; LEROUX & WALKER, 2011). O período de proteção desses fungicidas também deve ser levado em consideração no manejo da FAS, uma vez que ele pode ser afetado por características da planta e também por fatores ambientais. Dentre estes, a precipitação pluvial interfere de forma significativa no desempenho dos produtos. A chuva pode ser considerada como uma das maiores causadoras de perdas e responsável pela degradação acelerada dos depósitos de fungicidas sobre os tecidos vegetais, atuando na sua diluição, redistribuição e remoção (TOFOLI et al., 2014).

A eficácia do controle químico depende de diversos fatores, como a escolha de fungicidas eficientes, momento ideal para aplicação, número suficiente de aplicações, volume de calda adequado, espectro de gotas e, principalmente, a técnica de aplicação ajustada ao alvo e à cultura, já que as características intrínsecas de cada cultivar de soja

interferem na eficácia do controle químico da doença. No entanto, sabe-se que a quantidade de ingrediente ativo que atinge o alvo é muito menor do que a aplicada (PESSOA & CHAIM, 1999). Dependendo da cultivar utilizada, o fechamento das entrelinhas pelo dossel da cultura pode ser completo, dificultando a penetração do ingrediente ativo nas folhas do terço inferior das plantas (TORMEN et al., 2012). Isso favorece o desenvolvimento da doença, uma vez que *P. pachyrhizi* inicia sua infecção no terço inferior do dossel da cultura (RAETANO et al., 2007).

A ocorrência de raças de *P. pachyrhizi* com sensibilidade reduzida aos fungicidas utilizados já foi constatada a campo, reforçando, inclusive, a ideia do monitoramento frequente da sensibilidade do fungo aos fungicidas para que a vida útil dos produtos seja prolongada. Sabe-se que a sensibilidade do fungo pode variar de safra para safra, dependendo, principalmente da pressão de seleção exercida pelo uso dos fungicidas. Testes de concentração efetiva de fungicidas para o controle de 50% da severidade da doença ou do número de urédias podem ser utilizados para verificar a fungitoxicidade de diversos ativos em diferentes concentrações para determinar se os isolados de *P. pachyrhizi* presentes na área são efetivamente controlados por esses fungicidas.

Poucas informações sobre o período de proteção de fungicidas em soja após a ocorrência de chuva são encontradas na literatura. Os resultados deste trabalho nos permitiram verificar o comportamento de fungicidas com diferentes propriedades químicas e de penetração, verificando como é o controle da doença quando há ocorrência de chuva em intervalos de tempo distintos após aplicação, fornecendo informações sobre necessidade de reaplicação de produtos ou alteração no intervalo entre aplicações.

Diante da agressividade da FAS, os danos à cultura e perdas financeiras que ela gera, há a necessidade do aprimoramento da tecnologia de aplicação de fungicidas, visando otimizar o controle da doença e buscando a maneira mais eficaz de atingir o alvo na aplicação, com técnicas que promovam adequada cobertura do dossel da planta e com especial atenção às folhas do terço inferior da cultura.

Os ensaios descritos neste trabalho apresentaram contribuição tanto para a comunidade científica como para os agricultores. A utilização de um manejo inadequado da FAS pode comprometer a rentabilidade da cultura e do produtor. Com a racionalização e utilização correta dos fungicidas, juntamente com o monitoramento da sensibilidade de *P. pachyrhizi*, busca-se a otimização de recursos e a redução de custos, resultando em maior rentabilidade ao produtor. Além do mais, há menor risco de contaminação ambiental, maior segurança alimentar para a sociedade em geral e menor desperdício de agrotóxicos.

Frente à problemática aqui apresentada, os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a sensibilidade *in vivo* de isolados de *P. pachyrhizi*, oriundos de diferentes regiões produtoras de soja do Brasil, aos fungicidas mais utilizados para o controle químico da ferrugem-asiática; ii) verificar qual o efeito da simulação de chuva, em diferentes intervalos de tempo, após a aplicação de fungicidas com diferentes volumes de calda na eficácia do controle químico da ferrugem-asiática; e iii) verificar qual o efeito da utilização de combinações de volumes de calda e espectros de gota no controle químico da ferrugem-asiática em cultivares de soja com distintos índices de área foliar.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Cultura da soja**

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta oleaginosa pertencente à família Fabaceae, oriunda da Manchúria, na China (HYMOWITZ, 1970). Ela é considerada uma das culturas de maior importância no mundo, com a quarta posição na produção e consumo mundial (FAO, 2016). O Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial de soja desde a safra 2007/08, sendo ela superada apenas pelos Estados Unidos. Com 35,1 milhões de hectares (ha) cultivados na safra 2017/18 e 35,8 milhões de ha em 2018/2019, a produção da oleaginosa no país foi de 119 e 114 milhões de toneladas, com produtividade média de 3.394 e 3.193 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2019).

As doenças estão dentre os principais fatores que afetam o rendimento da cultura da soja. Cerca de quarenta delas, causadas por vários fitopatógenos como fungos, bactérias, nematoides e vírus, já foram identificados no Brasil (EMBRAPA, 2004). A ferrugem-asiática da soja é a doença de maior destaque, impactando negativamente o rendimento das sementes de soja no país (HIRAKURI, 2014).

### **2.2 Ferrugem-asiática da soja**

A ferrugem-asiática da soja tem como agente causal o fungo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi* Sidow & Sidow, pertencente ao filo Basidiomycota, classe Basidiomycetes, ordem Uredinales e família Phakopsoraceae (REIS & CASA, 2012). A doença foi descrita pela primeira vez no Japão em 1902 (VAKILI & BROMFIELD, 1976) e relatada pela primeira vez no Brasil no final da safra de 2000/2001 (GODOY et al., 2006). A capacidade de dano da doença varia de 10 a 90% (YORINORI et al., 2005) sendo que o seu impacto na produção depende das condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno e também das características relacionadas ao hospedeiro,

como o estágio fenológico da cultura, o ciclo e a arquitetura de plantas da cultivar de soja utilizada (YANG et al., 1991).

Os sintomas iniciais da doença são pequenas lesões foliares, de coloração verde-acinzentada até castanha. Posterior a isso, surgem pequenas protuberâncias (urédias) de coloração castanha na face abaxial das folhas, as quais liberam esporos hialinos (GODOY et al., 2016). À medida em que as lesões aumentam, o tecido da folha próximo das urédias adquire coloração marrom, formando lesões em ambas as faces das folhas. Em situações de alta severidade da doença, ocorre amarelecimento seguido de intensa desfolha (REIS et al., 2006).

A doença é favorecida por chuvas bem distribuídas, temperatura de desenvolvimento entre 15 e 28°C (ótima de 21°C) e molhamento foliar superior a seis horas (NICOLINI et al., 2010). Os esporos do patógeno são facilmente disseminados pelo vento. Devido à extensão da área agricultável brasileira e às condições climáticas favoráveis à cultura e ao patógeno, é possível que a soja seja cultivada o ano inteiro, disponibilizando hospedeiros para a manutenção constante do inóculo de ferrugem (REIS et al., 2014). O patógeno também pode estar presente em plantas voluntárias de soja, as quais podem ser oriundas de sementes perdidas por ocasião da colheita e em hospedeiros secundários, como leguminosas, dentre elas plantas de kudzu (*Pueraria lobata*) e o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) e plantas daninhas.

## **2.3 Manejo da ferrugem-asiática da soja**

### **2.3.1 Controle cultural**

O controle cultural envolve diversas técnicas, dentre elas a eliminação de plantas de soja voluntárias e de hospedeiros secundários, como o kudzu e outras plantas daninhas, uma vez que o principal mecanismo de sobrevivência de fungos biotróficos é o parasitismo de plantas vivas no período em que o hospedeiro principal não está sendo cultivado (FIALLOS et al., 2011).



A utilização de cultivares de ciclo precoce é outra alternativa, pois diminui o tempo de exposição da planta ao patógeno, da mesma forma que a realização da semeadura no início da época recomendada, evitando-se semeaduras tardias (REIS et al., 2006), uma vez que a quantidade de inóculo presente na área é maior em função da multiplicação do fungo nos primeiros cultivos (YORINORI, 2004). De acordo com o avanço no período de semeadura, os esporos do fungo das primeiras áreas semeadas migram para as áreas tardias, antecipando a ocorrência da doença e necessitando de maior número de pulverizações de fungicidas para o controle da FAS (GODOY et al., 2017).

O respeito ao período de vazio sanitário (período sem o cultivo da soja) também é fator essencial. Essa estratégia tem como objetivo reduzir a quantidade de esporos do fungo durante a entressafra, em razão da ausência do hospedeiro principal, uma vez que o fungo *P. pachyrhizi* sobrevive e se multiplica em plantas vivas. Como resultado dessa medida, espera-se o atraso nas primeiras ocorrências da FAS na safra, reduzindo a ocorrência da doença nos estádios iniciais do desenvolvimento da soja, e conseqüentemente, a redução no número de aplicações de fungicidas para o controle da doença (GODOY et al., 2017).

O arranjo populacional das plantas é outro fator que pode minimizar os danos da FAS (FIALLOS, 2011). Ferreira (2009) e Ramos et al. (2009) observaram que o maior espaçamento entre linhas de cultivo resultou em menor severidade da doença e também permitiu melhor distribuição do fungicida durante a pulverização, facilitando o manejo da FAS. Em áreas com irrigação por aspersão faz-se necessário realizar o manejo da mesma, buscando reduzir o molhamento foliar, desfavorecendo assim, a germinação dos esporos e a penetração do fungo na planta (REIS et al., 2006).

### **2.3.2 Controle genético**

O uso de cultivares com gene(s) de resistência à ferrugem-asiática da soja é uma ferramenta importante para o manejo da doença, pois, além de serem menos sujeitas a redução na produtividade, elas ajudam a reduzir a pressão de seleção para resistência do

patógeno aos fungicidas (GODOY et al., 2017).

Existem dois tipos de resistência genética, a resistência vertical e a horizontal. A primeira é efetiva para poucas raças do patógeno e pode ser facilmente superada pelo surgimento de novas raças, enquanto, a segunda é geralmente efetiva contra várias raças do patógeno e, desta forma, é mais difícil de ser superada (VANDERPLANK, 1963).

A resistência de plantas à espécie *P. pachyrhizi* (Rpp) é governada por genes de resistência específicos que interagem com genes de avirulência do patógeno, gerando uma interação genética específica que resulta na imunidade desencadeada, envolvendo a produção de espécies reativas de oxigênio e reação de hipersensibilidade no local da infecção (DODDS & RATHJEN, 2010). Essa interação envolve o desenvolvimento de raças do patógeno que diferem em genes de avirulência para um determinado gene de resistência de plantas e, até então, seis locos dominantes de resistência foram identificados e mapeados no genoma da soja (Rpp1-Rpp6) (GODOY et al., 2016). Em ensaio visando caracterizar variabilidade patogênica em populações de *P. pachyrhizi* coletadas em diferentes regiões do Brasil, Argentina e Paraguai, de 2007 a 2010, foi observado que as populações de fungos da América do Sul variaram geograficamente e temporalmente quanto à patogenicidade, e que Rpp1 e Rpp5 foram as fontes de resistência mais efetivas contra a FAS (AKAMATSU et al., 2013).

Cultivares de soja portadoras de genes de resistência vertical ao fungo *P. pachyrhizi* estão disponíveis no Brasil desde 2009. As cultivares resistentes não são imunes à FAS, uma vez que o fungo ainda consegue causar lesões nas plantas (GODOY et al., 2017). Nas cultivares com Tecnologia Inox, ocorre uma reação de hipersensibilidade formando lesões escuras necrosadas (tipo RB – reddish brown). A formação de urédias e de uredósporos pode ocorrer, todavia, com menor intensidade em relação às cultivares comerciais (FIALLOS, 2010; ZANATTA, 2009). No entanto, a aplicação de fungicidas ainda é necessária para reduzir a multiplicação do fungo, evitando gerar uma pressão de seleção capaz de inviabilizar os genes de resistência (GODOY et al., 2016).

### **2.3.3 Controle químico**

A aplicação de fungicidas é uma das principais alternativas para o manejo e controle da FAS (SANTOS et al., 2007; LEVY, 2015). No Brasil, ela foi iniciada na safra de 2002/03 (REIS et al., 2014) e, atualmente, 55 fungicidas estão registrados para o controle da doença (MAPA, 2019). Em um primeiro momento, o controle da FAS era realizado com a utilização de fungicidas triazóis e estrobilurinas aplicados isoladamente e depois em misturas, como forma de amenizar os problemas de pressão de seleção e perda de eficácia dos produtos causada pelo uso intensivo das moléculas isoladas. A partir de 2013, iniciou-se o uso de fungicidas multissítios e foram lançadas no mercado moléculas de fungicidas do grupo das carboxamidas para o controle da doença. Em 2016, o grupo morfolina também começou a ser utilizado para o mesmo fim.

#### **2.3.3.1 Triazóis, triazolitonas e morfolinas**

Os fungicidas do grupo químico triazol são sítio-específicos, penetrantes (sistêmicos) e com alto poder residual, sendo os primeiros inibidores da desmetilação (IDM) (EHR e KEMMITT, 2002; RUSSELL, 2004). As células fúngicas, ao entrarem em contato com fungicidas desse grupo, acumulam esteróis com radical  $14\alpha$ -metil, promovendo a inativação do processo de desmetilação do lanosterol até compostos intermediários, os quais seriam precursores do ergosterol. Este fato deve-se à ocupação pelo fungicida dos sítios ativos destinados à ligação da enzima  $14\alpha$ -demetilase ao citocromo P-450, inibindo a biossíntese de esteróis através da inibição da remoção do grupo metila C14 do 24-metilenodihidrolanosterol (XAVIER et al., 2015; REIS et al., 2010; TOMLIN, 2002).

A ausência do ergosterol prejudica a permeabilidade das membranas celulares do fungo, resultando na perda dos elementos intracelulares, assim como causando a inibição da biossíntese dos triglicerídios e fosfolipídios, com consequente necrose celular e morte do patógeno (REIS et al., 2010). Por atuarem inibindo o desenvolvimento do fungo principalmente após a sua penetração na planta ou após o aparecimento dos sintomas, os fungicidas triazóis (propiconazol, tebuconazol, difenoconazol, entre outros) são

considerados de ação curativa ou erradicante (REIS et al., 2010). O fungicida protioconazol também se enquadra dentro do mecanismo de ação IDM e é utilizado no controle da doença, no entanto, faz parte do grupo químico das triazolinas (FRAC, 2019). As morfolinas apresentam o mesmo modo de ação do grupo químico dos triazóis, porém o mecanismo ocorre em outra etapa da reação. Nesse caso, ocorre inibição da isomerase  $\Delta^{8,7}$  e da redutase  $\Delta^{14}$ , resultado também na inibição da biossíntese do ergosterol (REIS et al., 2010).

### **2.3.3.2 Estrobilurinas**

As estrobilurinas foram biossintetizadas a partir de um metabólito secundário produzido pelo fungo *Strobilurus tenacellus*. Este grupo começou a ser comercializado como fungicida no ano de 1996, sendo amplamente utilizado de forma isolada e em mistura com os triazóis (RODRIGUES, 2006).

O grupo químico estrobilurina age inibindo a respiração mitocondrial no complexo III da cadeia transportadora de elétrons. O processo de inibição do fungo se dá por meio do bloqueio da transferência de elétrons do citocromo b para o citocromo c1 no sítio da quinona externa ( $Q_o$ ) na mitocôndria, interferindo na produção de ATP e paralisando o processo de respiração do fungo (GISI & SIEROTZKI, 2008; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010; REIS et al., 2010).

Os fungicidas deste grupo (azoxistrobina, trifloxistrobina, piraclostrobina, picoxistrobina, cresoxim-metílico, entre outros) são sítio-específicos, penetrantes (mesostêmicos) e atuam preventivamente, inibindo a germinação dos esporos (atividade antiesporulante) (FRAC, 2019; REIS et al., 2010).

### **2.3.3.3 Carboxamidas**

O grupo carboxamida apresenta efeito inibidor sobre a produção da enzima succinato desidrogenase (SDH), a qual atua no complexo II da cadeia de transporte de elétrons na mitocôndria do fungo, paralisando o processo de respiração por meio da

inibição da oxidação de succinato para fumarato, bloqueando a cadeia transportadora de elétrons em um ponto distinto das estrobilurinas (SIEROTZKI & SCALLIET, 2013).

No ano de 2012, foi lançado no Brasil, o primeiro fungicida carboxamida registrado para o controle da FAS composto pelo químico fluxapiraxade, seguido pelo bixafem e benzovindiflupir, sendo eles produzidos em misturas com outras moléculas fungicidas (GODOY et al., 2016).

As carboxamidas são fungicidas sítio-específicos, penetrantes e considerados preventivos, uma vez que atuam inibindo a germinação dos esporos do fungo (REIS et al., 2010).

#### **2.3.3.4 Multissítios**

Os fungicidas multissítios desempenham um papel importante no controle da FAS atualmente (SIEROTZKI & SCALLIET, 2013), atuando em múltiplos processos metabólicos dos fungos, dificultando o desenvolvimento da resistência. Eles são de caráter protetor, ou seja, não são absorvidos e nem translocados, permanecendo no local onde foram depositados na superfície da planta, formando uma camada protetora (KAARS-SIJPESTEIJN, 1982) e atuam inibindo a germinação dos esporos (WONG, 2001). Os principais fungicidas usados para controlar a doença são ditiocarbamatos (mancozebe), isoftalonitrilas (clorotalonil) e inorgânicos (oxicloreto de cobre).

Os ditiocarbamatos, de um modo geral, são compostos que interferem na produção de energia (AZEVEDO, 2003), afetando a respiração celular, a permeabilidade da membrana e, principalmente, a atuação das enzimas. São potentes agentes quelantes que privam a célula das necessidades de metais (RODRIGUES, 2006).

O mancozebe, quando exposto à água, se quebra para libertar sulfureto de bisisotiocianato de etileno (EBIS), que é então convertido através da ação da luz UV em bisisotiocianato de etileno (EBI). Acredita-se que tanto o EBIS quanto o EBI sejam tóxicos e interferem nas enzimas que contêm grupos sulfidrilas (-SH) (GULLINO et al.,

2010). Estes radicais estão presentes em muitas estruturas dos fungos, sendo que esses fungicidas podem inibir várias enzimas, e logo, interferir em muitos processos metabólicos (RODRIGUES, 2006). Pelo menos seis processos bioquímicos diferentes são afetados na célula fúngica, os quais ocorrem na membrana, mitocôndria, ribossomos, retículo endoplasmático liso e rugoso e no núcleo (LUDWIG et al., 1960; BALARDIN et al., 2017).

Quanto ao grupo das isoftalonitrilas, cujo principal componente é o químico clorotalonil, sabe-se que a molécula se une aos grupos sulfidrilo e mercapto na célula fúngica, interferindo em vários processos enzimáticos vitais do fungo (REIS et al., 2010). Como exemplo, a ligação com sulfidrilas, como por exemplo a glutatona, na germinação de células fúngicas, conduz à interrupção da glicólise, uma vez que o fungicida inibe a ativação da enzima gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase e outras enzimas similares, o que resulta em déficit de energia. Ao serem desativadas, estas enzimas não podem completar sua ação no ciclo de Krebs e o ATP não é produzido. Por conseguinte, as células fúngicas morrem, pois não completam processos essenciais para sua formação e viabilidade (RODRIGUES, 2006).

Dentre os fungicidas inorgânicos, o cobre, por sua vez, é acumulado pelas células de fungos sensíveis a esse elemento. Ele forma complexos com enzimas que possuem grupos sulfidrilas, hidroxila, amino ou carboxila, inativando-as e provocando desordem geral do metabolismo do fungo, rompendo a integridade celular (REIS et al., 2010).

#### **2.4 Redução de sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**

Um dos problemas do uso de fungicidas no controle de doenças é o surgimento de fungos fitopatogênicos resistentes na população (GHINI & KIMATI, 2000). Os fungos, quando ameaçados, podem desenvolver mecanismos que lhes confirmam resistência a produtos anteriormente considerados tóxicos a eles, para que se perpetue sua sobrevivência. A grande diversidade dos fungos e sua capacidade de multiplicação são características que oportunizam a seleção de linhagens resistentes surgidas espontaneamente (PARREIRA et al., 2009).

Por definição, a resistência de um fungo a um fungicida é caracterizada como uma alteração genética estável e herdável, a qual resulta na redução da sensibilidade do patógeno à molécula em questão (BRENT & HOLLON, 2007). O desenvolvimento da resistência de fungos aos fungicidas se dá a partir de mecanismos genéticos e bioquímicos. Dentre eles estão: a alteração do sítio-alvo devido à mutação no gene que o codifica, a redução da absorção ou aumento do efluxo do fungicida (xenofobia), a falta de conversão para o composto ativo, a compensação por meio do aumento da produção da enzima-alvo por superexpressão e o desenvolvimento de vias metabólicas alternativas que não incluem o sítio-alvo do fungicida, como a utilização de respiração alternativa, por exemplo (BRENT & HOLLON, 2007; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010; LEROUX & WALKER, 2011).

A resistência de fungos caracterizada por uma perda rápida e acentuada da eficácia de um fungicida, com respostas diferentes entre populações sensíveis e resistentes, é classificada como qualitativa. Em contrapartida, quando a resistência ocorre mais lentamente, afetando tanto populações sensíveis quanto resistentes, é classificada como quantitativa e reversível (BRENT, 1995). A primeira é controlada por poucos genes de efeito acentuado (oligogênica). Para muitos fungicidas, uma mutação num único gene é suficiente para que um alto grau de resistência seja adquirido, independentemente do fungo em questão. Nesses casos, a distribuição mendeliana apresenta uma prole constituída por duas sub-populações: a sensível e a resistente (BRENT & HOLLON, 2007).

Por outro lado, a resistência quantitativa é causada por muitos genes, sendo cada um, responsável por um pequeno efeito (poligênica) (GEORGOPOULOS, 1995). No caso de herança poligênica, para ocorrer um alto grau de resistência, há a necessidade de mutações em muitos genes, sendo que cada um tem efeito aditivo. Para cada um dos genes, a segregação também é do tipo mendeliana. Entretanto, se uma linhagem altamente resistente for cruzada com uma altamente sensível, a progênie apresentará uma distribuição contínua, ou seja, com diversos níveis de resistência (BRENT & HOLLON, 2007).

A ocorrência de resistência a fungicidas diferentes, porém afetados por uma mesma mutação gênica, é considerada resistência cruzada (XAVIER et al., 2015). Já a resistência múltipla é aquela que afeta dois ou mais fungicidas com mecanismos de ação distintos, com a ocorrência de mais que uma mutação genética (REIS et al., 2010). A resistência se desenvolve mais rapidamente em patógenos com maior esporulação, ou capacidade de multiplicação e disseminação. Quanto maior o número de esporos liberados, maiores serão as chances de mutação e seleção (BRENT & HOLLOWAY, 2007).

A recombinação sexual e a hibridização somática são duas fontes de diversidade de virulência em fungos fitopatogênicos (BURDON & SILK 1997; READ et al., 2010). Vittal et al. (2012) observaram a fusão de tubos germinativos na germinação de uredosporos de *P. pachyrhizi*, o que resultou em uma complexa rede de hifas, mostrando migração de núcleos através dessa rede, resultando em hifas multi-nucleadas. Este fato também pode contribuir para a explicação da diversidade genética e da virulência entre as populações do fungo.

O monitoramento da eficácia dos fungicidas utilizados para o controle da FAS iniciou-se em 2003/2004 (GODOY et al., 2010). No ano de 2006, iniciou-se a avaliação da sensibilidade de *P. pachyrhizi* aos fungicidas por meio de testes *in vitro* (concentração inibitória de 50% da germinação de esporos) (BUZZERIO, 2006) e *in vivo* (dose efetiva para controle de 50% da severidade da doença) (SCHERB & MEHL, 2006). Análises moleculares para detecção de mutações no sítio de ação dos fungicidas e análise de expressão de genes também têm sido realizadas com o objetivo do monitoramento da resistência do fungo aos fungicidas (KLOSOWSKI et al., 2016; FRAC, 2017).

Estudos de resistência de *P. pachyrhizi* aos fungicidas inibidores da desmetilação (IDM), realizados por Schmitz et al. (2014), revelaram várias substituições de nucleotídeos em cinco íntrons de tamanhos diferentes no gene do citocromo P-450 (*CYP51*) de isolados de *P. pachyrhizi*. Essas variações foram encontradas em isolados brasileiros e em um de Taiwan. As análises de sequenciamento de isolados do fungo revelaram mutações nos códons com substituições dos aminoácidos fenilalanina por



leucina na posição 120 (F120L), tirosina por histidina/fenilalanina no códon 131 (Y131H/F), lisina por arginina no 142 (K142R), isoleucina por fenilalanina no 145 (I145F) e isoleucina por treonina no 475 (I475T). Com a exceção de I145F, todas as mutações ocorreram em combinações (Y131H + F120L, Y131F + K142R, Y131F + I475T). Os autores também revelaram que mais de uma cópia do gene *CYP51* existe no genoma de *P. pachyrhizi*.

Três substituições de aminoácidos foram detectadas nos genes do citocromo-b em fungos fitopatogênicos: G143A, G137R e F129L, as quais governam a redução de sensibilidade aos fungicidas inibidores da quinona externa (IQe) (GISI et al., 2002; AVILA-ADAME & KÖLLER, 2003; MALANDRAKIS et al., 2006; MARKOGLOU et al., 2006; SIEROTZKI et al., 2007). Nos basidiomicetos, em gêneros como *Phakopsora* e *Puccinia*, com o estudo do material genético do citocromo-b, constatou-se a presença de um íntron (região do RNA que não é codificada) logo após o códon de glicina na posição 143. A substituição desse nucleotídeo impede o ‘splicing’ (retirada dos íntrons e união das regiões codificadoras-éxons), o que resulta em uma deficiência no citocromo-b, sendo considerada uma mutação letal (GRASSO et al., 2006). Como a resistência aos IQe através da mutação G143A não é possível para *P. pachyrhizi*, o fungo desenvolveu uma forma de adaptação pela mutação F129L (KLOSOWSKI et al., 2016). Klosowski et al. (2016) relataram a ocorrência de mutação F129L no gene *CYTB* em *P. pachyrhizi* em isolados de áreas de soja no Brasil, sendo que 100% dos isolados provenientes do Mato Grosso e Goiás apresentaram a mutação F129L.

Na safra 2016/17, em áreas com um histórico intensivo do uso de fungicidas inibidores da succinato desidrogenase (ISDH) e em condições de alta pressão da FAS, foram detectados casos de redução de performance do benzovindiflupir. A caracterização das populações do fungo coletadas indicou uma mutação na subunidade C do gene *SDH* (succinato desidrogenase) na posição 86, sendo substituída uma isoleucina por fenilalanina (I86F) (KLAPPACH, 2017).

## 2.5 Tecnologia de aplicação de fungicidas

Segundo Matthews (2002), o objetivo da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando ao mínimo o meio ambiente. Mais recentemente, a tecnologia de aplicação vem sendo considerada como um conjunto de conhecimentos que integram informações sobre produtos fitossanitários, formulações, adjuvantes, pulverização, alvos, recursos humanos, tecnologia de informação e ambiente, visando aplicações corretas, seguras e responsáveis, sempre respeitando as boas práticas agrícolas (ANTUNIASSI et al., 2017).

Alguns fatores são fundamentais em aplicações de produtos fitossanitários, dentre eles a escolha da dose correta do químico a ser utilizado, a definição do momento oportuno para o controle e a qualidade da aplicação. Esta última, é determinada pela eficiência da pulverização (volume pulverizado e dose do produto), da aplicação em si (número de gotas que atingem o alvo), da absorção pela planta (fatores da calda de aplicação, como pH e adjuvantes, além das condições ambientais), da degradação do produto (LEIVA, 2010) e das características da cultura.

### 2.5.1 Volume de calda

Em aplicações fitossanitárias, o espectro de gotas e o volume de calda são fatores fundamentais, que devem ser os primeiros a serem definidos (ANTUNIASSI, 2012; DALLA FÁVERA, 2012). Ambos fazem parte da fórmula cobertura dos alvos de Courshee (1967):

$$C = 15 \frac{VRK^2}{AD}$$

Sendo: V = volume da aplicação

R = taxa de recuperação da calda nas folhas

K = fator de espalhamento de gotas

A = área foliar

D = diâmetro mediano de gotas

O volume de calda e o diâmetro de gotas são inversamente proporcionais, uma vez que para se alcançar a cobertura desejada em uma aplicação, deve-se utilizar pontas de pulverização que produzam gotas mais finas, trabalhar com maiores volumes de calda e

utilizar adjuvantes em geral (ANTUNIASSI, 2012). Variações nas taxas de aplicação de fungicidas podem resultar em diferentes controles do patógeno quando realizadas em cultivares de soja com diferentes características estruturais (MADALOSSO et al., 2012). Cultivares com maior quantidade de ramificações e índice de área foliar (IAF) demandam maior cobertura de gotas (DEBORTOLI et al., 2012). Em plantas com maior quantidade de folhas, o aumento de volume pode promover cobertura e penetração adequados para proteger o tecido foliar da soja contra o patógeno (BUTZEN et al., 2005).

Taxas de aplicação reduzidas são utilizadas para aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores. Porém, elas podem ocasionar efeitos negativos à eficácia de controle da FAS (MADALOSSO et al., 2012). Ao optar por trabalhar com menores volumes de calda, é necessário escolher pontas de pulverização que produzem gotas mais finas, aumentando-se os riscos de perdas por deriva. Essa redução requer incremento da tecnologia de aplicação e o acompanhamento constante das condições atmosféricas, as quais podem dificultar o atingimento do alvo (CUNHA et al., 2014). A redução da água no interior do tanque para a mesma quantidade de ingrediente ativo recomendada gera menor diluição, requerendo maior precisão na aplicação. Isso pode acarretar riscos em relação à eficiência de controle do fungicida e ao seu residual (MADALOSSO et al., 2012).

Em ensaio realizado por Cunha et al. (2006), observou-se que a taxa de aplicação de 160 L ha<sup>-1</sup> gerou maior retenção de calda no dossel foliar da soja quando comparado ao volume de 115 L ha<sup>-1</sup>. Em 2011, o autor obteve resultados similares, em que o volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>, na aplicação de fungicidas, proporcionou maior deposição de gotas nas folhas do que o de 130 L ha<sup>-1</sup>. Contudo, em experimento conduzido no ano de 2008, Cunha e colaboradores verificaram tendência de aumento da deposição do fungicida no alvo com o aumento do volume de calda, porém, não foi encontrada diferença na densidade de gotas depositadas nas partes superior e inferior do dossel da soja. Em geral, espera-se que o incremento da taxa de aplicação forneça aumento do volume de calda retido até certo ponto, a partir do qual, a superfície foliar não é capaz de reter o líquido, passando a ocorrer o escoamento, o que não é desejável (CUNHA et al., 2008).

Dalla Fávera (2012), observou que o incremento do volume de aplicação de 70 para 130 L ha<sup>-1</sup> resultou em maior deposição da calda fungicida nos três estratos do dossel de plantas de soja. Prado e colaboradores (2015) ao comparar volumes de calda (60, 100 e 160 L ha<sup>-1</sup>) e a utilização de surfactante siliconado em aplicações de fungicida para o controle da FAS, observaram que ambos os fatores não influenciaram na deposição de gotas nas folhas das partes mediana e inferior das plantas de soja. No entanto, o volume de calda de 160 L ha<sup>-1</sup> promoveu maior controle da doença e incremento no rendimento de sementes.

Em ensaio testando volumes de calda entre 40 e 160 L ha<sup>-1</sup>, Roehrig et al. (2018) verificaram que o aumento no volume de calda promoveu incremento na densidade de gotas por cm<sup>2</sup> depositadas no perfil das plantas de soja, com aumento de 2,1 vezes no número de gotas cm<sup>-2</sup>. Os autores ainda provaram que a redução na taxa de aplicação apresentou resultados negativos na cobertura foliar, resultando em redução no controle da ferrugem. No quesito rendimento, os melhores resultados foram encontrados com volumes de calda de 130 L ha<sup>-1</sup>, o qual foi estatisticamente similar ao de 160 L ha<sup>-1</sup>.

Cechi et al. (2018), testando diferentes volumes de calda e doses de fungicidas no controle de doenças em soja, verificaram que a escolha desses fatores deve levar em consideração o IAF da cultivar. Para cultivares de soja com IAF menor que seis, o volume de 100 L ha<sup>-1</sup> apresentou valores para o rendimento de sementes similares ao uso de 150 e 200 L ha<sup>-1</sup>. Para o IAF entre seis e sete, o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> mostrou-se o mais indicado, uma vez que superou o de 100 L ha<sup>-1</sup> e foi similar ao de 200 L ha<sup>-1</sup> quanto à produtividade. Em cultivares com IAF superior a sete, o volume de calda que proporcionou maior rendimento de sementes foi com a utilização de 200 L ha<sup>-1</sup>.

### **2.5.2 Espectro de gotas**

Um dos fatores de maior importância no controle de doenças em plantas é a escolha do tamanho de gotas pulverizadas. Elas devem ter tamanho suficientemente grande para que possam se depositar sobre o alvo sem que ocorra a evaporação, e devem ser suficientemente pequenas para fornecerem cobertura adequada do alvo pelo fungicida

(gotas finas: 106-235  $\mu\text{m}$  e médias: 235-340  $\mu\text{m}$ ) (REICHARD et al., 1997; ASABE, 2016). Para a cobertura do tecido foliar, segundo a fórmula de Courshee (1967), tanto a taxa de recuperação das gotas quanto o fator de espalhamento são dependentes do tamanho de gotas (NUYTTENS et al., 2007). A penetração de gotas no dossel de uma cultura também é fator fundamental para o controle químico de doenças, especialmente das que iniciam o processo infeccioso nas folhas baixas, como é o caso da ferrugem da soja (RAETANO, 2007).

A Tabela 1 apresenta a classificação do espectro de gotas e suas indicações propostas pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola e Biológica (ASABE).

Tabela 1 - Padrão ASABE S572.1 para mensurar e interpretar a categoria de gotas produzidas por pontas de pulverização

Categoria de gotas	DMV ( $\mu\text{m}$ )	Cor	Retenção em folhas de difícil molhabilidade	Indicações de uso
Extremamente fina	<60	Roxa	Excelente	Exceções
Muito fina	61-105	Vermelha	Excelente	Exceções
Fina	106-235	Laranja	Muito boa	Boa cobertura
Média	236-340	Amarela	Boa	Maioria dos produtos
Grossa	341-403	Azul	Moderada	Herbicidas sistêmicos
Muito grossa	404-502	Verde	Fraca	Herbicidas de solo
Extremamente grossa	503-665	Branca	Ruim	Fertilizante líquido
Ultra grossa	>665	Preta	Ruim	Fertilizante líquido

Fonte: ASABE S571.2, 2016. Adaptado, Chechi, A.

Em pulverizações hidráulicas com baixas taxas de aplicação, é indicado o uso de pontas que produzam gotas finas. As gotas de espectro fino apresentam maior facilidade de penetração no interior do dossel das plantas e maior cobertura do alvo (CUNHA et al., 2006; ANTUNIASSI, 2012; TORMEN et al., 2012). Contudo, a redução no tamanho de gotas, reduz a velocidade de queda das mesmas, aumentando o tempo de alcance do alvo (menor taxa de recuperação) (CUNHA et al., 2008). Em condições de temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar e velocidade do vento abaixo de 3,0  $\text{km h}^{-1}$ , essas gotas tendem a ser perdidas por evaporação antes de atingirem o alvo de interesse (VITÓRIA & LEITE, 2014; ASABE, 2016). Dessa forma, quanto maior o espectro das gotas, maior será o tempo até a evaporação total (YU et al., 2009). Gotas grandes, desde

que utilizadas da maneira correta, promovem boa deposição superficial, mas não proporcionam boas condições de cobertura e penetração (ANTUNIASSI, 2005; 2006).

Em condições de temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar e velocidade do vento acima de  $10 \text{ km h}^{-1}$ , pode ocorrer perda de gotas pelo processo de deriva (ANTUNIASSI, 2012; BOLLER, 2013). A deriva é caracterizada pelo movimento físico da calda fitossanitária por meio do ar, podendo ocorrer antes ou após a aplicação, alterando a trajetória do produto aplicado para locais fora do alvo (CHRISTOFOLETTI, 1999). Esse desvio pode acontecer dentro da área de cultivo a ser tratada (endoderiva) ou fora da área cultivada de interesse (exoderiva) (ANTUNIASSI, 2012).

Em condições atmosféricas ótimas, quanto menor o diâmetro das gotas aplicadas, maior será a probabilidade de cobertura do alvo. Segundo ASABE (2004), com temperatura abaixo de  $25^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar (UR) acima de 70%, é indicado o uso de gotas finas ou muito finas. Em situações de temperaturas entre 25 a  $28^{\circ}\text{C}$ , e UR entre 60% e 70%, deveriam ser utilizadas gotas finas ou médias. Já para UR abaixo de 60% e temperatura acima de  $28^{\circ}\text{C}$ , o mais indicado é o uso de gotas médias ou grossas. Desta forma, o princípio a ser utilizado é o do emprego do tamanho de gota mais seguro em cada situação. Assim, se a umidade do ar permite o uso de gotas muito finas, mas a temperatura requer gotas finas, a adoção mais segura será a escolha de pontas que produzam gotas finas, buscando reduzir o risco de perdas por deriva ou evaporação (ANTUNIASSI, 2012).

A necessidade de maior ou menor densidade de gotas por área é dependente do produto fitossanitário a ser utilizado. Segundo Antuniassi (2005; 2006), a maioria dos fungicidas sistêmicos apresenta movimentação da base para topo da folha. Para esse grupo de produtos, podem ser utilizados menor densidade de gotas e elas podem ser maiores, o que facilita a utilização de técnicas para a redução de deriva, melhorando a segurança e eficiência da aplicação (ANTUNIASSI et al., 2004). Densidades de 30 a 50 gotas  $\text{cm}^{-2}$  são suficientes para os fungicidas penetrantes (CHRISTOFOLETTI, 1999; OLIVEIRA, 2009), com diâmetro mediano volumétrico (DMV) entre 200 e 300  $\mu\text{m}$  (MÁRQUEZ et al., 1997). Para os produtos de contato ou não-penetrantes, é necessário

utilizar gotas menores e/ou maior volume de calda, pela maior dependência relacionada à cobertura dos alvos (ANTUNIASSI, 2005; 2006). O número de gotas  $\text{cm}^{-2}$ , nesse caso, deve variar entre 50 e 70 gotas por  $\text{cm}^2$  e o DMV deve ficar entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  (MÁRQUEZ et al., 1997). Ozeki & Kunz (1996) observaram valores semelhantes em termos de DMV, mas apontaram que para fungicidas de contato a cobertura deve ser superior a 70 gotas por  $\text{cm}^2$ .

Cunha e colaboradores (2008) verificaram tendência de gotas finas promoverem maior deposição de gotas no terço inferior das plantas de soja. Nascimento et al. (2009), estudando o controle da FAS com a utilização de diferentes pontas na aplicação de fungicidas, mostraram que gotas finas apresentam maior eficiência de penetração no perfil das plantas, representada pelo menor número de urédias nas folhas do terço inferior da cultura. Debortoli et al. (2012) observaram que os espectros de gotas fino e muito fino propiciaram maior deposição das gotas, com incremento no controle da FAS e na produtividade para diferentes cultivares de soja. Ainda, os autores observaram que a cultivar que apresentou maior porte no momento das aplicações, foi a que mostrou maior limitação à penetração de gotas médias e grossas no terço inferior das plantas, resultando em menor controle da doença.

### **2.5.3 Arquitetura de plantas**

Além das características referentes ao tamanho das gotas produzidas, o sucesso de uma ponta de pulverização em gerar gotas que alcancem as camadas inferiores do dossel vegetal depende também das características da cultivar de soja (TORMEN et al., 2012). A variação entre cultivares de soja, relacionada à arquitetura de plantas, impõe obstáculos distintos para a penetração de gotas no dossel no momento da aplicação. Esses obstáculos precisam ser vencidos pelas gotas para que ocorra boa cobertura da planta pelo fungicida e o controle satisfatório da doença (DEBORTOLI et al., 2012).

Cultivares que possuem maior índice de área foliar (IAF) e mais ramificações laterais possibilitam mais rapidamente o fechamento das entrelinhas, dificultando assim, a passagem das gotas para as camadas inferiores do dossel (TORMEN et al., 2012),

especialmente nos estádios reprodutivos, quando as plantas apresentam elevados valores de IAF (OZKAN et al., 2006). Além disso, a forma de conexão dos componentes da planta, o comprimento da ramificação e do entrenó afetam a qualidade da aplicação do defensivo agrícola (PEDERSEN & LAUER, 2004; DALLA FÁVERA, 2012).

A deposição é menor nas partes mais baixas e internas do dossel das culturas. No caso de fungicidas, esta desuniformidade proporciona baixa eficácia no controle de doenças (CUNHA et al., 2006). Segundo Debortoli et al. (2012), o espectro de gotas fino e a utilização de maiores volumes de calda proporcionaram melhor deposição das gotas da calda fungicida no terço inferior das plantas de soja de diferentes estaturas, IAF e número de ramos, o que se reverteu em melhor controle da FAS e produtividade de sementes de soja.

#### **2.5.4 Chuva e aplicação de fungicidas**

A ocorrência de chuva após a pulverização de fungicidas afeta a eficiência de aplicação devido à lavagem do princípio ativo (OLIVEIRA, 2009; ANTUNIASSI, 2012). Os problemas podem ocorrer tanto pela diluição do produto quanto por eventual escorrimento, em virtude do excesso de água e da ação dos espalhantes contidos na calda (ANTUNIASSI, 2009). Vários fatores afetam a relação chuva e agroquímicos, mas os mais importantes são a intensidade da chuva, quantidade de chuva, intervalo de tempo entre a pulverização e a chuva, a formulação dos defensivos, o tipo de cultura e a solubilidade do produto em água, e que neste caso, a maioria dos produtos apresenta baixa afinidade por ela (CABRAS et al., 2001; LENZ et al., 2011).



O sucesso do tratamento fitossanitário depende da quantidade de retenção de ingrediente ativo na folha e da resistência do depósito de ativo a fatores adversos como a chuva. A retenção e a tenacidade são influenciadas por características físico-químicas da superfície da folha, que podem ser intrínsecas de cada cultura ou cultivar. O sucesso de um fungicida não depende apenas de sua fungitoxicidade, mas também de sua aderência, tenacidade e persistência (SANTOS et al., 2002). Buscando identificar os efeitos da ocorrência de chuva após a aplicação de fungicidas, Hunshe et al. (2007), Debortoli et al. (2008), Oliveira (2009), Pigati et al. (2010), Stefanello et al. (2016) e Chechi et al. (2018) verificaram que a chuva afetou negativamente o residual dos produtos e o controle das doenças após a aplicação de fungicidas em diferentes culturas.

### 3 CAPÍTULO I

#### Sensibilidade *in vivo* de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas

##### 3.1 Resumo

A ferrugem-asiática da soja é uma das doenças mais destrutivas que ocorre na cultura. Seu controle é baseado, principalmente, na aplicação de fungicidas. O objetivo deste trabalho foi verificar, *in vivo*, a concentração efetiva que controla 50% do número de urédias em folíolos soja, causadas por populações de *Phakopsora pachyrhizi* oriundas de diferentes locais. Os ensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Por meio de teste de folíolos destacados de soja, foram avaliadas as sensibilidades de doze isolados do fungo a fungicidas sítio-específicos e multissítios, nas concentrações de 0,1; 1,0; 10,0 e 100,0 mg L<sup>-1</sup>. Os folíolos de soja foram imersos nas devidas soluções fungicida, dispostos em câmaras úmidas em caixas gerbox e inoculados com as devidas suspensões de esporos de *P. pachyrhizi* (5,0x10<sup>4</sup> uredosporos mL<sup>-1</sup>). As caixas foram incubadas durante 20 dias, em temperatura de 23°C e fotoperíodo de 12 h. Em seguida, avaliou-se o número de urédias cm<sup>-2</sup> da face abaxial de cada folíolo. Para os doze isolados de *P. pachyrhizi* testados, os ingredientes ativos protioconazol (9 isolados), trifloxistrobina (12 isolados), fluxapiraxade (7 isolados), trifloxistrobina + protioconazol (11 isolados), trifloxistrobina + bixafem + protioconazol (12 isolados), azoxistrobina + benzovindiflupir (11 isolados) e azoxistrobina + benzovindiflupir + difenoconazol (12 isolados) foram altamente fungitóxicos, com CE<sub>50</sub> menor do que 1,0 mg L<sup>-1</sup>. Difenoconazol, azoxistrobina e fenpropimorfe foram considerados medianamente fungitóxicos para nove dos doze isolados, com CE<sub>50</sub> entre 1 e 10 mg L<sup>-1</sup>. Os multissítios mancozebe e oxicloreto de cobre apresentaram respostas de CE<sub>50</sub> classificadas como pouco tóxicas para os doze isolados do fungo e o clorotalonil para oito deles (CE<sub>50</sub> entre 10 e 50 mg L<sup>-1</sup>). Os fungicidas sítio-específico apresentaram alta a moderada fungitoxicidade aos isolados de *P. pachyrhizi* oriundos dos diferentes locais, enquanto os multissítios apresentaram atividade moderada a pouco tóxica.

Palavras-chave: 1. Concentração efetiva. 2. Ferrugem-asiática. 3. Folíolos destacados. 4. Fungicida multissítio. 5. Soja.

##### 3.2 Introdução

A ferrugem-asiática da soja (FAS) tem como agente causal o fungo *Phakopsora pachyrhizi* e foi relatada pela primeira vez no Brasil no final da safra de 2000/2001, sendo uma ameaça para o continente americano (GODOY et al., 2006). Os danos da doença variam entre 50% e 90%, porém, seu impacto na produção depende da presença de condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno e das características

relacionadas à cultivar utilizada como ciclo, estágio fenológico e arquitetura (YANG et al., 1991; DEBORTOLI et al., 2012; TORMEN et al., 2012). Das estratégias de manejo da doença utilizadas, a aplicação de fungicidas é a mais importante para a manutenção da severidade da doença abaixo do nível de dano (KLOSOWSKI et al. 2016). No Brasil, a aplicação de fungicidas para o controle da FAS teve início na safra de 2002/2003, utilizando fungicidas do grupo químico triazol (inibidor da desmetilação - IDM), posteriormente misturas de triazol e estrobilurina (inibidor da quinona externa - IQe) (REIS et al., 2014) e por último, misturas contendo carboxamidas (inibidores da succinato desidrogenase - ISDH), com a utilização de reforço com multissítios e morfolinás (Figura 1).

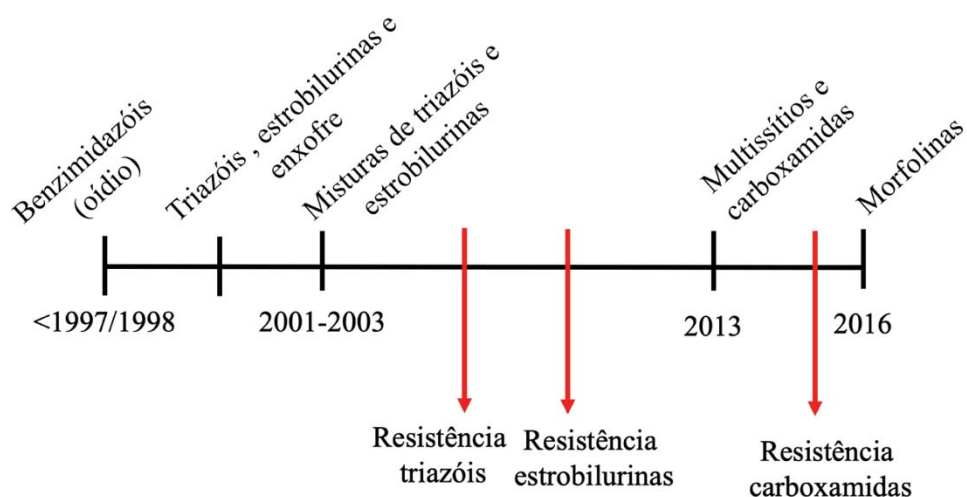


Figura 1 – Evolução do uso de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja.

Edgington & Klew (1971) definiram critérios para associar uma substância fungicida com um nível de fungitoxicidade. Para isso, os autores elaboraram critérios baseados em concentrações de princípios ativos que inibem 50% da germinação de esporos (concentração inibitória de 50% -  $CI_{50}$ ) ou que controlam 50% da severidade da doença (concentração efetiva de 50% -  $CE_{50}$ ). Concentrações menores que  $1 \text{ mg L}^{-1}$  são consideradas altamente fungitóxicas, valores entre 1 e  $10 \text{ mg L}^{-1}$  são medianamente, e entre 10 e  $50 \text{ mg L}^{-1}$  são pouco fungitóxicas, sendo que acima de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  não há efeito tóxico aos fungos.

Um dos problemas do uso de fungicidas no controle de doenças é o surgimento de fungos fitopatogênicos resistentes na população (GHINI & KIMATI, 2000). Os fungos, quando ameaçados, podem desenvolver mecanismos que lhe confirmam resistência a produtos anteriormente considerados tóxicos, como forma de sobrevivência. A grande diversidade dos fungos e sua capacidade de multiplicação são características que geram oportunidade para a seleção de raças resistentes surgidas espontaneamente na população (PARREIRA et al., 2009).

Autores como Dekker (1977) e Ghini & Kimati (2002) explicaram que mudanças genéticas que resultaram na resistência de um patógeno a um fungicida ocorrem com maior facilidade com compostos que atuam primariamente em um ou poucos sítios de ação do fungo do que com fungicidas que interferem em múltiplos sítios dos processos bioquímicos e metabólicos. O uso contínuo do mesmo princípio ativo pode promover a seleção de fungos fitopatogênicos resistentes, podendo gerar redução no controle das doenças, pela redução da sensibilidade do fungo aos fungicidas (GHINI & KIMATI, 2002).

O desenvolvimento da resistência de fungos aos fungicidas se dá a partir de mecanismos genéticos e bioquímicos. Dentre eles estão: a alteração do sítio-alvo devido à mutação no gene que o codifica, a redução da absorção ou aumento do efluxo do fungicida (xenofobia), a falta de conversão para o composto ativo, a compensação por meio do aumento da produção da enzima-alvo por superexpressão e o desenvolvimento de vias metabólicas alternativas que não incluem o sítio-alvo do fungicida, como a utilização de respiração alternativa, por exemplo (BRENT & HOLLON, 2007; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010; LEROUX & WALKER, 2011).

A resistência de fungos caracterizada por uma perda rápida e acentuada da eficácia de um fungicida, apresentando respostas diferentes entre populações sensíveis e resistentes, é classificada como qualitativa. Já quando a resistência ocorre mais lentamente, afetando tanto populações sensíveis quanto resistentes, é classificada como quantitativa e reversível (BRENT, 1995). A primeira é controlada por poucos genes de efeito acentuado (oligogênica). Para muitos fungicidas, uma mutação num único gene é suficiente para que um alto grau de resistência seja adquirido, independentemente do

fungo em questão (BRENT & HOLLOMON, 2007). Por outro lado, a resistência quantitativa é causada por muitos genes, sendo cada um responsável por um pequeno efeito (poligênica) (GEORGOPOULOS, 1995). No caso de herança poligênica, para ocorrer um alto grau de resistência, há a necessidade de mutações em muitos genes, sendo que cada um tem efeito aditivo (BRENT & HOLLOMON, 2007).

Nos últimos anos constatou-se a redução da eficiência dos fungicidas, que resultou em falha de controle da FAS, sendo isso confirmado pela detecção de mutações nos isolados de *P. pachyrhizi*. Ensaios realizados por Schmitz et al. (2014), revelaram que em testes com o fungicida tebuconazol, com mecanismo de ação IDM, cinco mutações diferentes nos isolados do fungo foram detectadas no gene *CYP51* (citocromo P-450), sendo elas F120L, Y131H/F, K142R, I145F e I475T. Posteriormente, para as estrobilurinas (IQe), Klosowski et al. (2016) investigaram a ocorrência de mutações no gene *CYTb* (citocromo-b), sendo que 100% dos isolados provenientes do Mato Grosso e Goiás apresentaram a mutação F129L, conferindo redução de sensibilidade do fungo à azoxistrobina. Para o grupo químico carboxamida (ISDH), isolados do fungo apresentaram a mutação I86F na subunidade C do gene *SDH* (succinato desidrogenase) (KLAPPACH, 2017), afetando a sensibilidade do fungo ao químico benzovindiflupir.

O objetivo deste trabalho foi verificar a concentração efetiva de fungicidas que controla 50% ( $CE_{50}$ ) do número de urédias em folíolos de soja, causadas por isolados de *Phakopsora pachyrhizi* oriundos de diferentes locais.

### **3.3 Material e Métodos**

Os ensaios foram realizados em casa-de-vegetação e no Laboratório de Fitopatologia da Universidade de Passo Fundo durante os anos de 2017 e 2018. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições, sendo cada uma representada por um folíolo de soja. Para isso, sementes de soja da cultivar BMX Lança foram semeadas em vasos de 2000 mL, contendo substrato esterilizado, em casa-de-vegetação. As plantas receberam somente água durante seu desenvolvimento.

Amostras de folíolos de soja com sintomas de ferrugem-asiática de diferentes locais (Tabela 1, Figura 2) foram recebidas no Laboratório de Fitopatologia. Os isolados obtidos foram provenientes de lavouras comerciais ou de áreas experimentais em que foram realizadas aplicações de fungicidas. Os folíolos foram coletados de plantas de soja em fase reprodutiva.

Tabela 1 – Isolados de *Phakopsora pachyrhizi* utilizados no teste de concentração efetiva para o controle de 50% número de urédias de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja destacados. Passo Fundo-UPF, 2019

Isolado	Cidade/Estado	Responsável pela coleta	Ano
1	Passo Fundo/RS	Amanda Chechi	2018
2	Panambi/RS	Carlos Alberto Forcelini	2017
3	Tupanciretã/RS	Carlos Alberto Forcelini	2017
4	Condor/RS	Carlos Alberto Forcelini	2017
5	Ibirubá/RS	Amanda Chechi	2018
6	Sertão/RS	Amanda Chechi	2017
7	Ipiranga do Sul/RS	Amanda Chechi	2018
8	Caseiros/RS	Bruna Piton	2018
9	Nonoai/RS	Elias Zuchelli	2018
10	Campos Novos/SC	Amanda Chechi	2018
11	Itaberá/SP	Bianca de Moura	2017
12	São Gabriel/MS	Valéria C. Ghissi-Mazetti	2018

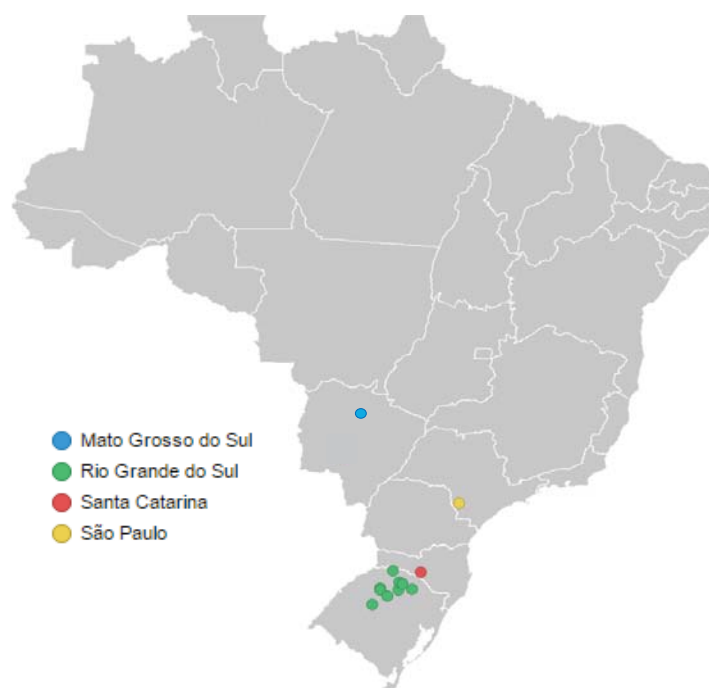


Figura 2 – Locais de origem dos isolados de *Phakopsora pachyrhizi* utilizados no teste de concentração efetiva para o controle de 50% número de urédias causadas pelo fungo em folíolos de soja destacados.

Para a multiplicação do inóculo e comprovação de patogenicidade dos isolados, foram preparadas suspensões de uredosporos, em que os folíolos com sintomas, oriundos dos diferentes locais, foram depositados separadamente em Erlenmeyers de 500 mL juntamente com 200 mL de água destilada e uma gota de espalhante Tween20<sup>®</sup>. Após agitação, as suspensões foram filtradas e retirou-se uma alíquota de 10,0 µL de cada uma delas, as quais foram visualizadas em hemacitômetro, em microscópio ótico. Foi realizada a contagem dos esporos em triplicata e as concentrações foram ajustadas para  $5 \times 10^4$  uredosporos mL<sup>-1</sup>.

Com o auxílio de um borrifador manual de 500 mL, plantas saudas de soja crescidas em casa de vegetação (estádio V5-V6), foram devidamente identificadas, inoculadas com os devidos isolados e cobertas com sacos plásticos pretos durante 36 h em temperatura de 23°C para estimular a germinação dos esporos. Em seguida, elas foram colocadas em caixas plásticas transparentes e alocadas em câmara de crescimento com fotoperíodo de 12 h, na mesma temperatura. Quando houve o aparecimento dos sintomas nas folhas e verificada que a esporulação estava ocorrendo, esses folíolos foram utilizados para o preparo das suspensões de uredosporos utilizadas nos experimentos.

Aos quarenta dias após a semeadura, folíolos saudáveis de plantas de soja, com tamanho próximo a 50 cm<sup>2</sup>, foram coletados com auxílio de tesoura de poda. A base de cada pecíolo dos folíolos foi imersa em um recipiente com água para manutenção da hidratação dos mesmos durante o transporte até o laboratório.

Os fungicidas (Tabela 2) foram testados nas concentrações de 0,0; 0,1; 1,0; 10,0 e 100,0 mg L<sup>-1</sup> de princípio ativo, mais uma testemunha composta apenas por água destilada. Os produtos foram dosados em copos plásticos de 400 mL, contendo 200 mL de água destilada, e os folíolos foram imersos durante cinco segundos nas respectivas soluções e deixados secar em temperatura ambiente. A metodologia utilizada para todos os ensaios foi a de folíolos destacados, descrita por Scherb & Mehl (2006) e adaptada por Chechi et al. (2018). Utilizaram-se caixas gerbox, nas quais foram montadas câmaras úmidas, formadas por uma unidade de espuma de polietileno do tamanho do gerbox (121 cm<sup>2</sup>) e duas folhas, do mesmo tamanho, de papel filtro. As câmaras foram umedecidas

com água destilada e os folíolos, após o tratamento com fungicida, foram depositados nelas com a face abaxial voltada para cima. Um pedaço de algodão foi adicionado ao pecíolo, o qual foi saturado com água destilada, a fim de manter a hidratação dos folíolos.

Tabela 2 - Ingrediente ativo, nome comercial, concentração, formulação e modo de ação dos fungicidas utilizados no teste de concentração efetiva para o controle de 50% do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja destacados. Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Nome comercial	Concentração (g ou mL L <sup>-1</sup> )	Formulação	Modo de ação
Azoxistrobina	Priori <sup>®</sup>	250	SC <sup>a</sup>	IQe <sup>1</sup>
Trifloxistrobina	Flint <sup>®</sup>	500	WG <sup>b</sup>	IQe
Protioconazol	Proline <sup>®</sup>	250	EC <sup>c</sup>	IDM <sup>2</sup>
Difenoconazol	Score <sup>®</sup>	250	EC	IDM
Fenpropimorfe	Versatilis <sup>®</sup>	750	EC	IDE <sup>3</sup>
Fluxapiroxade	-	250	SC	ISDH <sup>4</sup>
Mancozebe	Unizeb Gold <sup>®</sup>	750	WG	Multissítio
Clorotalonil	Bravonil <sup>®</sup>	500	SC	Multissítio
Oxicloreto de cobre	Difere <sup>®</sup>	588	PM <sup>d</sup>	Multissítio
Azoxistrobina + benzovindiflupir	Elatus <sup>®</sup>	300 + 150	WG	IQe + ISDH
Azoxistrobina + benzovindiflupir + difenoconazol	Elatus Trio <sup>®</sup>	180 + 90 + 225	WG	IQe + ISDH + IDM
Trifloxistrobina + protioconazol	Fox <sup>®</sup>	150 + 175	SC	IQe + IDM
Trifloxistrobina + bixafem + protioconazol	Fox Xpro <sup>®</sup>	150 + 175 + 125	SC	IQe + ISDH + IDM

<sup>a</sup> Suspensão concentrada; <sup>b</sup> Grânulos dispersíveis; <sup>c</sup> Concentrado emulsionável; <sup>d</sup> Pó molhável.

<sup>1</sup> Inibidor da quinona externa; <sup>2</sup> Inibidor da desmetilação de esteróis; <sup>3</sup> Inibidor da síntese de esteróis; <sup>4</sup> Inibidor da succinato desidrogenase.

Vinte e quatro horas após o tratamento fungicida, os folíolos foram inoculados com as devidas suspensões de uredosporos de *P. pachyrhizi* ( $5,0 \times 10^4$  uredosporos mL<sup>-1</sup>) de nove isolados obtidos no Rio Grande do Sul, um de Santa Catarina, um de São Paulo e um do Mato Grosso do Sul (Tabela 1), as quais foram preparadas separadamente. Foi utilizada a mesma metodologia descrita previamente, tanto para o preparo das suspensões como para a inoculação dos folíolos.

Para a germinação dos uredosporos, as caixas gerbox foram deixadas durante 24 h no escuro, com temperatura de 23°C. Após este período, elas foram dispostas em bancadas em câmara de crescimento, com fotoperíodo de 12 h, na mesma temperatura. A



cada dois dias, com uma pisseta, foi adicionada água destilada ao algodão adicionado ao pecíolo do folíolo, para a manutenção da umidade.

Após 20 dias incubados, foi realizada a contagem de urédias por  $\text{cm}^2$  em cada folíolo. Para isso, uma área de  $2,0 \text{ cm}^2$ , sendo  $1,0 \text{ cm}^2$  em cada metade da face abaxial dos folíolos foi avaliada em microscópio estereoscópico. Os dados foram expressos em porcentagem de controle em relação à testemunha, pela fórmula de Abbott (1925) e submetidos análise de regressão pelo modelo sigmoidal para o cálculo da  $\text{CE}_{50}$  e  $\text{CE}_{90}$  no software SigmaPlot. Foi determinado o fator de redução de sensibilidade de cada fungicida em relação à  $\text{CI}_{50}$  do isolado com maior sensibilidade à(s) molécula(s) fungicida(s) em questão (sensibilidade de referência).

### 3.4 Resultados e Discussão

Todos os isolados do fungo *P. pachyrhizi* testados apresentaram respostas positivas quanto à patogenicidade em plantas de soja, uma vez que os sintomas começaram a aparecer entre 8 e 12 dias após a inoculação com uredosporos dos diferentes isolados do fungo em plantas sadias. Foram observados diferentes valores de sensibilidade dos isolados de *P. pachyrhizi* aos fungicidas testados. Todas as regressões obtidas para o cálculo da  $\text{CE}_{50}$  mostraram-se significativas ( $p < 0,0042$ ).

Dentre os inibidores da desmetilação (Tabela 3, Figura 3), o fungicida prothioconazol apresentou diferenças de até 8,2 vezes na concentração efetiva para controle de 50% do número de urédias causadas pelos isolados de *P. pachyrhizi*. O isolado oriundo de Caseiros-RS apresentou o menor valor ( $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ ) para a  $\text{CE}_{50}$  enquanto o obtido em Itaberá-SP apresentou o maior ( $1,64 \text{ mg L}^{-1}$ ). Xavier et al. (2015) observaram valores de  $\text{CE}_{50}$  entre  $0,000001$  a  $0,39 \text{ mg L}^{-1}$  em em isolados oriundos de oito estados brasileiros. Juliatti et al. (2017) encontraram valores entre  $0,0001$  e  $3,16 \text{ mg L}^{-1}$  para isolados oriundos de Minas Gerais e do Mato Grosso do Sul. Em áreas cultivadas com soja no Brasil, Godoy et al. (2018) relataram redução de sensibilidade do fungo *P. pachyrhizi* a esse princípio ativo.

Para difenoconazol, os maiores valores de  $CE_{50}$  foram encontrados para o isolado de Sertão-RS (1,89 mg L<sup>-1</sup>), e os menores para Campos Novos-SC (0,74 mg L<sup>-1</sup>), com diferenças máximas de  $CE_{50}$  de 2,6 vezes entre isolados. Em geral, o fungicida protioconazol obteve  $CE_{50}$  abaixo de 1,0 mg L<sup>-1</sup> para nove dos doze isolados testados, enquanto que para difenoconazol, apenas três isolados apresentaram concentrações inferiores a 1,0 mg L<sup>-1</sup>.

Tabela 3 - Concentração efetiva de fungicidas isolados pertencentes ao mecanismo de ação dos inibidores da desmetilação para o controle de 50% ( $CE_{50}$ ) e 90% ( $CE_{90}$ ) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	$CE_{50}^{**}$ (mg L <sup>-1</sup> )	IC $CE_{50}$	$CE_{90}$ (mg L <sup>-1</sup> )	IC $CE_{90}$	FRS
Inibidores da desmetilação dos esteróis (IDM) – FRAC 3						
Protioconazol	Passo Fundo-RS	0,88	0,72-1,04	1,58	1,42-1,74	4,4
	Panambi-RS	0,76	0,52-1,00	1,38	1,14-1,62	3,8
	Tupaciretã-RS	1,03	0,92-1,14	1,86	1,75-1,97	5,2
	Condor-RS	0,68	0,51-0,85	1,22	1,05-1,39	3,4
	Ibirubá-RS	0,35	0,15-0,55	0,62	0,42-0,82	1,8
	Sertão-RS	0,93	0,75-1,11	1,67	1,49-1,85	4,7
	Ip. do Sul-RS	0,78	0,60-0,96	1,40	1,22-1,58	3,9
	Caseiros-RS*	0,20	0,01-0,41	0,36	0,15-0,57	-
	Nonoai-RS	0,43	0,24-0,62	0,77	0,58-0,96	2,2
	Campos Novos-SC	0,35	0,08-0,62	0,63	0,36-0,90	1,8
	Itaberá-SP	1,64	1,44-1,84	2,96	2,76-3,16	8,2
	São Gabriel-MS	1,11	0,88-1,34	2,00	1,77-2,23	5,6
Média		0,76	0,57-0,96	1,37	1,17-1,56	4,1
Difenoconazol	Passo Fundo-RS	1,52	1,32-1,72	2,73	2,53-1,93	2,1
	Panambi-RS	0,86	0,66-1,06	1,56	1,36-1,76	1,2
	Tupaciretã-RS	1,20	1,04-1,36	2,15	1,99-2,31	1,6
	Condor-RS	1,42	1,24-1,60	2,56	2,38-2,74	1,9
	Ibirubá-RS	1,23	1,13-1,33	2,21	2,11-2,31	1,7
	Sertão-RS	1,89	1,73-2,05	3,41	3,25-3,57	2,6
	Ip. do Sul-RS	1,21	1,09-1,33	2,17	2,05-2,29	1,6
	Caseiros-RS	0,99	0,80-1,18	1,78	1,59-1,97	1,3
	Nonoai-RS	1,14	1,05-1,23	2,05	1,96-2,14	1,5
	Campos Novos-SC*	0,74	0,53-0,95	1,34	1,13-1,55	-
	Itaberá-SP	1,72	1,44-2,00	3,09	2,81-3,37	2,3
	São Gabriel-MS	1,24	1,05-1,43	2,24	2,05-2,43	1,7
Média		1,26	1,09-1,44	2,27	2,10-2,45	1,8

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.

Quanto ao fungicida fenpropimorfe (Tabela 4, Figura 3), para o qual a  $CE_{50}$  foi determinada pela primeira vez neste estudo, os isolados que apresentaram maior e menor controle efetivo de 50% do número de urédias foram o de Ibirubá-RS (0,45 mg L<sup>-1</sup>) e

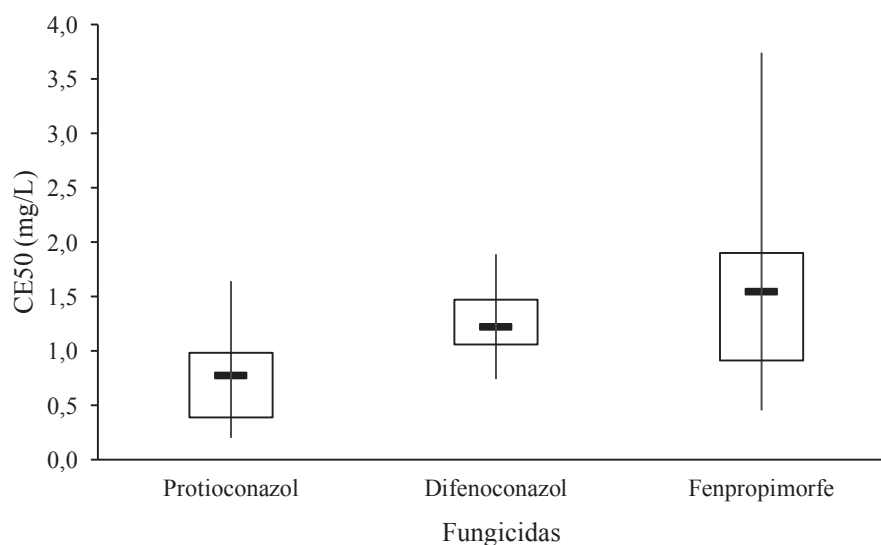
Ipiranga do Sul-RS (3,74 mg L<sup>-1</sup>). A diferença de CE<sub>50</sub> entre isolados foi de até 8,3 vezes, sendo que apenas três isolados apresentaram CE<sub>50</sub> abaixo de 1,0 mg L<sup>-1</sup>.

Tabela 4 - Concentração efetiva do fungicida pertencente ao mecanismo de ação dos inibidores da síntese de esterol para o controle de 50% (CE<sub>50</sub>) e 90% (CE<sub>90</sub>) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) mínimos e máximos e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	CE <sub>50</sub> ** (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>50</sub>	CE <sub>90</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>90</sub>	FRS
Inibidor da síntese de esterol (IDE) - FRAC 5						
Fenpropimorfe	Passo Fundo-RS	1,92	1,70-2,14	3,46	3,24-3,68	4,3
	Panambi-RS	1,11	0,91-1,31	2,01	1,81-2,21	2,5
	Tupaciretã-RS	1,03	0,86-1,20	1,85	1,68-2,02	2,3
	Condor-RS	1,89	1,73-2,05	3,40	3,24-3,56	4,2
	Ibirubá-RS*	0,45	0,31-0,59	0,80	0,66-0,94	-
	Sertão-RS	2,24	2,10-2,38	4,04	3,90-4,18	4,9
	Ip. do Sul-RS	3,74	3,48-4,00	6,73	6,47-6,99	8,3
	Caseiros-RS	1,61	1,361,86	2,91	2,66-3,16	3,6
	Nonoai-RS	0,72	0,50-0,94	1,30	1,08-1,52	1,6
	Campos Novos-SC	1,66	1,47-1,85	2,99	2,80-3,18	3,7
	Itaberá-SP	1,47	1,25-1,69	2,64	2,42-2,86	3,3
	São Gabriel-MS	0,79	0,60-0,98	1,41	1,22-1,60	1,7
Média		1,55	1,35-1,75	2,79	2,59-2,99	3,7

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.



Legenda: Os extremos das linhas verticais indicam os valores mínimos e máximos para a CE<sub>50</sub> encontrados na população de isolados; as extremidades inferior e superior dos quadrados indicam os valores dos quartis 1 e 3, e os traços centrais indicam a mediana.

Figura 3 – Box-plot representando a variação entre os valores de concentração efetiva dos fungicidas inibidores da desmetilação (protioconazol e difenoconazol) e da síntese (fenpropimorfe) de esteróis que controla 50% do número de urédias em folíolos de soja (CE<sub>50</sub>), causadas por isolados de *Phakopsora pachyrhizi* oriundos de diferentes locais.

Quanto aos fungicidas pertencentes ao mecanismo de ação dos inibidores da quinona externa (Tabela 5, Figura 4), os isolados apresentaram diferenças de até 13,6 vezes para azoxistrobina, enquanto que para trifloxistrobina houve diferenças na magnitude de 21,0 vezes. No entanto, o fungicida trifloxistrobina mostrou-se, no geral, mais efetivo no controle da doença, uma vez que todos os isolados apresentaram  $CE_{50}$  abaixo de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ , com valores variando entre  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$  (Campos Novos-SC) e  $0,63 \text{ mg L}^{-1}$  (Condor-RS). Blum (2009) verificou que um isolado sensível à trifloxistrobina, oriundo de Passo Fundo-RS, apresentou  $CE_{50}$  variando entre 0,09 e  $0,13 \text{ mg L}^{-1}$ . Juliatti et al. (2017) encontraram concentrações menores do que  $0,007 \text{ mg L}^{-1}$  para isolados obtidos de Uberlândia-MG e Chapadão do Sul-MS.

Tabela 5 - Concentração efetiva dos fungicidas pertencentes ao mecanismo de ação dos inibidores da quinona externa para o controle de 50% ( $CE_{50}$ ) e 90% ( $CE_{90}$ ) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) mínimos e máximos e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	$CE_{50}$ ** ( $\text{mg L}^{-1}$ )	IC $CE_{50}$	$CE_{90}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	IC $CE_{90}$	FRS
<b>Inibidores da quinona externa (IQE) - FRAC 11</b>						
Azoxistrobina	Passo Fundo-RS	1,44	1,25-1,63	2,59	2,40-2,78	2,9
	Panambi-RS*	0,49	0,34-0,64	0,88	0,73-1,03	-
	Tupaciretã-RS	2,22	1,97-2,47	3,99	3,74-4,24	4,5
	Condor-RS	1,05	0,77-1,33	1,89	1,61-2,17	2,1
	Ibirubá-RS	0,86	0,51-1,21	1,54	1,19-1,89	1,8
	Sertão-RS	6,66	6,50-6,82	11,99	11,8-12,2	13,6
	Ip. do Sul-RS	0,77	0,41-1,13	1,39	1,03-1,75	1,6
	Caseiros-RS	1,24	1,05-1,43	2,22	2,03-2,41	2,5
	Nonoai-RS	2,26	2,11-2,41	4,07	3,92-4,22	4,6
	Campos Novos-SC	1,13	0,89-1,37	2,04	1,80-2,28	2,3
	Itaberá-SP	1,85	1,69-2,01	3,33	3,17-3,49	3,8
	São Gabriel-MS	1,14	0,87-1,41	2,06	1,79-2,33	2,3
<b>Média</b>		<b>1,76</b>	<b>1,53-1,99</b>	<b>3,17</b>	<b>2,94-3,39</b>	<b>3,8</b>
Trifloxistrobina	Passo Fundo-RS	0,35	0,26-0,44	0,64	0,55-0,73	11,7
	Panambi-RS	0,05	0,006-0,16	0,10	0,01-0,21	1,7
	Tupaciretã-RS	0,63	0,47-0,79	1,13	0,97-1,29	21,0
	Condor-RS	0,24	0,08-0,40	0,44	0,28-0,60	8,0
	Ibirubá-RS	0,06	0,01-0,23	0,11	0,06-0,28	2,0
	Sertão-RS	0,28	0,12-0,44	0,50	0,34-0,66	9,3
	Ip. do Sul-RS	0,15	0,05-0,35	0,26	0,06-0,46	5,0
	Caseiros-RS	0,08	0,03-0,19	0,14	0,03-0,25	2,7
	Nonoai-RS	0,09	0,02-0,20	0,16	0,05-0,27	3,0
	Campos Novos-SC*	0,03	0,007-0,13	0,05	0,005-0,15	-
	Itaberá-SP	0,29	0,02-0,56	0,52	0,25-0,79	9,7
	São Gabriel-MS	0,49	0,36-0,62	0,89	0,76-1,02	16,3
<b>Média</b>		<b>0,23</b>	<b>0,12-0,37</b>	<b>0,41</b>	<b>0,26-0,56</b>	<b>8,2</b>

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.

Os valores de  $CE_{50}$  para azoxistrobina variaram entre 0,49 mg L<sup>-1</sup> (Panambi-RS) e 6,66 mg L<sup>-1</sup> (Sertão-RS). Juliatti (2013), testando a  $CI_{50}$  de azoxistrobina *in vitro*, verificou que a concentração do fungicida que inibiu a germinação de esporos variou entre 0,1 até 1,0 mg L<sup>-1</sup>. Valores abaixo de 0,1 mg L<sup>-1</sup> foram encontrados apenas para três isolados (Ipiranga do Sul-RS, Ibirubá-RS e Panambi-RS) neste estudo. Blum (2009) verificou que o isolado sensível do fungo causador da FAS, oriundo de Passo Fundo-RS, apresentou  $CE_{50}$  variando entre 0,07 e 0,15 mg L<sup>-1</sup> para a azoxistrobina. Schmitz et al. (2014) encontraram variações de  $CE_{50}$  de 0,14 até 2,47 mg L<sup>-1</sup> para o mesmo ingrediente ativo.

Juliatti et al. (2017) observaram que isolados sensíveis à azoxistrobina apresentaram valores de  $CI_{50}$  menores que 5,0 mg L<sup>-1</sup>. Neste trabalho, todos os valores de  $CE_{50}$ , em relação à mesma molécula, ficaram abaixo de 5,0 mg L<sup>-1</sup>, exceto para o isolado de Sertão-RS. Isso indicou uma redução de sensibilidade do isolado fungo ao princípio ativo, o que pode ter sido causado por mutações pontuais no citocromo-b na mitocôndria do fungo, como a substituição de uma leucina por fenilalanina no códon 129 (F129L), a qual já foi relatada a em isolados *P. pachyrhizi* oriundos de áreas de soja no Brasil (KLOSOWSKI et al. 2016). Fatores como a respiração alternativa ou desvio do ativo da rota metabólica também podem ocorrer e já foram descritos para outros patógenos (WOOD & HOLLOMON, 2003; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2008).

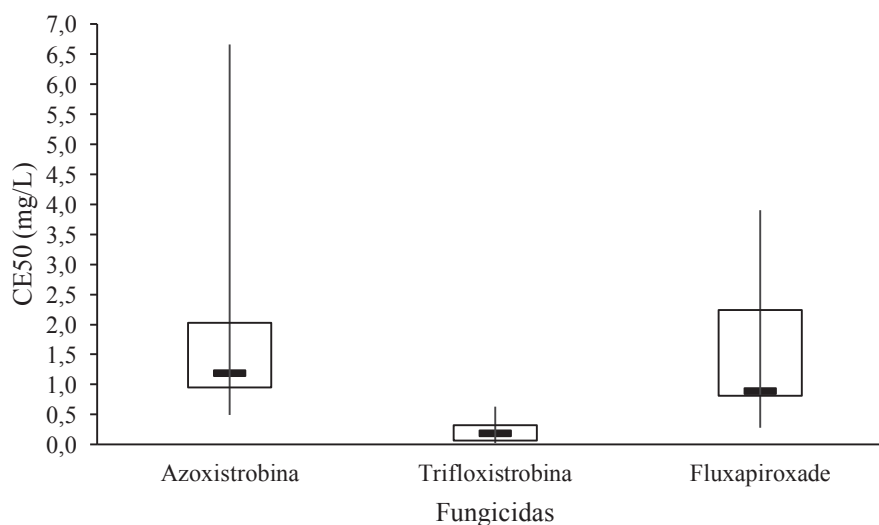
O único fungicida com mecanismo de ação dos inibidores da succinato desidrogenase testado isoladamente foi o fluxapirroxade (Tabela 6, Figura 4). Valores de  $CE_{50}$  variando entre 0,28 mg L<sup>-1</sup> (Ibirubá-RS) e 3,90 mg L<sup>-1</sup> (Condor-RS) foram encontrados, com diferenças de até 13,9 vezes na concentração do ativo, sendo que sete isolados apresentaram valores de  $CE_{50}$  inferiores a 1,0 mg L<sup>-1</sup>. Juliatti et al. (2017) encontrou resultados de  $CE_{50}$  entre 0,05 e 0,35 mg L<sup>-1</sup> para o mesmo fungicida em isolados de *P. pachyrhizi* oriundos de Uberlândia e Chapadão do Sul, respectivamente.

Tabela 6 - Concentração efetiva do fungicida pertencente ao mecanismo de ação dos inibidores da succinato desidrogenase para o controle de 50% ( $CE_{50}$ ) e 90% ( $CE_{90}$ ) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) mínimos e máximos e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	$CE_{50}$ ** (mg L <sup>-1</sup> )	IC $CE_{50}$	$CE_{90}$ (mg L <sup>-1</sup> )	IC $CE_{90}$	FRS
Inibidores de succinato desidrogenase (ISDH) – FRAC 7						
Fluxapiroxade	Passo Fundo-RS	1,93	1,77-2,09	3,48	3,32-3,64	6,9
	Panambi-RS	3,45	3,26-3,64	6,21	6,02-6,40	12,3
	Tupaciretã-RS	0,86	0,62-1,10	1,54	1,30-1,78	3,1
	Condor-RS	3,90	3,73-4,07	7,01	6,84-7,18	13,9
	Ibirubá-RS*	0,28	0,15-0,41	0,50	0,37-0,63	-
	Sertão-RS	0,77	0,49-1,05	1,39	1,11-1,67	2,8
	Ip. do Sul-RS	1,80	1,57-2,03	3,24	3,01-3,47	6,4
	Caseiros-RS	0,91	0,76-1,06	1,64	1,49-1,79	3,3
	Nonoai-RS	0,88	0,65-1,11	1,59	1,36-1,82	3,1
	Campos Novos-SC	0,86	0,63-1,09	1,55	1,32-1,78	3,1
	Itaberá-SP	0,38	0,09-0,67	0,69	0,40-0,98	1,4
	São Gabriel-MS	2,56	2,37-2,75	4,61	4,42-4,80	9,1
	Média		1,55	1,36-1,75	2,78	2,58-2,99

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.



Legenda: Os extremos das linhas verticais indicam os valores mínimos e máximos para a  $CE_{50}$  encontrados na população de isolados; as extremidades inferior e superior dos quadrados indicam os valores dos quartis 1 e 3, e os traços centrais indicam a mediana.

Figura 4 – Box-plot representando a variação entre os valores de concentração efetiva dos fungicidas inibidores da quinona externa (azoxistrobina e trifloxistrobina) e da succinato desidrogenase (fluxapiroxade) que controla 50% do número de urédias em folíolos de soja ( $CE_{50}$ ), causadas por isolados de *Phakopsora pachyrhizi* oriundos de diferentes locais.

Para a mistura de trifloxistrobina + protioconazol (Tabela 7, Figura 5) foram observados valores mínimos para  $CE_{50}$  de  $0,39 \text{ mg L}^{-1}$  (Campos Novos-SC) e máximos de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  (Itaberá-SP) (Tabela 7). O fator de resistência entre isolados foi de 2,7 vezes. Moura et al., (2016), verificaram, em teste de germinação de esporos, valores de  $CI_{50}$  de  $0,29 \text{ mg L}^{-1}$  (Passo Fundo-RS),  $0,27 \text{ mg L}^{-1}$  (Ponta Grossa-PR) e  $0,37 \text{ mg L}^{-1}$  (Primavera do Leste-PR) para a mesma mistura de fungicidas. Quando utilizada a mistura tripla de trifloxistrobina + bixafem + protioconazol (Tabela 8, Figura 5), os valores de  $CE_{50}$ , em média, foram menores quando comparados com os obtidos com a mistura fungicida anterior, variando entre  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  (Nonoai-RS) e  $0,53 \text{ mg L}^{-1}$  (Itaberá-RS), mostrando maior eficácia no controle da doença. Moura (2018) ao verificar a  $CI_{50}$  de isolados de *P. pachyrhizi* para a mesma mistura tripla de fungicidas encontrou valores entre  $0,12$  e  $1,9 \text{ mg L}^{-1}$ .

Para o fungicida composto por azoxistrobina + benzovindiflupir (Tabela 7, Figura 5), os valores de  $CE_{50}$  variaram de  $0,31 \text{ mg L}^{-1}$  (Ibirubá-RS) até  $1,28 \text{ mg L}^{-1}$  (Sertão-RS), sendo que este último isolado foi relatado previamente neste estudo apresentando redução de sensibilidade à azoxistrobina. A diferença máxima para a  $CE_{50}$  foi de 4,1 vezes entre os isolados. Moura et al. (2016) verificaram variações de  $CI_{50}$  entre  $0,16 \text{ mg L}^{-1}$  e  $1,39 \text{ mg L}^{-1}$  para três diferentes isolados de *P. pachyrhizi* para o mesmo composto. A mistura tripla de azoxistrobina + benzovindiflupir + difenoconazol (Tabela 8, Figura 5) apresentou, em média, menores valores de  $CE_{50}$  entre os isolados quando comparada com a mistura anterior, variando de  $0,11 \text{ mg L}^{-1}$  (Campos Novos-SC) até  $0,61 \text{ mg L}^{-1}$  (Tupanciretã-RS) (Tabela 8).

A redução de sensibilidade de diversos fungos para a azoxistrobina foi relatada desde o ano de seu lançamento comercial (SIEROTZKI et al., 2000). Todavia, apenas no ano de 2016 foi relatado o primeiro caso da ocorrência da mutação F129L no citocromo b (gene *CYTB*) da mitocôndria de isolados de *P. pachyrhizi* (KLOSOWSKI et al., 2016), associada a redução da sensibilidade do fungo à molécula. Quanto ao benzovindiflupir, na safra de soja 2016/17, foram detectados casos de redução no desempenho do produto a campo no Brasil, sendo detectada uma mutação na posição 86 da subunidade C do gene *SDH* (succinato desidrogenase) da mitocôndria, sendo substituída uma isoleucina por

fenilalanina (I86F) (KLAPPACH, 2017).

Tabela 7 - Concentração efetiva de misturas duplas de fungicidas para o controle de 50% (CE<sub>50</sub>) e 90% (CE<sub>90</sub>) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) mínimos e máximos e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	CE <sub>50</sub> <sup>**</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>50</sub>	CE <sub>90</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>90</sub>	FRS
<b>Iqe + IDM (FRAC 11+3)</b>						
Trifloxistrobina	Passo Fundo-RS	0,81	0,62-1,00	1,46	1,27-1,65	2,1
+ Protiocoazol	Panambi-RS	0,76	0,53-0,99	1,37	1,14-1,60	1,9
	Tupaciretã-RS	0,78	0,63-0,93	1,40	1,25-1,55	2,0
	Condor-RS	0,69	0,50-0,88	1,24	1,05-1,44	1,8
	Ibirubá-RS	0,47	0,19-0,75	0,85	0,56-1,13	1,2
	Sertão-RS	0,91	0,79-1,03	1,64	1,52-1,76	2,3
	Ip. do Sul-RS	0,53	0,39-0,67	0,95	0,81-1,10	1,4
	Caseiros-RS	0,44	0,20-0,68	0,79	0,55-1,03	1,1
	Nonoai-RS	0,73	0,56-0,90	1,31	1,15-1,48	1,9
	Campos Novos-SC*	0,39	0,21-0,57	0,70	0,52-0,88	-
	Itaberá-SP	1,07	0,94-1,20	1,93	1,79-2,06	2,7
	São Gabriel-MS	0,99	0,85-1,13	1,78	1,64-1,93	2,5
Média		0,71	0,53-0,89	1,28	1,10-1,47	1,9
<b>Iqe + ISDH (FRAC 7+11)</b>						
Azoxistrobina +	Passo Fundo-RS	0,95	0,77-1,13	1,71	1,53-1,89	3,1
Benzovindiflupir	Panambi-RS	0,56	0,24-0,88	1,01	0,69-1,33	1,8
	Tupaciretã-RS	0,98	0,81-1,15	1,76	1,60-1,93	3,2
	Condor-RS	0,84	0,66-1,02	1,51	1,33-1,70	2,7
	Ibirubá-RS*	0,31	0,22-0,40	0,56	0,47-0,64	-
	Sertão-RS	1,28	1,10-1,46	2,30	2,12-2,48	4,1
	Ip. do Sul-RS	0,43	0,23-0,63	0,77	0,57-0,98	1,4
	Caseiros-RS	0,36	0,10-0,62	0,65	0,39-0,91	1,2
	Nonoai-RS	0,47	0,25-0,69	0,85	0,63-1,06	1,5
	Campos Novos-SC	0,40	0,27-0,53	0,72	0,59-0,85	1,3
	Itaberá-SP	0,99	0,86-1,12	1,78	1,65-1,92	3,2
	São Gabriel-MS	0,65	0,48-0,82	1,17	1,00-1,34	2,1
Média		0,68	0,50-0,87	1,23	1,04-1,42	2,3

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.

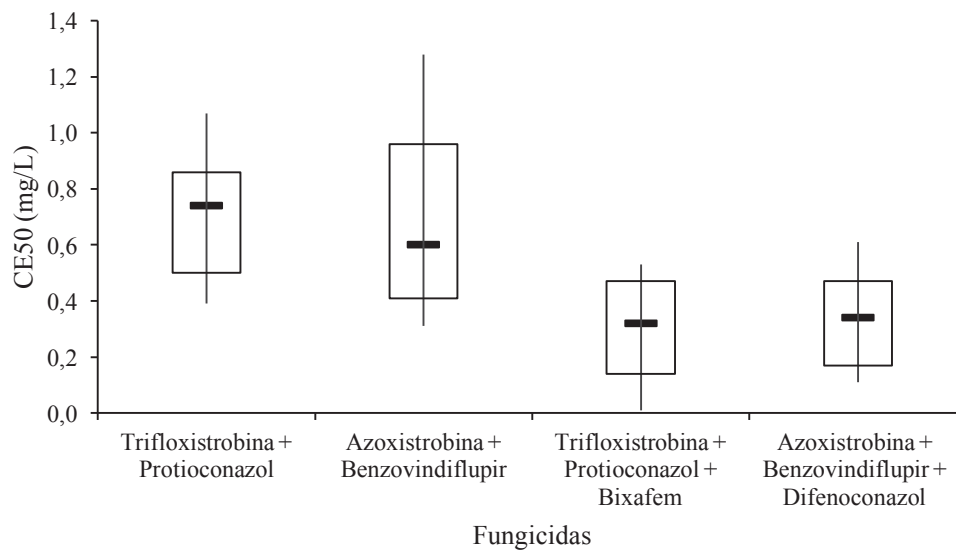


Tabela 8 - Concentração efetiva de misturas triplas de fungicidas para o controle de 50% (CE<sub>50</sub>) e 90% (CE<sub>90</sub>) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) mínimos e máximos e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	CE <sub>50</sub> <sup>**</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>50</sub>	CE <sub>90</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>90</sub>	FRS
IQe + ISDH + IDM (FRAC 11+7+3)						
Trifloxistrobina +	Passo Fundo-RS	0,50	0,34-0,66	0,90	0,74-1,06	50
Bixafem +	Panambi-RS	0,44	0,30-0,58	0,79	0,65-0,93	44
Protioconazol	Tupaciretã-RS	0,42	0,24-0,60	0,76	0,58-0,94	42
	Condor-RS	0,33	0,12-0,54	0,59	0,38-0,80	33
	Ibirubá-RS	0,25	0,10-0,40	0,45	0,30-0,60	25
	Sertão-RS	0,51	0,39-0,63	0,92	0,80-1,04	51
	Ip. do Sul-RS	0,24	0,04-0,44	0,43	0,23-0,63	24
	Caseiros-RS	0,02	0,005-0,18	0,04	0,01-0,20	2,0
	Nonoai-RS*	0,01	0,002-0,20	0,02	0,005-0,21	-
	Campos Novos-SC	0,05	0,007-0,17	0,09	0,01-0,21	5,0
	Itaberá-SP	0,53	0,35-0,71	0,95	0,77-1,13	53
	São Gabriel-MS	0,31	0,12-0,50	0,56	0,37-0,75	31
Média		0,30	0,17-0,46	0,54	0,40-0,71	32,7
Azoxistrobina +	Passo Fundo-RS	0,51	0,37-0,65	0,92	0,78-1,06	4,6
Benzovindiflupir+	Panambi-RS	0,34	0,19-0,49	0,61	0,46-0,76	3,1
Difenoconazol	Tupaciretã-RS	0,61	0,52-0,70	1,10	1,01-1,19	5,5
	Condor-RS	0,33	0,14-0,52	0,59	0,40-0,78	3,0
	Ibirubá-RS	0,16	0,008-0,40	0,29	0,01-0,53	1,5
	Sertão-RS	0,55	0,39-0,71	0,99	0,83-1,15	5,0
	Ip. do Sul-RS	0,39	0,14-0,64	0,70	0,45-0,95	3,5
	Caseiros-RS	0,15	0,005-0,35	0,27	0,05-0,47	1,4
	Nonoai-RS	0,34	0,10-0,58	0,61	0,37-0,85	3,1
	Campos Novos-SC*	0,11	0,01-0,35	0,20	0,01-0,44	-
	Itaberá-SP	0,43	0,22-0,64	0,77	0,56-0,98	3,9
	São Gabriel-MS	0,19	0,03-0,35	0,34	0,18-0,50	1,7
Média		0,34	0,18-0,53	0,61	0,42-0,80	3,3

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.



Legenda: Os extremos das linhas verticais indicam os valores mínimos e máximos para a  $CE_{50}$  encontrados na população de isolados; as extremidades inferior e superior dos quadrados indicam os valores dos quartis 1 e 3, e os traços centrais indicam a mediana.

Figura 5 – Box-plot representando a variação entre os valores de concentração efetiva para as misturas de fungicidas que controla 50% do número de urédias em folíolos de soja ( $CE_{50}$ ), causadas por isolados de *Phakopsora pachyrhizi* oriundos de diferentes locais.

Os fungicidas considerados multissítios protetores apresentaram valores de  $CE_{50}$  maiores do que os de sítio-específico testados neste estudo (Tabela 9, Figura 6). Para o ativo mancozebe os valores variaram entre  $11,7 \text{ mg L}^{-1}$  (Nonoai-RS) e  $30,3 \text{ mg L}^{-1}$  (Sertão-RS) (concentração 2,6 vezes maior). O isolado de Nonoai-RS apresentou a maior sensibilidade ao ativo clorotalonil ( $8,7 \text{ mg L}^{-1}$ ) e a menor foi encontrada para o oriundo de Sertão ( $21,9 \text{ mg L}^{-1}$ ), sendo essa concentração 2,5 vezes maior.

Tabela 9 - Concentração efetiva de fungicidas multissítio para o controle de 50% (CE<sub>50</sub>) e 90% (CE<sub>90</sub>) do número de urédias causadas por diferentes isolados de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja, intervalos de confiança (IC) mínimos e máximos e fator de redução de sensibilidade (FRS). Passo Fundo-UPF, 2019

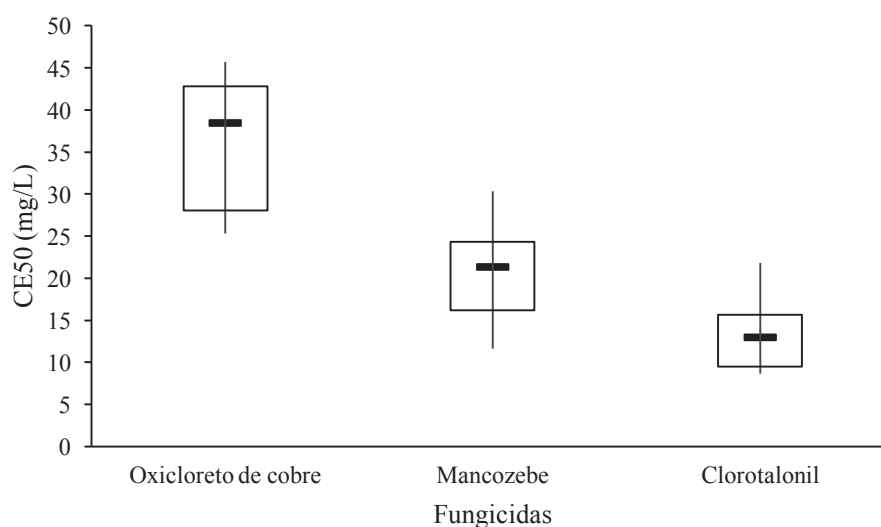
Ingrediente ativo	Isolado (Cidade/Estado)	CE <sub>50</sub> ** (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>50</sub>	CE <sub>90</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	IC CE <sub>90</sub>	FRS
<b>Inorgânico (FRAC M1)</b>						
Oxicloreto de cobre	Passo Fundo-RS	44,7	43,7-45,6	80,4	79,4-81,3	1,8
	Panambi-RS	36,0	34,9-37,1	64,7	63,6-65,8	1,4
	Tupaciretã-RS	44,7	43,1-46,3	80,4	78,8-82,0	1,8
	Condor-RS	40,9	39,7-42,1	73,6	72,4-74,9	1,6
	Ibirubá-RS	45,8	44,6-46,9	82,4	81,2-83,5	1,8
	Sertão-RS	28,9	27,8-30,1	52,1	51,0-53,2	1,1
	Ip. do Sul-RS	39,5	37,5-41,5	71,2	69,2-73,1	1,6
	Caseiros-RS	26,2	25,1-27,2	47,1	46,0-48,2	1,0
	Nonoai-RS	38,7	37,0-40,4	69,7	68,0-71,3	1,5
	Campos Novos-SC*	25,3	24,1-26,6	45,6	44,4-46,8	-
	Itaberá-SP	38,1	37,0-39,1	68,5	67,5-69,6	1,5
São Gabriel-MS	27,1	26,1-27,2	48,8	47,8-49,9	1,1	
Média		36,3	35,1-37,6	65,4	64,1-66,6	1,5
<b>Ditiocarbamato (FRAC M3)</b>						
Mancozebe	Passo Fundo-RS	21,7	20,7-22,7	39,1	38,1-40,1	1,9
	Panambi-RS	20,8	19,6-22,1	37,5	36,3-38,7	1,8
	Tupaciretã-RS	26,6	24,9-28,4	47,9	46,2-49,7	2,3
	Condor-RS	22,9	21,7-24,1	41,2	40,0-42,4	2,0
	Ibirubá-RS	11,8	10,4-13,1	21,2	19,8-22,5	1,0
	Sertão-RS	30,3	29,1-31,6	54,6	53,3-55,9	2,6
	Ip. do Sul-RS	21,4	20,1-22,6	38,5	37,2-39,7	1,8
	Caseiros-RS	25,8	24,7-26,8	46,4	45,4-47,4	2,2
	Nonoai-RS*	11,7	10,4-12,9	21,0	19,8-22,2	-
	Campos Novos-SC	14,0	12,6-15,4	25,2	23,8-26,6	1,2
	Itaberá-SP	18,5	17,2-19,8	33,2	32,0-34,5	1,6
São Gabriel-MS	21,2	20,0-22,3	38,1	36,9-39,2	1,8	
Média		20,6	19,3-21,8	37,0	35,7-38,2	1,8
<b>Isoftalonitrila (FRAC M5)</b>						
Clorotalonil	Passo Fundo-RS	13,5	12,4-14,5	24,2	23,2-25,3	1,5
	Panambi-RS	9,5	8,5-10,4	17,0	16,0-18,0	1,1
	Tupaciretã-RS	15,9	14,8-16,9	28,5	27,5-29,5	1,8
	Condor-RS	9,3	8,4-10,1	16,7	15,9-17,5	1,1
	Ibirubá-RS	14,6	13,3-15,8	26,2	25,0-27,4	1,7
	Sertão-RS	21,9	20,9-22,8	39,3	38,4-40,3	2,5
	Ip. do Sul-RS	12,4	11,4-13,3	22,3	21,3-23,2	1,4
	Caseiros-RS	9,6	8,4-10,8	17,4	16,1-18,6	1,1
	Nonoai-RS*	8,7	7,7-9,6	15,6	14,7-16,6	-
	Campos Novos-SC	20,5	19,1-21,8	36,8	35,5-38,2	2,4
	Itaberá-SP	10,1	9,3-10,9	18,2	17,4-19,0	1,2
São Gabriel-MS	15,5	14,5-16,6	28,0	26,9-29,0	1,8	
Média		13,5	12,4-14,5	24,2	23,2-25,2	1,6

\*Sensibilidade de referência neste estudo.

\*\*Valores obtidos através de regressão do SigmaPlot com intervalo de confiança de 95%.

Os maiores valores de CE<sub>50</sub> foram encontrados para o fungicida oxicloreto de

cobre, os quais variaram entre 25,3 mg L<sup>-1</sup> (Campos Novos-SC) e 44,7 mg L<sup>-1</sup> (Tupanciretã-RS), com variação na concentração efetiva (50%) de até 1,8 vezes entre isolados. Juliatti et al. (2017) encontraram os valores de 19,88 e 22,78 mg L<sup>-1</sup> para mancozebe, 1,97 e 23,74 mg L<sup>-1</sup> para clorotalonil e 2,93 e 69,31 mg L<sup>-1</sup> para oxiclreto de cobre, em teste de folíolos de soja destacados com dois isolados de *P. pachyrhizi*.



Legenda: Os extremos das linhas verticais indicam os valores mínimos e máximos para a CE<sub>50</sub> encontrados na população de isolados; as extremidades inferior e superior dos quadrados indicam os valores dos quartis 1 e 3, e os traços centrais indicam a mediana.

Figura 6 – Box-plot representando a variação entre os valores de concentração efetiva dos fungicidas multissítios que controla 50% do número de urédias em folíolos de soja (CE<sub>50</sub>), causadas por isolados de *Phakopsora pachyrhizi* oriundos de diferentes locais.

Conforme o que foi proposto por Edgington et al. (1971), definindo critérios para enquadrar uma substância fungicida com relação à sua fungitoxicidade *in vivo*, os fungicidas protioconazol, trifloxistrobina, fluxapirroxade, protioconazol + trifloxistrobina, protioconazol + bixafem + trifloxistrobina, azoxistrobina + benzovindiflupir e difenoconazol + azoxistrobina + benzovindiflupir seriam enquadrados como substâncias altamente fungitóxicas, por apresentarem CE<sub>50</sub>, para a maioria dos isolados testados, menor do que 1,0 mg L<sup>-1</sup>. Segundo o mesmo critério, difenoconazol, azoxistrobina e fenpropimorfe seriam considerados medianamente fungitóxicos (CE<sub>50</sub> entre 1 e 10 mg L<sup>-1</sup>) (Tabela 10). Os multissítios mancozebe, clorotalonil e oxiclreto de cobre apresentaram respostas medianamente a pouco tóxicas ao fungo, por isso a necessidade

do uso de maiores doses destes produtos para o controle de *P. pachyrhizi*.

Tabela 10 – Classificação da concentração efetiva dos fungicidas testados neste estudo para o controle de 50% (CE<sub>50</sub>) do número de urédias em folíolos de soja causados por doze isolados de *P. pachyrhizi* oriundos de diferentes locais, de acordo com Edgington et al., 1971. Passo Fundo-UPF, 2019

Altamente fungitóxicos CE <sub>50</sub> < 1 mg L <sup>-1</sup>	Medianamente fungitóxicos CE <sub>50</sub> entre 1 e 10 mg L <sup>-1</sup>	Pouco fungitóxicos CE <sub>50</sub> entre 10 e 50 mg L <sup>-1</sup>
Protioconazol (9 isolados)	Difenoconazol (9 isolados)	Mancozebe (12 isolados)
Trifloxistrobina (12 isolados)	Azoxistrobina (9 isolados)	Clorotalonil (8 isolados)
Fluxapiroxade (7 isolados)	Fenpropimorfe (9 isolados)	Oxicloreto de cobre (12 isolados)
Trifloxistrobina + protioconazol (11 isolados)		
Trifloxistrobina + bixafem + protioconazol (12 isolados)		
Azoxistrobina + benzovindiflupir (11 isolados)		
Azoxistrobina + benzovindiflupir + difenoconazol (12 isolados)		

O desenvolvimento de resistência em fungos fitopatogênicos tem maior impacto quando da utilização repetida de fungicidas sítio-específico. Nesse contexto, a aplicação de misturas de fungicidas de grupos químicos diferentes constitui uma estratégia fundamental no manejo da resistência (SIEROTZKI & SCALLIET, 2013). Estudos mostraram que as misturas de fungicidas retardaram a evolução da resistência de fungos aos ingredientes ativos (BRENT & HOLLomon 2007; VAN DEN BOSCH et al., 2014). Os multissítios (por exemplo: mancozebe, clorotalonil e oxicloreto de cobre), são fungicidas que apresentam riscos mínimos de redução de sensibilidade dos fungos a eles, e devem ser utilizados em misturas com fungicidas de sítio-específico, constituindo uma estratégia antirresistência (HOLLomon, 2015). Essas estratégias para manejar a evolução da resistência não devem apenas reduzir a população dos fenótipos resistentes em relação aos sensíveis, mas também, os níveis gerais de controle de doenças (HOLLomon et al., 2015).

A utilização de subdoses ou superdoses, pulverizações repetidas com o mesmo fungicida, aplicações curativas, utilização volumes de calda reduzidos, escolha incorreta de pontas de pulverização e pulverizações realizadas em condições atmosféricas adversas também podem selecionar organismos resistentes (ROESE, 2011).

As recomendações de uso de fungicidas devem seguir as orientações indicadas quanto à dose aplicada, validade do produto utilizado, número e intervalo entre aplicações por safra, juntamente com o uso de boas práticas culturais, como a semeadura no início da época recomendada, uso de cultivares de ciclo precoce, eliminação de plantas voluntárias, respeito ao período de vazio sanitário e uso da tecnologia de aplicação adequada. A utilização de cultivares resistentes é outra ferramenta importante, que pode contribuir no manejo da FAS e reduzir a pressão de resistência do fungo aos fungicidas (GODOY & MEYER, 2014). A orientação das estratégias antirresistência desencoraja o uso curativo em favor do uso preventivo, o qual, equivale a um tratamento fungicida precoce, quando as populações do patógeno ainda são pequenas, embora isso não garanta que a seleção de indivíduos resistentes não ocorra (HOLLOMON, 2015).

### **3.5 Conclusões**

Os fungicidas apresentam diferentes níveis de fungitoxicidade aos isolados de *Phakopsora pachyrhizi* testados, indicando que a variação na sensibilidade dos isolados ocorre em função das diferenças no manejo e controle químico da doença dos distintos locais onde os isolados foram obtidos.

Para os doze isolados de *P. pachyrhizi* testados, os ingredientes ativos protioconazol (9 isolados), trifloxistrobina (12 isolados), fluxapiroxade (7 isolados), trifloxistrobina + protioconazol (11 isolados), trifloxistrobina + bixafem + protioconazol (12 isolados), azoxistrobina + benzovindiflupir (11 isolados) e azoxistrobina + benzovindiflupir + difenoconazol (12 isolados) são altamente fungitóxicos, com  $CE_{50}$  menor do que  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ .

Difenoconazol, azoxistrobina e fenpropimorfe são considerados medianamente fungitóxicos para nove dos doze isolados, com  $CE_{50}$  entre 1 e 10 mg L<sup>-1</sup>.

Os multissítios mancozebe e oxicloreto de cobre apresentaram respostas de  $CE_{50}$  classificadas como pouco tóxicas para os doze isolados do fungo e o clorotalonil para oito deles ( $CE_{50}$  entre 10 e 50 mg L<sup>-1</sup>).

## 4 CAPÍTULO II

Chuva após a aplicação de fungicidas e seu efeito no controle da ferrugem-asiática da soja

### 4.1 Resumo

A ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) é a principal doença que afeta a cultura da soja no Brasil. O principal método de controle utilizado é a aplicação de fungicidas, no entanto, sua eficácia pode ser afetada pela ocorrência de chuvas. O objetivo deste trabalho foi verificar se a ocorrência de chuva, em diferentes intervalos de tempo, após a aplicação de fungicidas afeta o controle da ferrugem-asiática da soja. Foram testados os fungicidas penetrantes: trifloxistrobina + proclorazolo (60 + 70 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e azoxistrobina + benzovindiflupir (60 + 30 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e os não-penetrantes mancozebe (1500 g i.a. ha<sup>-1</sup>), clorotalonil (1440 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e oxicloreto de cobre (672 g i.a. ha<sup>-1</sup>), com dois volumes de calda: 70 e 150 L ha<sup>-1</sup>. As plantas receberam chuva simulada em intervalos de tempo desde 30 até 240 minutos após a aplicação dos fungicidas. Em seguida, folíolos de soja foram coletados e inoculados com uma suspensão de 5,0x10<sup>4</sup> uredosporos mL<sup>-1</sup> de *P. pachyrhizi* e incubados em caixas gerbox, em câmara de crescimento com temperatura de 23°C e fotoperíodo de 12 h, durante 20 dias. Os ensaios foram realizados em duplicata. Os fungicidas não-penetrantes foram mais suscetíveis a remoção pela chuva do que os penetrantes e o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> proporcionou controle superior da doença quando comparado ao de 70 L ha<sup>-1</sup> para todos os fungicidas, em ambos os anos. As porcentagens de controle dos tratamentos se igualaram ao tratamento controle, o qual não recebeu chuva, quando ela ocorreu entre 120 e 180 minutos após a aplicação para os fungicidas penetrantes e aos 240 para os protetores. As características dos fungicidas utilizados, o intervalo de tempo entre aplicações e a ocorrência de chuva e o volume de calda afetaram o controle da ferrugem-asiática da soja.

Palavras-chave: 1. Controle químico. 2. *Phakopsora pachyrhizi*. 3. Precipitação pluvial. 4. Tecnologia de aplicação. 5. Volume de calda.

### 4.2 Introdução

A ferrugem-asiática da soja (FAS), causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow é uma das doenças mais destrutivas que ocorre na cultura (GODOY et al., 2016), podendo atingir níveis de danos de até 90% na ausência de medidas de controle (HARTMANN et al., 2015). As condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno durante a fase de crescimento e desenvolvimento da cultura fazem com que a



aplicação de fungicidas seja a melhor alternativa para o manejo e controle da doença (LEVY, 2015).

No Brasil, a aplicação de fungicidas para o controle da FAS foi iniciado na safra 2002/2003 (REIS et al., 2014). Atualmente, cinquenta e cinco fungicidas estão registrados para o controle da doença (MAPA, 2019) apresentando diferentes modos de ação e características de penetração nos tecidos da planta. Por exemplo, os fungicidas inibidores da desmetilação de esteróis (IDM), inibidores da quinona externa (IQe) e da succinato desidrogenase (ISDH) apresentam a habilidade penetrar no tecido foliar da planta. Por outro lado, fungicidas multissítios apresentam ação de contato e não são absorvidos pelas plantas. No entanto, eles são essenciais no controle da ferrugem-asiática, sendo uma importante estratégia para o manejo da resistência do fungo aos fungicidas sítio-específicos (SIEROTZKI & SCALLIET, 2013). Fungicidas como mancozebe, clorotalonil e oxicloreto de cobre agem em múltiplos processos metabólicos do fungo, dificultando o desenvolvimento da resistência (HOLLOMON, 2015).

A eficácia do controle químico da FAS depende de diversos fatores, dentre eles, a escolha de fungicidas eficientes, o momento de aplicação, volume de calda e a adaptação da tecnologia de aplicação ao alvo e à cultura (CUNHA et al., 2010). Os fatores ambientais e climáticos, como por exemplo a ocorrência de chuva, podem afetar a eficácia de controle dos fungicidas aplicados em diferentes culturas por meio da lavagem, diluição, redistribuição e remoção do produto da superfície foliar, afetando, dessa forma, sua atividade residual (DEBORTOLI, 2008; PIGATI et al., 2010; TOFOLI et al., 2014; INGUAGIATO & MIELE, 2016; STEFANELLO et al., 2016; ROSSOUW et al., 2018).

Durante o verão no Brasil, época ano que coincide com a condução das aplicações de fungicidas na cultura da soja, é comum a ocorrência de pancadas de chuva de curta duração não previstas ao longo do dia. A ocorrência de precipitação pluvial acontecendo logo após a pulverização dos fungicidas, de acordo com os fatores descritos anteriormente, reduz a eficácia de controle da ferrugem-asiática da soja, permitindo que a doença cause maiores danos na cultura. Portanto, o estudo de como o controle da FAS é afetado pela ocorrência de chuva após a aplicação de fungicidas se faz relevante, uma

vez que se pode determinar parâmetros relacionados a reaplicação do fungicida ou se apenas é necessária a redução do intervalo entre as suas aplicações.

O trabalho teve por objetivo estudar o controle da ferrugem-asiática da soja em resposta a ocorrência de chuva simulada, em diferentes intervalos de tempo, após a aplicação de fungicidas penetrantes e multissítios protetores, com a utilização de diferentes volumes de calda.

### 4.3 Material e Métodos

Sementes da cultivar BMX Lança foram semeadas em vasos com capacidade de 2000 mL, preenchidos com substrato comercial, em casa-de-vegetação na Universidade de Passo Fundo. Após a germinação, somente uma plântula de soja foi mantida por vaso. As plantas receberam apenas água durante seu desenvolvimento. Para a realização dos ensaios, foi utilizado o delineamento completamente casualizado com seis repetições, e em duplicata, no mês de março dos anos 2017 e 2018.

Quarenta dias após a semeadura (estádio V8) as plantas foram submetidas aos tratamentos compostos por cinco fungicidas, sendo cada um deles considerado como um experimento isolado. Dentre os fungicidas, dois são penetrantes: trifloxistrobina + protioconazol (Fox<sup>®</sup> - 60+70 g i.a. ha<sup>-1</sup>) mais óleo vegetal (Áureo<sup>®</sup> - 180 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatus<sup>®</sup> - 60+30 g i.a. ha<sup>-1</sup>) mais óleo mineral (Nimbus<sup>®</sup> - 214 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e três não-penetrantes: mancozebe (Unizeb Gold<sup>®</sup> - 1500 g i.a. ha<sup>-1</sup>), clorotalonil (Previnil<sup>®</sup> - 1440 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e oxiclureto de cobre (Difere<sup>®</sup> - 672 g i.a. ha<sup>-1</sup>), sendo esses, aplicados com a adição de adjuvante composto por látex sintético e fluido de organossilicone e surfactante (Tac Tic<sup>®</sup> - 128 g i.a. ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1).

O esquema de tratamentos foi bifatorial (6x2), com seis intervalos de tempo entre a aplicação dos produtos e a ocorrência de chuva (30, 60, 90, 120, 180 e 240 minutos) e dois volumes de calda: 70 e 150 L ha<sup>-1</sup>. Um dos tratamentos controle foi composto pela ausência de aplicação de fungicidas (testemunha sem fungicida) e o outro com a

aplicação, porém, o último não foi submetido a simulação de chuva (testemunha sem chuva).

Tabela 1 – Características dos fungicidas utilizados no ensaio de simulação de chuva após a aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Ingrediente Ativo	Nome comercial	Formulação	Solubilidade em água (20°C)	Coefficiente de partição octanol-água (pH 7, 20°C)	Sistemicidade
Trifloxistrobina (T) + protioconazol (P)	Fox <sup>®</sup>	Suspensão concentrada	T: 0,6 (baixa) P: 22,5 (baixa)	T: 4,5 P: 2,0	Mesostêmico Sistêmico
Azoxistrobina (A) + benzovindiflupir (B)	Elatus <sup>®</sup>	Granulado dispersível	A: 6,7 (baixa) B: S/I*	A: 2,5 B: 4,3**	Sistêmico Mesostêmico
Mancozebe	Unizeb Gold <sup>®</sup>	Granulado dispersível	6,2 (baixa)	2,3	Imóvel
Clorotalonil	Previnil <sup>®</sup>	Suspensão concentrada	0,8 (baixa)	2,9	Imóvel
Oxicloreto de cobre	Difere <sup>®</sup>	Suspensão concentrada	1,2 (baixa)	0,4	Imóvel

\*Sem informações.

\*\*Hoffmann, 2016,

Fonte: Pesticide properties database, 2019.

As aplicações foram realizadas no turno da manhã, respeitando as condições para a pulverização, como temperatura abaixo de 30°C, umidade do ar acima de 55% e velocidade do vento entre 3,0 e 10,0 km h<sup>-1</sup> (REUNIÃO, 2012). Um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, contendo quatro pontas de pulverização (0,5 m de distância), foi utilizado para as aplicações, com pontas de pulverização de jato plano Teejet<sup>®</sup> XR 110015, com pressão de 3,0 bar (300 kPa) para o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>, e de jato cônico vazio Magnojet<sup>®</sup> MCP1, com pressão de 3.1 bar (310 kPa) para a taxa de aplicação de 70 L ha<sup>-1</sup>, ambas com velocidade de pulverização de 1,4 m s<sup>-1</sup>, produzindo gotas de espectro fino (106 a 235 µm). No ensaio realizado em 2018, foram adicionados três cartões hidrosensíveis na altura das plantas para a avaliação da qualidade da aplicação.

Após a aplicação, as plantas foram submetidas a simulação de chuva artificial de 20 mm em diferentes intervalos de tempo. Para isso, utilizou-se uma torre com um simulador de chuva acoplado ao topo, o qual emitia uma lâmina de água de 1,38 mm min<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, sendo necessários 14,5 minutos para obtenção da lâmina desejada. As plantas foram deixadas secar em temperatura ambiente.

Em seguida, os folíolos centrais de cada folha do terço superior das plantas de soja, com cerca de 50 cm<sup>2</sup>, foram coletados e levados ao laboratório. Foi utilizada a metodologia folíolos destacados proposta por Scherb & Mehl (2006), adaptada por Chechi et al. (2018). No Laboratório de Fitopatologia, caixas gerbox (121 cm<sup>2</sup>) foram utilizadas para a montagem de câmaras úmidas, contendo uma unidade de espuma de polietileno e duas de papel filtro, do mesmo tamanho das caixas. As câmaras foram umedecidas com água destilada e os folíolos foram depositados nas mesmas, com a face abaxial voltada para cima. Um pedaço de algodão foi adicionado ao pecíolo, o qual foi saturado com água destilada, a fim de manter a hidratação dos folíolos.

Após 24 h, os folíolos foram inoculados com uma suspensão de uredosporos de *P. pachyrhizi* (5,0x10<sup>4</sup> uredosporos mL<sup>-1</sup>). O inóculo, proveniente de folhas de soja obtidas no campo, no município de Passo Fundo/RS, foi primeiramente multiplicado em plantas de soja sadias, e após o aparecimento dos sintomas e sinais, os folíolos foram utilizados para o preparo da suspensão de esporos utilizada no ensaio. Em um Erlenmeyer de 500 mL, foram adicionados 200 mL de água destilada, uma gota de espalhante Tween20<sup>®</sup> e os folíolos de soja com ferrugem. Após agitação, a suspensão foi filtrada e a concentração de esporos foi estimada em hemacitômetro sob microscópio ótico. A suspensão foi borrifada nos folíolos com o auxílio de um borrifador manual de 500 mL.

Para a germinação dos esporos, as caixas gerbox foram deixadas durante 24 h no escuro, em temperatura de 23°C. Na sequência, foram dispostas em bancadas em câmara de crescimento com fotoperíodo de 12 h, na mesma temperatura. A cada dois dias foi adicionada água destilada ao algodão para manutenção da umidade.

Após 20 dias de incubação, foi avaliado o número total de urédias na face abaxial de cada folíolo, com área média de 50 cm<sup>2</sup>, em microscópio estereoscópico. Para o cálculo de porcentagem de controle da doença, em relação à testemunha sem fungicida, foi utilizada a fórmula de Abbott (1925).

Os cartões hidrosensíveis foram escaneados no software DropScope®, sendo avaliados o número de impactos por cm<sup>2</sup> e a porcentagem de cobertura dos cartões hidrosensíveis. Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ), teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) para comparação de médias e regressão não-linear, modelo monomolecular, no software Infostat.

#### 4.4 Resultados e Discussão

Houve relação de causa e efeito entre as variáveis, mostrando que quanto mais próximo do momento de aplicação a chuva ocorrer, menor é o controle da ferrugem-asiática da soja, nesse caso, representada pelo do número de urédias por folíolo. A influência da chuva no período de proteção de plantas é altamente dependente do intervalo de tempo entre a aplicação dos produtos e a ocorrência de chuva (LENZ et al., 2011; TOFOLI et al., 2014).

Os fatores volume de calda e intervalo de tempo não apresentaram interação significativa para os fungicidas testados, portanto, essas variáveis foram analisadas separadamente (Tabela 2). O controle, sem a aplicação de fungicidas, apresentou em média, 98 e 117 urédias por folíolo nos ensaios em 2017 e 2018, respectivamente. Além do mais, todas as análises das regressões para o controle da FAS foram significativas ( $p < 0,0001$ ) (Figuras 1 e 2).

O número de urédias por folíolo da testemunha que recebeu fungicida, mas que não foi submetida à chuva, igualou-se estatisticamente ao do tratamento em que a chuva ocorreu a partir dos 180 minutos após a aplicação do fungicida trifloxistrobina + protioconazol (60 + 70 g i.a. ha<sup>-1</sup>), com ambos os volumes de calda, em 2017. Para 2018, os tratamentos em que o número de urédias por folíolo foi estatisticamente similar ao controle sem chuva foram aqueles em que a chuva ocorreu a partir dos 120 minutos após a aplicação para o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> e aos 240 minutos para o de 70 L ha<sup>-1</sup>.

Tabela 2 – Número de urédias de *Phakopsora pachyrhizi* por folíolo de soja observadas após ocorrência de chuva artificial (20 mm), em distintos intervalos de tempo, após a aplicação de fungicidas com dois volumes de calda e controle médio da ferrugem-asiática da soja, nas safras 2016/2017 e 2017/2018. Passo Fundo/UPF, 2019

Intervalos de tempo (minutos)	2016/2017				2017/2018			
	70 L ha <sup>-1</sup>		150 L ha <sup>-1</sup>		70 L ha <sup>-1</sup>		150 L ha <sup>-1</sup>	
	Nº de urédias	Controle (%)	Nº de urédias	Controle (%)	Nº de urédias	Controle (%)	Nº de urédias	Controle (%)
Trifloxistrobina + protioconazol								
30	74,0 a A*	24,7	55,3 a B	43,7	77,3 a A	33,9	63,7 a B	45,6
60	57,3 b A	41,7	40,0 b B	59,3	65,0 b A	44,4	56,0 b B	52,1
90	35,3 c A	64,1	25,7 c B	73,9	48,7 c A	58,4	35,3 c B	69,8
120	28,3 c A	71,2	15,0 d B	84,7	37,7 d A	67,8	28,3 d B	75,8
180	15,3 d A	84,4	8,0 e B	91,9	34,3 d A	70,7	24,3 d B	79,2
240	14,7 d A	85,1	7,3 e B	92,5	30,7 e A	73,8	23,0 d B	80,3
S/ Chuva	12,7 d A	87,0	7,4 e B	92,2	30,0 e A	74,4	23,3 d B	80,1
CV** (%)	18,14		15,38		10,47		13,39	
Azoxistrobina + benzovindiflupir								
30	85,7 a A	12,9	71,0 a B	27,8	93,7 a A	19,9	78,7 a B	32,8
60	67,7 b A	31,2	60,0 b B	39,0	83,7 b A	28,5	65,7 b B	43,9
90	56,7 c A	42,4	46,0 c B	53,2	60,3 c A	48,4	48,7 c B	58,4
120	48,0 d A	51,2	38,7 d B	60,7	50,7 d A	56,7	42,0 d B	64,1
180	38,0 e A	61,4	29,7 e B	66,4	41,3 e A	64,7	31,0 e B	73,5
240	33,3 e A	66,1	26,7 e B	72,9	39,0 e A	66,7	29,0 e B	75,2
S/ Chuva	31,3 e A	67,1	25,9 e B	73,5	37,0 e A	68,4	27,7 e B	76,4
CV (%)	11,95		9,88		11,07		11,90	
Mancozebe								
30	97,7 a A	0,7	93,7 a A	4,7	113,3 a A	3,1	110 a A	6,0
60	87,3 b A	11,2	80,0 b A	18,6	104,7 b A	10,5	97,3 b A	16,8
90	75,8 c A	22,9	60,7 c B	38,3	84,7 c A	27,6	74,3 c B	36,5
120	56,0 d A	43,1	47,3 d B	51,9	68,3 d A	41,6	50,7 d B	56,7
180	47,0 e A	52,2	38,7 e B	60,7	52,0 e A	55,6	42,0 e B	64,1
240	37,3 f A	62,0	28,0 f B	71,5	42,7 f A	63,5	30,0 f B	74,4
S/ Chuva	35,3 f A	64,1	28,6 f B	73	42,3 f A	63,8	26,0 f B	77,8
CV (%)	10,2		11,0		7,9		8,9	
Clorotalonil								
30	96,8 a A	1,5	94,3 a A	4,1	111,8 a A	4,4	108,6 a A	7,1
60	85,3 b A	13,2	78,0 b A	20,7	100,3 b A	14,2	96,3 b A	17,7
90	71,5 c A	27,3	64,3 c B	34,6	81,1 c A	30,6	71,0 c A	39,3
120	52,6 d A	46,4	45,0 d B	54,2	61,6 d A	47,3	53,3 d B	54,4
180	44,6 d A	54,6	35,6 e B	63,7	48,3 e A	58,7	36,6 e B	68,7
240	34,0 e A	65,4	25,0 f B	74,6	37,3 f A	68,1	26,7 f B	77,2
S/ Chuva	35,2 e A	65,0	23,8 f B	75,7	36,3 f A	68,9	24,6 f B	78,9
CV (%)	14,1		11,0		9,4		9,4	
Oxicloreto de cobre								
30	97,1 a A	1,2	94,6 a A	3,7	116,3 a A	0,6	111,3 a A	4,8
60	89,0 b A	9,5	80,7 b B	18,0	107,6 b A	8,0	99,3 b B	15,1
90	79,3 c A	19,3	69,0 c B	29,8	100,3 b A	14,2	91,3 c B	21,9
120	60,0 d A	39,0	51,6 d B	47,5	79,3 c A	32,2	69,0 d B	41,0
180	48,0 e A	51,2	38,7 e B	60,7	66,7 d A	43,0	56,7 e B	51,6
240	38,0 f A	61,4	32,0 f B	67,5	56,3 e A	51,9	48,6 f B	58,4
S/ Chuva	36,6 f A	63,2	30,5 f B	69,7	56,8 e A	51,4	46,9 f B	60,4
CV (%)	7,0		7,1		7,5		8,2	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

\*\*Coeficiente de variação.

Em geral, os resultados estão de acordo com os obtidos por Stefanello et al. (2016), em que foi verificado que são necessários, no mínimo, 120 minutos sem ocorrência de precipitação pluvial após a aplicação do fungicida trifloxistrobina + protioconazol. A testemunha, a qual não foi submetida à simulação de chuva após a aplicação, apresentou porcentagem de controle da doença de 87,0% e de 92,2% com a utilização dos volumes de calda de 70 L ha<sup>-1</sup> e 150 L ha<sup>-1</sup> para os ensaios em 2017. Para 2018, os valores foram de 74,4% e de 80,1%, respectivamente. Ainda, para o mesmo fungicida, a taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> quando comparada com a de 70 L ha<sup>-1</sup>, em geral, promoveu incrementos de 8,0% a 43,5% no controle da doença em 2017. Para o ano de 2018, os valores variaram de 7,2% até 25,7%.

Para o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir (60 + 30 g i.a. ha<sup>-1</sup>), quando a chuva ocorreu a partir dos 180 minutos após a aplicação, o número de urédias por folíolo foi similar ao tratamento controle que não foi submetido a chuva para ambos os anos. Tal fato revelou que são necessárias no mínimo três horas (180 minutos) de intervalo de tempo entre a aplicação da mistura de azoxistrobina + benzovindiflupir e a ocorrência de chuva, concordando com resultados obtidos por Chechi et al. (2018). Os tratamentos que não foram submetidos à lavagem pela chuva apresentaram porcentagens de controle de 61,7% e 73,5% para os volumes de calda de 70 L ha<sup>-1</sup> e 150 L ha<sup>-1</sup> em 2017 e os valores de 68,4% e 76,4%, para as mesmas taxas de aplicação, em 2018. Adicionalmente, em 2017, o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> quando comparado ao de 70 L ha<sup>-1</sup> promoveu incrementos na porcentagem de controle da FAS partindo de 7,5% até 53,6%. Para os ensaios de 2018, os valores ficaram entre 10,4% e 39,1%.

Para o fungicida multissítio mancozebe (1500 g i.a. ha<sup>-1</sup>), os tratamentos que não foram submetidos à simulação de chuva apresentaram eficácia de controle de 64,1% e 73,5% para o volume de calda de 70 L ha<sup>-1</sup> e 150 L ha<sup>-1</sup> em 2017, e de 63,8% e 77,8% para as mesmas taxas de aplicação no ano de 2018 e, esses tratamentos, foram estatisticamente similares àqueles em que a chuva ocorreu aos 240 minutos após a aplicação do fungicida, em ambos os anos. Ao comparar os volumes de calda utilizados, aquele composto por 150 L ha<sup>-1</sup> apresentou porcentagens de controle de 19,2% até 85,1%

maiores, quando comparado ao de 70 L ha<sup>-1</sup> em 2017. Em 2018, o incremento no controle da FAS, com o uso da maior taxa de aplicação comparada com a menor, chegou a 47,6%.

Em estudo recente realizado por Rani et al. (2015), foram encontrados os maiores valores de severidade de doenças em plantas de tomate quando a chuva ocorreu imediatamente após a aplicação do fungicida mancozebe. Hunsche et al. (2007) verificaram que a redução nos depósitos de mancozebe variaram de 55,0% até 80,0% com a aplicação de lâminas de chuva de 1,0-5,0 mm em folhas de mudas de maçã. Rossow e colaboradores (2018) verificaram que 1,0, 5,0 e 10,0 mm de chuva reduziram o resíduo do fungicida mancozebe em 32,9%, 37,8% e 41,1%, respectivamente.

Para o fungicida clorotalonil (1440 g i.a. ha<sup>-1</sup>), as porcentagens de controle para os tratamentos que não foram submetidos à chuva simulada foram de 65,0% e 68,9% para a taxa de aplicação de 70 L ha<sup>-1</sup> nos anos de 2017 e 2018. Para o volume de 150 L ha<sup>-1</sup>, nos mesmos anos, os valores de controle foram de 75,7% e 79,9%, respectivamente. Esses tratamentos foram estatisticamente similares àqueles em que a chuva ocorreu aos 240 minutos após a aplicação do fungicida em ambos os anos. A utilização do maior volume de calda apresentou melhor performance no controle da doença, sendo 12,3% até 63,4% maior do que o de 70 L ha<sup>-1</sup> em 2017 e 11,8% até 38,0% maior em 2018.

Ingugiato & Miele (2016) verificaram que a eficácia de controle do químico clorotalonil para mancha foliar em plantas da família Poaceae foi significativamente reduzido quando a chuva ocorreu em menos de sessenta minutos após a aplicação de fungicidas. Pigatti et al. (2010) relataram que a redução no controle da doença, na mesma cultura, foi de 67,0% após a ocorrência de precipitação pluvial.

No último ensaio, com a utilização de oxicloreto de cobre (672 g i.a. ha<sup>-1</sup>), os valores de porcentagem de controle variaram entre 63,2% e 69,7% para as taxas de aplicação de 70 e 150 L ha<sup>-1</sup> para a testemunha não submetida a chuva em 2017. No ano seguinte, o controle foi de 51,4% para o volume de 70 L ha<sup>-1</sup> e de 60,4% para o de 150 L ha<sup>-1</sup>. No entanto, no segundo ano, foram observadas reduções no controle da doença variando de 13,4% a 18,7%. Esses tratamentos, sem a ocorrência de chuva, mostraram-



se estatisticamente similares aos tratamentos em que a chuva ocorreu aos 240 minutos após a aplicação do fungicida em ambos os anos. Neste estudo, o fungicida oxiclureto de cobre apresentou performance inferior no controle da FAS quando comparado aos outros fungicidas testados. A maior taxa de aplicação do fungicida, da mesma forma que nos outros ensaios, mostrou-se mais efetiva do que a de 70 L ha<sup>-1</sup>. Os valores de incremento no controle variaram de 9,0% a 68,2% em 2017 e de 11,2% a 88,2% em 2018, com a utilização do maior volume de calda comparado com o menor.

Perez-Rodriguez et al. (2015) relataram a remoção de fungicidas a base de cobre em parreiras após a ocorrência de chuva. No entanto, os autores concluíram que essa remoção depende da formulação do produto, sendo maior para calda bordalesa do que para o oxiclureto de cobre (PEREZ-RODRIGUEZ et al., 2015). De acordo com Vincent et al. (2007), o efeito das chuvas na redução da tenacidade dos depósitos de cobre pulverizados nas plantas ainda não é totalmente compreendido, porém, a maioria das formulações de cobre são removidas mesmo com a utilização de maiores volumes de calda nas aplicações.

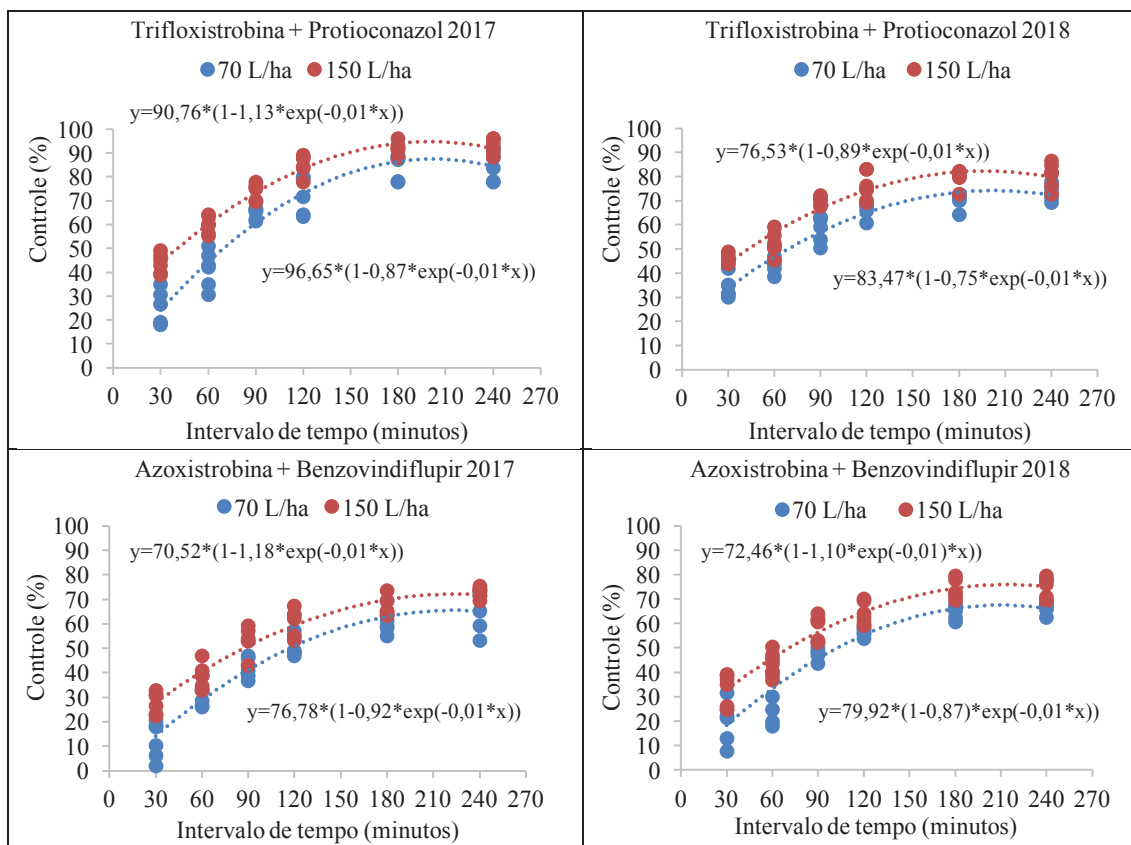


Figura 1 – Regressão não-linear com modelo monomolecular para a porcentagem de controle da ferrugem-asiática da soja de acordo com a ocorrência de chuva em diferentes intervalos de tempo após a aplicação de fungicidas penetrantes, com dois volumes de calda (70 e 150 L ha<sup>-1</sup>) em 2017 e 2018.

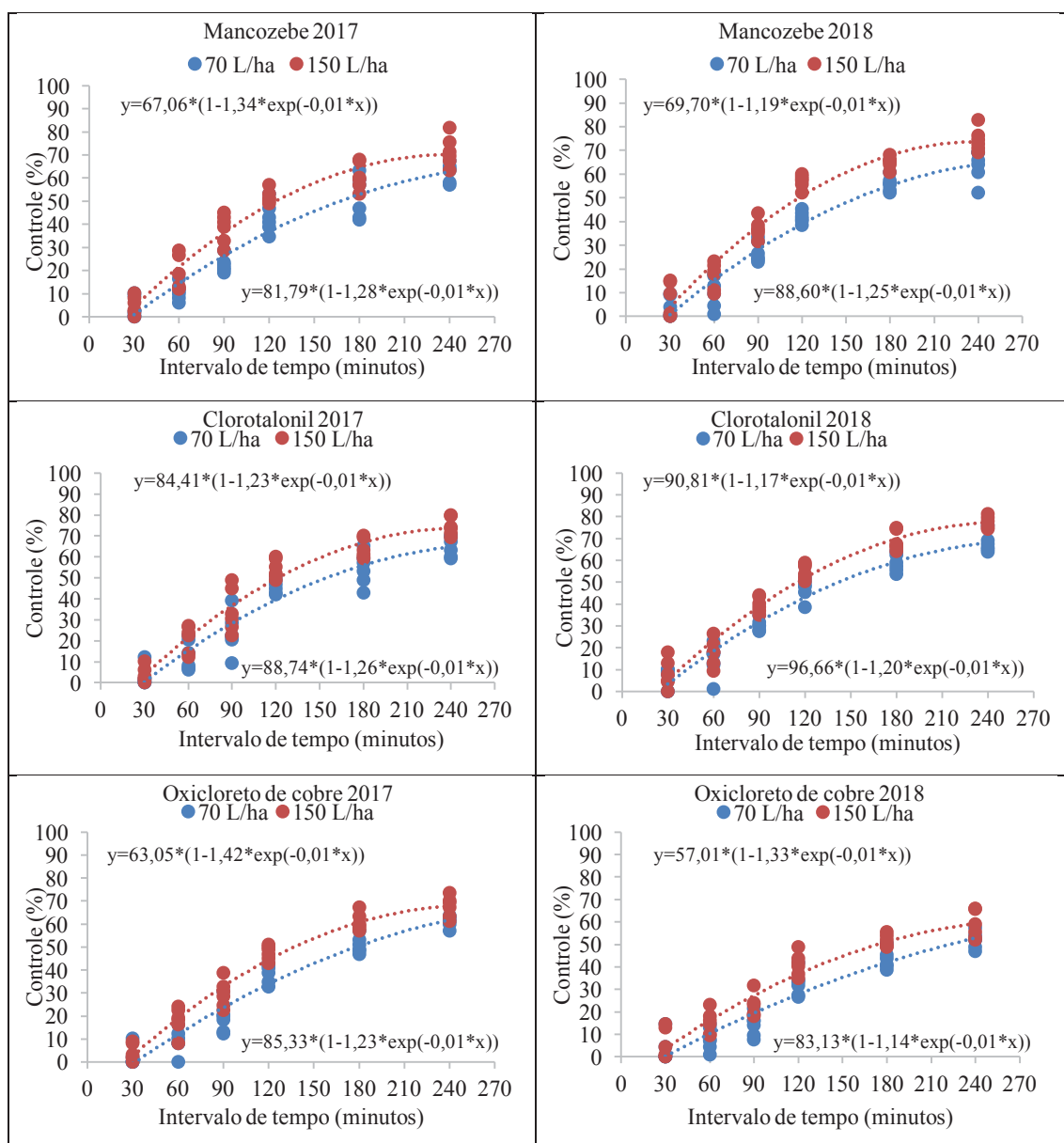


Figura 2 – Regressão não-linear com modelo monomolecular para a porcentagem de controle da ferrugem-asiática da soja de acordo com a ocorrência de chuva em diferentes intervalos de tempo após a aplicação de fungicidas não-penetrantes, com dois volumes de calda (70 e 150 L ha<sup>-1</sup>) em 2017 e 2018.

Pode-se afirmar que foram necessários, no mínimo, intervalos de tempo de 120 e 180 minutos entre a aplicação dos fungicidas penetrantes compostos por trifloxistrobina + protioconazol e azoxistrobina + benzovindiflupir e a ocorrência de chuva. No caso de trifloxistrobina + protioconazol, foram observadas diferenças na performance do fungicida em 2018 quando comparada ao ano de 2017, com redução de 12,5% a 17,3% no controle da doença. Tal fato pode ter ocorrido uma vez que o fungicida protioconazol

foi utilizado mais do que duas vezes na mesma safra e em alguns casos foi aplicado de forma isolada no campo. Esses fatores podem levar à redução da sensibilidade do fungo ao ingrediente ativo do fungicida, como já foi relatado por Godoy et al. (2018), em que as misturas contendo protioconazol apresentaram redução na eficácia de controle da doença na safra 2017/2018 em algumas áreas brasileiras produtoras de soja.

Para a mistura de azoxistrobina + benzovindiflupir, sabe-se que já foram relatadas mutações pontuais em genes de *P. pachyrhizi*, para ambos os ingredientes ativos, que causam redução na sua eficácia de controle, como a F129L para azoxistrobina (KLOSOWSKI et al., 2016) e I86F para o benzovindiflupir (KLAPPACH, 2017). No entanto, para esse fungicida, o controle da doença e ambas as safras se mostrou similar, indicando que não houve piora na situação do ponto de vista de resistência.

Para os três fungicidas multissítios protetores foram observados comportamentos similares entre eles. Todos eles apresentaram valores de controle da doença similares à testemunha sem chuva quando ela ocorreu aos 240 minutos após a aplicação. Mancozebe, clorotalonil e oxicloreto de cobre são fungicidas protetores, os quais não são absorvidos e nem translocados (não-penetrantes) pelos tecidos, permanecendo na superfície da planta, no local onde foram depositados (REIS et al., 2010), sendo mais suscetíveis à lixiviação pela chuva.

Ao estudar a lavagem de fungicidas causada pela chuva em plantas de batata, Tofoli et al. (2014) observou que os fungicidas sistêmicos ou translaminares foram menos afetados pela ocorrência de chuva quando comparados aos fungicidas de contato ou não-penetrantes. Ainda, os autores verificaram que o maior intervalo de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva favoreceu a retenção e/ou absorção dos produtos nas plantas, apresentando relação positiva direta com o controle da doença.

Com a utilização do volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ , foram observadas porcentagens de controle da FAS superiores àquelas obtidas com a taxa de aplicação de  $70 \text{ L ha}^{-1}$ , tanto para os fungicidas protetores como para os penetrantes, em ambos os anos. Esse comportamento indica que o aumento no volume de calda pode promover

maior cobertura foliar e favorecer a tenacidade do produto, fazendo com que o impacto da chuva na lavagem do fungicida seja reduzida. Assim, os maiores volumes de calda apresentaram ainda maior relevância quando da utilização de fungicidas protetores, os quais não são absorvidos e são mais facilmente removidos pela chuva do que os penetrantes. Além do mais, para todos os fungicidas testados, o volume de calda atenuou em uma hora o impacto da chuva sobre a absorção ou retenção do produto na superfície foliar.

Ao estimar a porcentagem de redução na eficácia do controle da doença (Tabela 3), observou-se que quando a chuva ocorreu aos trinta minutos após a aplicação, os fungicidas penetrantes conseguiram obter menores valores de redução na eficácia de controle (de 43,1% a 62,2% para 150 L ha<sup>-1</sup> e de 54,4% a 80,8% para 70 L ha<sup>-1</sup>) quando comparados aos multissítios, visto que aqueles conseguiram ser parcialmente absorvidos nesse intervalo de tempo. Já os multissítios, os quais não são absorvidos, foram quase que completamente lavados quando a chuva ocorreu nesse mesmo intervalo de tempo após a aplicação (redução de 91,0% a 94,7% para 150 L ha<sup>-1</sup> e de 93,6% a 98,9% para 70 L ha<sup>-1</sup>).

Apenas uma hora após a aplicação (60 minutos), os fungicidas penetrantes apresentaram reduções de controle da FAS em torno de 35% a 46,9% com o uso de 150 L ha<sup>-1</sup> de calda e de 40,3% a 58,3% com 70 L ha<sup>-1</sup>, enquanto os não-penetrantes, apresentaram porcentagens de 72,7% a 78,4% com o maior volume e de 79,4% a 85,0% com o uso da menor taxa de aplicação. A maioria dos fungicidas protetores ainda apresentou reduções na eficácia de controle acima de 50% quando a chuva ocorreu 90 minutos após a aplicação, e de cerca de 40% quando ela ocorreu aos 120 minutos.

Tabela 3 - Porcentagem média de redução na eficácia de controle da ferrugem-asiática em folíolos de soja, causada pela ocorrência de chuva em diferentes intervalos de tempo após a pulverização de fungicidas com dois volumes de calda nos anos de 2017 e 2018, comparados com as testemunhas que não receberam simulação de chuva. Passo Fundo/UPF, 2019

Intervalos de tempo (minutos)	70 L ha <sup>-1</sup>		150 L ha <sup>-1</sup>	
	2017		2018	
	Trifloxistrobina + protioconazol (%)			
30	71,6	52,6	54,4	43,1
60	52,1	35,7	40,3	35,0
90	26,3	19,8	21,5	12,9
120	18,2	8,1	8,9	5,4
180	3,0	0,3	5,0	1,1
240	2,2	0,0	0,8	0,0
Azoxistrobina + benzovindiflupir (%)				
30	80,8	62,2	70,9	57,1
60	53,5	46,9	58,3	42,5
90	36,8	27,6	29,2	23,6
120	23,7	17,4	17,1	16,1
180	8,5	9,7	5,4	3,8
240	1,5	0,8	2,5	1,6
Mancozebe (%)				
30	98,9	93,6	95,1	92,3
60	82,5	74,5	83,5	78,4
90	64,3	47,5	56,7	53,1
120	32,8	28,9	34,8	27,1
180	18,6	16,8	12,9	17,6
240	3,3	2,1	0,5	4,4
Clorotalonil (%)				
30	97,7	94,6	93,6	91,0
60	79,7	72,7	79,4	77,6
90	58,0	54,3	55,6	50,2
120	28,6	28,4	31,3	31,1
180	16,0	15,9	14,8	12,9
240	0,0	1,5	1,2	2,2
Oxicloreto de cobre (%)				
30	98,1	94,7	98,8	92,1
60	85,0	74,2	84,4	75,0
90	69,5	57,2	72,4	63,7
120	38,3	31,9	37,4	32,1
180	19,0	12,9	16,3	14,6
240	2,8	3,2	0,0	3,3

Na maioria dos casos, o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> proporcionou menor redução no controle da doença quando comparado com o de 70 L ha<sup>-1</sup>, com a ocorrência de chuva nos distintos intervalos de tempo após a aplicação. A utilização de baixos volumes de calda implica no uso de gotas de categoria mais finas, o que aumenta os riscos de perdas por deriva, dificultando o atingimento do alvo. Além do mais, a redução da água

no interior do tanque para a mesma quantidade de ingrediente ativo recomendada gera menor diluição, sendo que a maioria dos fungicidas testados apresenta baixa solubilidade em água, requerendo assim, maior precisão na aplicação (MADALOSSO et al., 2012).

Baseado nos resultados obtidos pelos cartões hidrosensíveis, a análise estatística mostrou que houve interação significativa entre os fatores (fungicida e volumes de calda) para a densidade de impactos e cobertura. Para o primeiro fator, todos os fungicidas apresentaram resultados superiores quando da utilização da taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> quando comparada com a de 70 L ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

Para a cobertura, trifloxistrobina + protioconazol 150 L ha<sup>-1</sup>, oxiclureto de cobre 150 L ha<sup>-1</sup> e clorotalonil 70 L ha<sup>-1</sup> e 150 L ha<sup>-1</sup> apresentaram a melhor performance, seguidos por azoxistrobina + benzovindiflupir 150 L ha<sup>-1</sup>, mancozebe 150 L ha<sup>-1</sup> e mancozebe 70 L ha<sup>-1</sup>. Inferior a eles ficou o tratamento com oxiclureto de cobre 70 L ha<sup>-1</sup>. Os tratamentos que menos se destacaram para essa variável foram com os fungicidas penetrantes trifloxistrobina + protioconazol e azoxistrobina + benzovindiflupir com a utilização de taxa de aplicação de 70 L ha<sup>-1</sup>, reforçando a ideia da não utilização de baixos volumes de calda para a aplicação dessas misturas. Para os fungicidas mancozebe e clorotalonil, não foram encontradas diferenças significativas para a cobertura com a utilização dos diferentes volumes de calda. Isso ocorreu, provavelmente, como efeito da adição do adjuvante surfactante à calda fungicida.

A necessidade de maior ou menor densidade de gotas por área é dependente do produto fitossanitário a ser utilizado. Segundo Antuniassi (2005; 2006), a maioria dos fungicidas sistêmicos podem ser utilizados com menor densidade de gotas e elas podem ser maiores, o que facilita a utilização de técnicas para a redução de deriva, melhorando a segurança e eficiência da aplicação (ANTUNIASSI et al., 2004). Densidades de 30 a 50 gotas cm<sup>-2</sup> são suficientes para os fungicidas sistêmicos (OLIVEIRA, 2009; CHRISTOFOLETTI, 1999). Para os produtos de contato ou de menor movimentação, é necessário utilizar gotas menores e/ou maior volume de calda pela maior dependência relacionada à cobertura dos alvos (ANTUNIASSI, 2005; 2006). O número de gotas cm<sup>-2</sup>, nesse caso, deve variar entre 50 e 70 gotas por cm<sup>2</sup> (MÁRQUEZ et al., 1997). Ozeki &

Kunz (1996) apontaram que para fungicidas de contato a cobertura deve ser superior a 70 gotas por cm<sup>2</sup>.

Os valores de cobertura e densidade de gotas foram 2,6 e 2,5 vezes (trifloxistrobina + protioconazol), 3,9 e 1,9 vezes (azoxistrobina + benzovindiflupir), 1,08 e 1,77 vezes (clorotalonil), 1,3 e 1,8 vezes (mancozebe) e 2,0 e 1,1 vezes (oxicloreto de cobre) maiores para o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> quando comparado à menor taxa de aplicação (70 L ha<sup>-1</sup>). Uma explicação para tal fato é que a utilização de maiores volumes de calda pode promover maior cobertura e penetração do produto no perfil da planta, resultando em maior eficácia de controle da doença.

Em ensaio testando volumes de calda entre 40 e 160 L ha<sup>-1</sup>, Roehrig et al. (2018) verificaram que o aumento no volume de calda promoveu incremento na densidade de gotas no perfil da planta de soja, com aumento de 2,1 vezes no número de gotas cm<sup>-2</sup>. Os autores ainda provaram que a redução na taxa de aplicação apresentou resultados negativos na cobertura foliar, resultando em redução no controle da FAS. No quesito rendimento, os melhores resultados foram obtidos com o volume de calda de 130 L ha<sup>-1</sup>, o qual foi estatisticamente similar ao de 160 L ha<sup>-1</sup>. Em ensaios conduzidos por Cunha et al. (2008, 2014), foi observado que houve tendência de aumento de deposição do produto com maiores volumes de calda. Prado e colaboradores (2015) ao comparar volumes de calda de 60 até 160 L ha<sup>-1</sup> observaram que o volume de calda de 160 L ha<sup>-1</sup> apresentou os maiores valores de controle da doença e rendimento da cultura.

Tabela 4 – Cobertura e densidade de impactos em cartões hidrosensíveis de acordo com cada tratamento fungicida em 2018. Passo Fundo/UPF, 2019

Fungicida	Cobertura (%)				Densidade (impactos cm <sup>-2</sup> )			
	70		150		70		150	
	-----L ha <sup>-1</sup> -----		-----L ha <sup>-1</sup> -----		-----L ha <sup>-1</sup> -----		-----L ha <sup>-1</sup> -----	
Trifloxistrobina + protioconazol	15,2	cB*	39,4	aA	260,4	bA	396,1	aA
Azoxistrobina + benzovindiflupir	8,0	cB	31,3	bA	188,6	bB	371,7	aA
Mancozebe	22,0	bA	29,2	bA	261,9	bA	468,5	aA
Clorotalonil	29,3	aA	31,6	aA	312,5	aB	552,9	aA
Oxicloreto de cobre	21,9	bB	43,7	aA	296,4	bA	322,1	aA
	CV** (%)		17,45		CV (%)		24,52	

\* Mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

\*\* Coeficiente de variação.



Por fim, ressalta-se a importância do monitoramento da possibilidade de chuvas antes e após a realização da aplicação de fungicidas no campo, sendo que eles não devem ser aplicados quando a chuva é iminente, uma vez que seus resíduos são levados diretamente ao solo, causando sua contaminação, além de despesas desnecessárias ao produtor.

#### **4.5 Conclusões**

O controle da ferrugem-asiática da soja é afetado pelas características do fungicida aplicado e pelo volume de calda utilizado frente ao intervalo de tempo entre a ocorrência de chuva após a sua aplicação. O quanto mais próximo do momento da aplicação do fungicida a chuva ocorrer, maior é a remoção do produto e a redução no controle da doença.

Os fungicidas não-penetrantes (oxicloreto de cobre, mancozebe e clorotalonil) são mais suscetíveis à lixiviação pela chuva do que os penetrantes, necessitando de um intervalo de tempo de 240 minutos entre a aplicação e a ocorrência de chuva enquanto esse intervalo para os penetrantes é de, no mínimo, 120 minutos (trifloxistrobina + protioconazol) e de 180 minutos (azoxistrobina + benzovindiflupir).

O volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> atenua em uma hora o impacto da chuva sobre a absorção ou retenção do fungicida na superfície foliar, promovendo maior controle da doença.

## 5 CAPÍTULO III

Combinações de volumes de calda e tamanhos de gota no controle químico da ferrugem-asiática em cultivares de soja com distintos índices de área foliar

### 5.1 Resumo

A ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é a principal doença que incide na cultura. A medida mais eficaz de controle da doença é a utilização de fungicidas. No entanto, fatores intrínsecos à cultura, a adequação da tecnologia de aplicação ao alvo e fatores ambientais exercem influência direta na eficácia da aplicação. O objetivo desta pesquisa foi verificar qual o efeito da utilização de combinações de volumes de calda e espectros de gota no controle químico da ferrugem-asiática em cultivares de soja com distintas áreas foliares. Os ensaios foram conduzidos no campo experimental da FAMV/UPF com duas cultivares de soja com diferentes índices de área foliar (IAF) [(BMX Lança – IAF<6,0 e BMX Garra – IAF>6,0)], nas safras 2016/2017 e 2017/2018. Os tratamentos foram compostos por combinações de três volumes de calda (70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>) e dois espectros de gota (fino e médio) na aplicação dos fungicidas trifloxistrobina + protioconazol (60 + 70 g i. a. ha<sup>-1</sup>) e mancozebe (1125 g i. a. ha<sup>-1</sup>), mais uma testemunha isenta de aplicação. A severidade média da doença na testemunha ao final do ciclo da cultura foi de 68% para a safra 2016/2017 e de 62% para 2017/2018. Para a cultivar BMX Lança, em 2017, quando seu IAF máximo atingiu 5,8, o uso de volumes crescentes de calda, de acordo com o crescimento da cultura, e gotas finas (na segunda e terceira aplicações) apresentaram resultados de rendimento semelhantes à utilização de volumes de calda fixos de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, independentemente do tamanho de gotas empregado. Para a cultivar BMX Garra que, no mesmo ano, apresentou IAF máximo de 7,1, os maiores rendimentos de sementes foram obtidos com a utilização do volume fixo de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, com ambos os tamanhos de gota. Em 2018, as cultivares BMX Lança e BMX Garra apresentaram IAF máximos de 4,9 e 5,5, respectivamente, e não foram detectadas diferenças estatísticas entre as combinações dos volumes de calda e espectros de gota. A exceção foi somente o tratamento com 70 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, com o uso de gotas médias para a cv. Garra, que foi inferior aos demais. O volume de calda e tamanho de gota devem ser determinados de acordo com a área foliar da cultura no momento da aplicação e com a pressão da doença presente.

Palavras-chave: 1. *Glycine max*. 2. *Phakopsora pachyrhizi*. 3. Tecnologia de aplicação.

### 5.2 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de maior importância mundial (FAO, 2016). O Brasil, desde a safra 2007/08, está na segunda posição no ranking da produção mundial de soja (CONAB, 2017). As doenças estão entre os principais fatores

que interferem no rendimento da cultura (EMBRAPA, 2004), sendo que os danos anuais de produção causados por elas variam de 15 a 20%. No entanto, algumas doenças podem ocasionar danos de até 100% (ALMEIDA et al., 2011). A ferrugem-asiática, causada por *Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & Sydow, é uma dessas doenças capazes de causar total destruição em lavouras de soja. Ela foi relatada pela primeira vez no país no final da safra de 2000/2001 (GODOY et al., 2006) e atualmente é a principal doença da cultura.

As condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno durante a época de cultivo da soja, fazem com que a aplicação de fungicidas seja a melhor alternativa para o manejo e controle da doença, visando manter o potencial produtivo da cultura (LEVY, 2015). Para isso, utiliza-se da tecnologia de aplicação, uma ciência que tem por objetivo colocar a quantidade adequada de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando ao mínimo o meio ambiente (MATTHEWS, 2002).

Dentre os fatores de maior importância envolvidos na tecnologia de aplicação encontram-se o volume de calda e o espectro de gotas, os quais devem ser os primeiros a serem definidos em uma aplicação (ANTUNIASSI, 2010; DALLA FÁVERA, 2012). De acordo com a fórmula de cobertura dos alvos, elaborada por Courshee (1967), para um mesmo volume de calda, a cobertura será menor quando a aplicação for realizada em uma cultivar com maior área foliar do que quando comparada a uma cultivar de menor folhosidade (a qual receberia uma maior cobertura), sendo que, de acordo com o mesmo princípio, pontas de pulverização que produzem gotas mais finas podem proporcionar maior penetração de gotas no dossel da cultura e, conseqüentemente, maior cobertura do alvo (ANTUNIASSI, 2012).

As variações nas taxas de aplicação de fungicidas, da mesma forma que o espectro de gotas, podem resultar em diferentes níveis de controle do patógeno quando realizadas em cultivares de soja com diferentes características estruturais (MADALOSSO et al., 2012), como por exemplo o índice de área foliar. A variação entre cultivares de soja, relacionada à arquitetura de plantas, impõe obstáculos distintos à penetração de gotas da pulverização no dossel no momento da aplicação. Esses obstáculos precisam ser vencidos

pelas gotas para que ocorra cobertura suficiente da planta pelo fungicida e o controle satisfatório da doença (DEBORTOLI et al., 2012) especialmente para patógenos que iniciam seu processo infeccioso nas folhas do terço inferior do dossel, como é o caso de *P. pachyrhizi* (RAETANO, 2007). Além do mais, à medida que o ciclo da cultura da soja avança, e a densidade de folhas aumenta, atingir os estratos inferiores das plantas se torna um desafio cada vez maior (TORMEN et al., 2012), uma vez que as folhas da própria cultura atuam como uma barreira para a penetração das gotas no perfil das plantas.

Sabe-se que há resultados controversos sobre a utilização de diferentes volumes de calda e espectros de gotas fino e médio no controle da FAS. No campo percebe-se, cada vez mais, que o produtor utiliza volumes de calda reduzidos nas aplicações, com variações no tamanho de gotas, o que pode afetar negativamente a eficácia de controle da doença (MADALOSSO et al., 2012). Essa redução requer incremento da tecnologia de aplicação e o acompanhamento constante das condições atmosféricas, as quais podem dificultar o atingimento do alvo (CUNHA et al., 2014).

Assim, faz-se necessário, testar a utilização de diferentes volumes de calda e espectros de gota de acordo com o crescimento da cultura e verificar como é a influência de ambos em cultivares de soja com distinta folhosidade, uma vez que o uso racional de fungicidas requer o ajuste da tecnologia de aplicação às características intrínsecas de cada cultivar para uma melhor eficácia de controle da FAS. Com isso, o objetivo dessa pesquisa foi verificar qual o efeito da utilização de combinações de volumes de calda e espectros de gota para o controle químico da ferrugem-asiática em cultivares de soja de distintos índices de área foliar.

### **5.3 Material e Métodos**

Os experimentos foram conduzidos no campo experimental, na quadra C10, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (FAMV/UPF), Campus I, no município de Passo Fundo/RS. Eles foram estabelecidos no dia primeiro de dezembro de 2016 e conduzidos durante 2017 e repetidos no mesmo período da safra 2017/2018. A área está situada na altitude de 687 metros, latitude 28° 23'

S e Longitude 52° 38' O. O clima da região de Passo Fundo é classificado como subtropical – Cfa. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico.

A precipitação pluvial acumulada nos meses de dezembro de 2016 e em janeiro, fevereiro e março de 2017 atingiu 698,5 mm, 74,9 mm acima da normal histórica (janeiro e março com maior acúmulo de chuva) para o período no município. No mesmo período em 2017/2018, a precipitação total foi de 509,4 mm, 114,2 mm abaixo da normal, sendo dezembro e fevereiro os meses que receberam menos da metade da quantidade de chuva esperada. As temperaturas durante o período de execução dos ensaios, em ambas as safras, foram similares à normal histórica (máxima 28 °C; média 21°C; mínima 17°C) (EMBRAPA TRIGO, 2018).

Foram semeadas duas cultivares de soja com tecnologia IPRO (Intacta RR2 PRO): BMX Lança [grupo de maturação 5.8, porte médio, ciclo de 129 dias e população média de plantas por hectare (ha) de 220-280.000] e BMX Garra (grupo de maturação 6.3, porte alto, ciclo de 134 dias e população de 180-250.000 plantas por ha) (BRASMAX GENÉTICA, 2019), em experimentos distintos.

Cada unidade experimental foi composta por cinco metros de comprimento, contendo cinco linhas espaçadas com 0,45 m entre si, contemplando uma área de 11,25 m<sup>2</sup> cada parcela. A distância entre blocos foi de 0,9 m e entre parcelas de 1,2 m. Em média, obteve-se 225.000 (cv. BMX Lança) e 195.000 (cv. BMX Garra) plantas estabelecidas por hectare. O manejo de plantas daninhas e de insetos-praga foi realizado de acordo com as indicações técnicas para a cultura (REUNIÃO, 2016).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições por tratamento. O esquema de tratamentos foi unifatorial, em que cada combinação de volumes de calda e tamanhos de gota foi considerado como fator qualitativo. Foram testadas combinações de três volumes de calda: 70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>, dois espectros de gota: fino (106 a 235 µm) e médio (236 – 340 µm) na aplicação de fungicidas, mais uma testemunha isenta da aplicação (Tabela 1). Os tratamentos 1 ao 6 foram considerados fixos, pois foi utilizado o mesmo volume de calda e tamanho de gota

em todas as aplicações. Já os tratamentos 7 ao 12 foram variáveis, uma vez que o volume de calda foi crescente de acordo com o desenvolvimento da cultura, com combinações de diferentes espectros de gota.

Tabela 1 – Combinações de volumes de calda e tamanhos de gota utilizados nas aplicações de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja nos experimentos a campo, de acordo com o número de dias após a semeadura (DAS). UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Trat.	Código	48 DAS (Estádio V7-V8)		66 DAS (Estádio R1-R2)		84 DAS (Estádio R3-R4)	
		L. ha <sup>-1</sup>	Espectro	L. ha <sup>-1</sup>	Espectro	L. ha <sup>-1</sup>	Espectro
1	70/F	70	Fino	70	Fino	70	Fino
2	70/M	70	Médio	70	Médio	70	Médio
3	110/F	110	Fino	110	Fino	110	Fino
4	110/M	110	Médio	110	Médio	110	Médio
5	150/F	150	Fino	150	Fino	150	Fino
6	150/M	150	Médio	150	Médio	150	Médio
7	70F/110F/150F	70	Fino	110	Fino	150	Fino
8	70M/110M/150M	70	Médio	110	Médio	150	Médio
9	70F/110M/150M	70	Fino	110	Médio	150	Médio
10	70F/110F/150M	70	Fino	110	Fino	150	Médio
11	70M/110M/150F	70	Médio	110	Médio	150	Fino
12	70M/110F/150F	70	Médio	110	Fino	150	Fino
13	Testemunha	-	-	-	-	-	-

Foram realizadas três aplicações da mistura fungicida trifloxistrobina + proclorazoxolol (Fox<sup>®</sup> - 60 + 70 g i.a. ha<sup>-1</sup>), com adição de mancozebe (Unizeb Gold<sup>®</sup> - 1125 g i.a. ha<sup>-1</sup>) aos 48, 66 e 84 dias após a semeadura (DAS). Foi utilizado como adjuvante o óleo vegetal composto por éster metílico de óleo de soja (Áureo<sup>®</sup> - 0,25% v/v).

Um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> foi utilizado para as aplicações, dotado de barra de fibra de carbono com quatro pontas de jato plano simples (distanciadas em 0,5 m) da série Teejet<sup>®</sup> XR 11001 para o espectro de gotas fino e TT 11001 para a aplicação do espectro de gota médio, ambas com pressão de 2,0 bar (200 kPa), para o volume de 70 de L ha<sup>-1</sup> calda (velocidade de 1,4 m s<sup>-1</sup>). Para os volumes de 110 e 150 L ha<sup>-1</sup> foram utilizadas as pontas XR 110015 para o espectro de gotas fino e TT 110015 para o médio, com pressão de 2,0 bar (200 kPa) para a taxa de aplicação de 110 L ha<sup>-1</sup> e de 3,0 bar (300 kPa) para a de 150 L ha<sup>-1</sup>, com velocidade de 1,4 m s<sup>-1</sup>. As condições atmosféricas no momento das aplicações foram monitoradas (Tabela 2) e encontravam-

se dentro dos parâmetros estabelecidos de umidade relativa mínima de 55%, temperatura máxima de 30°C e velocidade do vento entre 3,0 a 10,0 km h<sup>-1</sup> (REUNIÃO, 2012).

Tabela 2 – Temperatura, umidade relativa e velocidade do vento no momento de cada aplicação em soja, nas safras 2016/2017 e 2017/2018. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Parâmetros	Aplicação 1	Aplicação 2	Aplicação 3
		2016/2017	
Temperatura(°C)	30	28	29
Umidade Relativa (%)	55	74	63
Vel. Vento (km/h)	5	7	5
		2017/2018	
Temperatura(°C)	25	30	25
Umidade Relativa (%)	73	56	82
Vel. Vento (km/h)	5	5	7

No momento de cada aplicação, cartões hidrosensíveis foram inseridos em suportes metálicos, nas alturas dos terços inferior, médio e superior, para detectar a qualidade da aplicação dos tratamentos 1 ao 6, os quais representavam os diferentes volumes de calda e tamanhos de gota utilizados. Os suportes foram alocados em três locais na parcela, nas linhas da cultura. Logo após cada aplicação, foram coletados nove cartões por parcela, sendo três oriundos de cada terço das plantas. Eles foram escaneados e analisados pelo software DropScan® para a quantificação do número de impactos por cm<sup>2</sup> obtido em cada tratamento.

Na safra 2017/2018, antes do momento da primeira aplicação de fungicida, foram coletados 20 folíolos dos três terços das plantas de cada cultivar, de forma aleatória da área. Eles foram levados ao Laboratório de Fitopatologia e dispostos em câmaras úmidas em caixas gerbox, formadas por uma unidade de espuma de polietileno do tamanho do gerbox (121 cm<sup>2</sup>) e duas folhas, do mesmo tamanho, de papel filtro e umedecidas com água destilada. Os folíolos foram incubados durante 15 dias em câmara de crescimento com fotoperíodo de 12 h e temperatura de 23°C para verificar se haveria a formação de urédias de *P. pachyrhizi* nos folíolos de soja. Como resultado, não foram observados sintomas da FAS nos folíolos durante esse período, confirmando que o patógeno ainda não estava presente na área.

Vinte e quatro horas após a primeira aplicação de fungicida, quando ainda não havia a presença do patógeno causador da FAS na área, 20 folíolos de soja, com tamanho

médio de 50 cm<sup>2</sup>, foram coletados de cada terço da planta (inferior, médio e superior) dos tratamentos 1 ao 6, pela mesma razão citada anteriormente, mais a testemunha. Eles foram dispostos em câmaras úmidas em caixas gerbox, com a face abaxial voltada para cima. Um pedaço de algodão foi adicionado ao pecíolo, o qual foi saturado com água destilada, a fim de manter a hidratação dos folíolos.

Folhas com sintomas da FAS foram coletadas no campo experimental da Universidade de Passo Fundo, depositadas em um Erlenmeyer de 500 mL juntamente com 200 mL de água destilada e uma gota de espalhante Tween20<sup>®</sup>. Após agitação, filtrou-se a suspensão de esporos de *P. pachyrhizi* e a sua concentração foi ajustada para 5,0x10<sup>4</sup> uredosporos mL<sup>-1</sup>. Com o auxílio de um borrifador manual de 500 mL, plantas saudáveis, crescidas em casa de vegetação, foram inoculadas e cobertas com sacos plásticos pretos durante 36 h e incubadas a 23°C, para a germinação dos esporos. Em seguida, foram colocadas em caixas plásticas transparentes em câmara de crescimento, com fotoperíodo de 12 h, na mesma temperatura.

Quando houve o aparecimento dos sintomas nas folhas das plantas e verificada que a esporulação estava ocorrendo, esses folíolos foram utilizados para a produção de uma nova suspensão de esporos, a qual foi preparada da mesma forma descrita anteriormente. Desta vez, essa suspensão foi utilizada para a inoculação dos folíolos obtidos no campo, pela metodologia de folíolos destacados previamente descrita por Scherb & Mehl (2006) adaptado por Chechi et al. (2018). No entanto, como os folíolos estavam dispostos em caixas gerbox, elas foram fechadas e alocadas em câmara de crescimento, no escuro, com temperatura de 23°C por 24 horas, para estimular a germinação dos esporos. Passado esse período, foi alterado o fotoperíodo para 12 h. A cada dois dias foi adicionada água destilada ao algodão no pecíolo dos folíolos para manutenção da umidade. Após 20 dias de incubação, foi quantificado o número de urédias por cm<sup>-2</sup> na face abaxial de cada folíolo em microscópio estereoscópico.

Para as avaliações da área foliar, foram coletadas, quinzenalmente, três plantas por parcela, a partir dos estádios V4-V5 até o R6. Todos os folíolos das plantas foram destacados e submetidos à medição por meio de integralizador de área foliar da marca



Licor®. A área foliar das plantas foi multiplicada pelas suas respectivas populações de plantas por m<sup>2</sup> para estimar o índice de área foliar (IAF).

O monitoramento da área, de forma a verificar o início da ocorrência da FAS, foi realizado semanalmente a partir do momento da primeira aplicação de fungicidas. As avaliações da doença no campo foram efetuadas com o mesmo intervalo de tempo, a partir do momento da sua detecção na área. Para isso, coletaram-se três plantas por parcela para avaliação de incidência e severidade da FAS, em que a primeira foi realizada por meio da observação da presença ou ausência dos sintomas da doença nos folíolos e a segunda por meio da escala diagramática de Godoy et al. (2006). A porcentagem de controle da doença em relação à testemunha foi calculada pela fórmula de Abbott (1925).

A colheita foi realizada em 6,75 m<sup>2</sup> de cada parcela (três linhas centrais) por meio de uma colhedora de parcelas. As sementes foram beneficiadas, medidas quanto ao teor de umidade e pesadas em balança de precisão. Foi realizada a uniformização da umidade das sementes para 13% para determinação do rendimento (kg ha<sup>-1</sup>) e massa de mil sementes (g). As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância (ANOVA) (p<0,05) e comparação de médias pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

#### **5.4 Resultados e Discussão**

As combinações de volumes de calda e tamanhos de gota na aplicação de fungicidas influenciaram a severidade da ferrugem-asiática da soja, o índice de área foliar e a produtividade das cultivares de soja em ambas as safras.

Após a avaliação dos cartões hidrosensíveis, observou-se que para a cv. BMX Lança, o tratamento que proporcionou quantidade superior de impactos por cm<sup>2</sup> foi composto por 150 L ha<sup>-1</sup> de calda associado ao espectro de gotas fino (T5) nas três aplicações em 2017 (Tabela 3). Da mesma forma, esse tratamento se destacou na maioria dos casos em 2018. O uso de 110 L ha<sup>-1</sup> e gotas finas (T3) mostrou-se similar ao citado anteriormente apenas para o terço inferior da cultura na terceira aplicação.

Tabela 3 – Número de impactos por cm<sup>2</sup> depositados nos cartões hidrosensíveis dos terços superior, médio e inferior das cultivares de soja BMX Lança e BMX Garra, após aplicação de fungicida com diferentes volumes de calda e tamanhos de gota, nas safras 2016/2017 e 2017/2018. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Tratamentos (L ha <sup>-1</sup> /tamanho de gota)	Número de impactos por cm <sup>2</sup>								
	BMX Lança 2016/2017								
	Primeira aplicação (IAF <sup>4</sup> : 4,6)			Segunda aplicação (IAF: 5,1)			Terceira aplicação (IAF:5,8)		
	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
70/Fino	332 b <sup>2</sup>	126 c	29 b	106 b	41 <sup>ns 3</sup>	15 b	187 b	25 ns	16 c
70/Médio	128 c	74 c	16 b	122 b	23	9 b	102 b	22	8 d
110/Fino	297 b	229 b	128 b	124 b	69	17 b	361 a	21	21 b
110/Médio	180 c	119 c	53 b	135 b	60	7 b	139 b	17	12 d
150/Fino	451 a	418 a	296 a	368 a	62	29 a	325 a	16	28 a
150/Médio	244 c	118 c	55 b	225 b	32	134 b	251 a	28	17 c
CV(% <sup>5</sup> )	19,74	26,94	33,59	29,36	38,24	34,95	28,23	35,25	17,90
	BMX Lança 2017/2018								
	Primeira aplicação (IAF: 3,7)			Segunda aplicação (IAF: 4,3)			Terceira aplicação (IAF:4,9)		
	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
70/Fino	122 <sup>ns</sup>	62 b	8 <sup>ns</sup>	203 a	36 b	1 d	214 b	22 b	- <sup>1</sup>
70/Médio	119	37 b	7	139 b	7 c	1 d	161 b	17 b	-
110/Fino	224	46 b	10	279 a	33 b	2 c	359 b	35 a	-
110/Médio	383	78 b	11	241 a	7 c	3 c	151 b	18 b	-
150/Fino	255	185 a	16	254 a	58 a	7 a	595 a	31 a	-
150/Médio	143	108 b	13	225 a	11 c	4 b	334 b	13 b	-
CV (%)	46,49	36,76	53,70	18,45	38,28	20,18	14,56	29,54	
	BMX Garra 2016/2017								
	Primeira aplicação (IAF: 3,9)			Segunda aplicação (IAF: 5,0)			Terceira aplicação (IAF:7,1)		
	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
70/Fino	408 a	296 a	106 c	162 <sup>ns</sup>	49 <sup>ns</sup>	17 b	219 a	22 <sup>ns</sup>	11 a
70/Médio	103 b	73 b	18 d	111	21	19 b	93 b	14	1 b
110/Fino	536 a	307 a	178 b	190	39	28 a	261 a	21	16 a
110/Médio	223 b	84 b	24 d	323	72	12 b	78 b	13	2 b
150/Fino	477 a	320 a	266 a	250	119	41 a	227 a	21	18 a
150/Médio	144 b	116 b	84 c	157	64	18 b	142 b	19	19 a
CV(%)	33,61	40,7	38,2	54,21	71,64	38,98	26,63	41,48	35,37
	BMX Garra 2017/2018								
	Primeira aplicação (IAF: 4,1)			Segunda aplicação (IAF: 5,3)			Terceira aplicação (IAF:5,5)		
	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
70/Fino	150 c	25 <sup>ns</sup>	7 c	339 <sup>ns</sup>	15 d	3 b	198 c	34 c	2 c
70/Médio	142 c	21	7 c	84	10 d	1 b	84 d	24 c	4 c
110/Fino	245 b	105	13 b	250	64 b	13 a	301 b	60 b	6 b
110/Médio	149 c	93	13 b	104	42 c	5 b	167 c	12 c	5 b
150/Fino	313 a	75	18 a	240	97 a	8 a	362 a	107 a	8 a
150/Médio	24 b	56	12 b	113	57 b	11 a	281 b	76 b	5 b
CV(%)	18,51	53,11	7,86	58,98	11,35	32,56	11,9	19,56	13,77

<sup>1</sup>Dados não disponíveis. <sup>2</sup>Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05). <sup>3</sup>Não significativo ao F Teste a 5% de probabilidade de erro. <sup>4</sup>Índice de área foliar. <sup>5</sup>Coefficiente de variação.

Ainda, quanto à mesma variável, para a cv. BMX Garra em 2017, o tratamento com 150 L ha<sup>-1</sup> de calda e gotas finas (T5) continuou se destacando nas três aplicações, da mesma forma que o uso de 150 L ha<sup>-1</sup> e gotas médias (T6) apenas no terço inferior

para a terceira aplicação, 70 e 110 L ha<sup>-1</sup> e gotas finas (T1 e T3) nos terços superior e médio na primeira aplicação, inferior na segunda, e superior e inferior na terceira. Em 2018, o uso do maior volume de calda (150 L ha<sup>-1</sup>) com gotas finas (T5) apresentou resultados superiores da mesma forma que o uso da mesma taxa de aplicação e gotas médias (T6). O tratamento contendo 110 L ha<sup>-1</sup> e gotas finas (T3) foi similar aos citados anteriormente apenas no terço inferior na segunda aplicação.

As maiores densidades de impactos foram encontradas no terço superior da cultura para ambas as cultivares. Já os terços médio e inferior receberam menor quantidade, visto que as gotas encontravam barreiras para a movimentação nas próprias folhas. A primeira aplicação também permitiu uma melhor penetração de gotas ao longo do dossel, pois o espaço entre linhas de semeadura ainda não estava completamente fechado, estando as folhas de soja mais expostas no momento da aplicação. Tormen et al. (2012) observaram que à medida que as entrelinhas vão fechando com o crescimento da cultura, torna-se mais difícil atingir os estratos inferiores das plantas, pela maior densidade de folhas que atua como barreira para a penetração das gotas. Outro fator agravante é que o fungo causador da FAS inicia sua infecção no terço inferior da planta, justamente no local que geralmente recebe menor proteção pelas aplicações de fungicidas (RAETANO et al., 2007).

Na maioria dos casos, a utilização do maior volume de calda (150 L ha<sup>-1</sup>) e gotas finas (T5) apresentaram os maiores valores de densidade de impactos nas folhas nos três terços da planta. Isso pode ter ocorrido pois as gotas de espectro fino apresentam maior facilidade de penetração no interior do dossel das plantas e maior cobertura do alvo (CUNHA et al., 2006; ANTUNIASSI, 2012; TORMEN et al., 2012). Sabe-se que volume de calda e o diâmetro de gotas são inversamente proporcionais, dessa forma deve-se utilizar pontas de pulverização que produzam gotas mais finas e trabalhar com maiores volumes de calda, buscando alcançar a cobertura desejada em uma aplicação (ANTUNIASSI, 2012). Em ensaios com a utilização de volumes de calda variando entre 70 L ha<sup>-1</sup> e 200 L ha<sup>-1</sup>, verificou-se que o incremento do volume de aplicação proporcionou melhor deposição de gotas ao longo do perfil da cultura da soja (CUNHA et al., 2006; CUNHA et al., 2011; DALLA FÁVERA, 2012; DEBORTOLI et al., 2012;

ROEHRIG et al., 2018). Contudo, Cunha et al. (2008) e Prado et al. (2015) verificaram tendência de aumento da deposição do fungicida no alvo com o aumento do volume de calda, porém, não foram encontradas diferenças estatísticas, entre os volumes de calda, na densidade de gotas depositadas nas partes superior e inferior do dossel.

No teste de folíolos destacados, para a cv. BMX Lança, as porcentagens de controle da FAS dos tratamentos nos terços superior e médio foram estatisticamente similares e ficaram em torno de 97% e 73%, respectivamente. Quanto ao estrato inferior, o uso dos volumes de calda de 110 e 150 L ha<sup>-1</sup> e gotas de espectro fino mostraram-se superiores (T3 e T5) aos demais tratamentos, com porcentagens de controle entre 40% e 50%. Para a cv. BMX Garra, as porcentagens de controle da doença para todos os tratamentos não diferiram para os estratos superior (média de 97%) e inferior do dossel (média de 39%). Já, para o terço médio, apenas o uso do volume de calda de 70 L ha<sup>-1</sup> e gotas médias (T2) foi inferior (52,5% de controle) aos demais tratamentos (média de 76%) (Tabela 4).

Tabela 4 - Porcentagem de controle da ferrugem-asiática da soja no teste de folíolos destacados dos terços superior, médio e inferior do dossel das cultivares BMX Lança e BMX Garra na safra 2017/2018, em laboratório. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Tratamentos	BMX Lança Controle (%)		
	Superior	Médio	Inferior
70/F	96,8 <sup>ns*</sup>	73,8 <sup>ns</sup>	36,4 b <sup>***</sup>
70/M	96,5	67,0	24,6 b
110/F	97,1	75,3	43,8 a
110/M	96,5	70,0	33,5 b
150/F	97,6	77,0	48,8 a
150/M	97,3	75,3	36,7 b
CV <sup>**</sup> (%)	6,7	13,4	14,0
	BMX Garra Controle (%)		
	Superior	Médio	Inferior
70/F	97,3 <sup>ns</sup>	74,3 a	36,3 <sup>ns</sup>
70/M	96,2	52,5 b	26,5
110/F	97,6	74,3 a	48,1
110/M	95,7	79,7 a	32,5
150/F	97,8	80,6 a	48,1
150/M	97,8	70,8 a	40,6
CV(%)	8,8	12,2	15,3

\*Não significativo pelo F Teste a p<0,05. \*\* Coeficiente de variação.

\*\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

Os primeiros sintomas da doença foram observados na área próximo ao momento da terceira aplicação de fungicidas (estádios R3-R4) em ambas as safras. A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da testemunha (T13), sem a aplicação de fungicidas, acumulou 1452 (66% de severidade final) e 1106 (67%) unidades da doença para a cv. BMX Lança nos anos de 2017 e 2018, respectivamente. Para a cv. BMX Garra, os valores foram de 1290 (70%) e 1320 (58%) para os mesmos anos (Figura 1; Tabela 5).

Para a cultivar BMX Lança, tanto em 2017 como em 2018, os tratamentos com menor área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foram compostos pelos programas de aplicação contendo volumes crescentes de calda (70 L ha<sup>-1</sup> na primeira aplicação; 110 L ha<sup>-1</sup> na segunda e 150 L ha<sup>-1</sup> na terceira) e gotas finas na segunda e terceira aplicações, da mesma forma que o uso fixo de 150 L ha<sup>-1</sup> de calda em todas as aplicações, tanto com o emprego de gotas finas como médias (T7, T12, T5 e T6).

Para a cv. BMX Garra, os tratamentos que se destacaram na redução AACPD, em ambos os anos, foram aqueles com taxa de aplicação fixa de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, tanto com o uso de gotas finas ou médias (T5 e T6). Os tratamentos com o maior acúmulo de unidades da doença foram com o volume fixo de 70 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, para as duas cultivares testadas, independentemente do tamanho de gotas utilizado (T1 e T2), em ambas as safras. A área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPDR) foi calculada como forma de eliminar o efeito dos diferentes ciclos das cultivares. Os resultados mostraram que ambas apresentaram reações similares quanto à suscetibilidade à FAS.

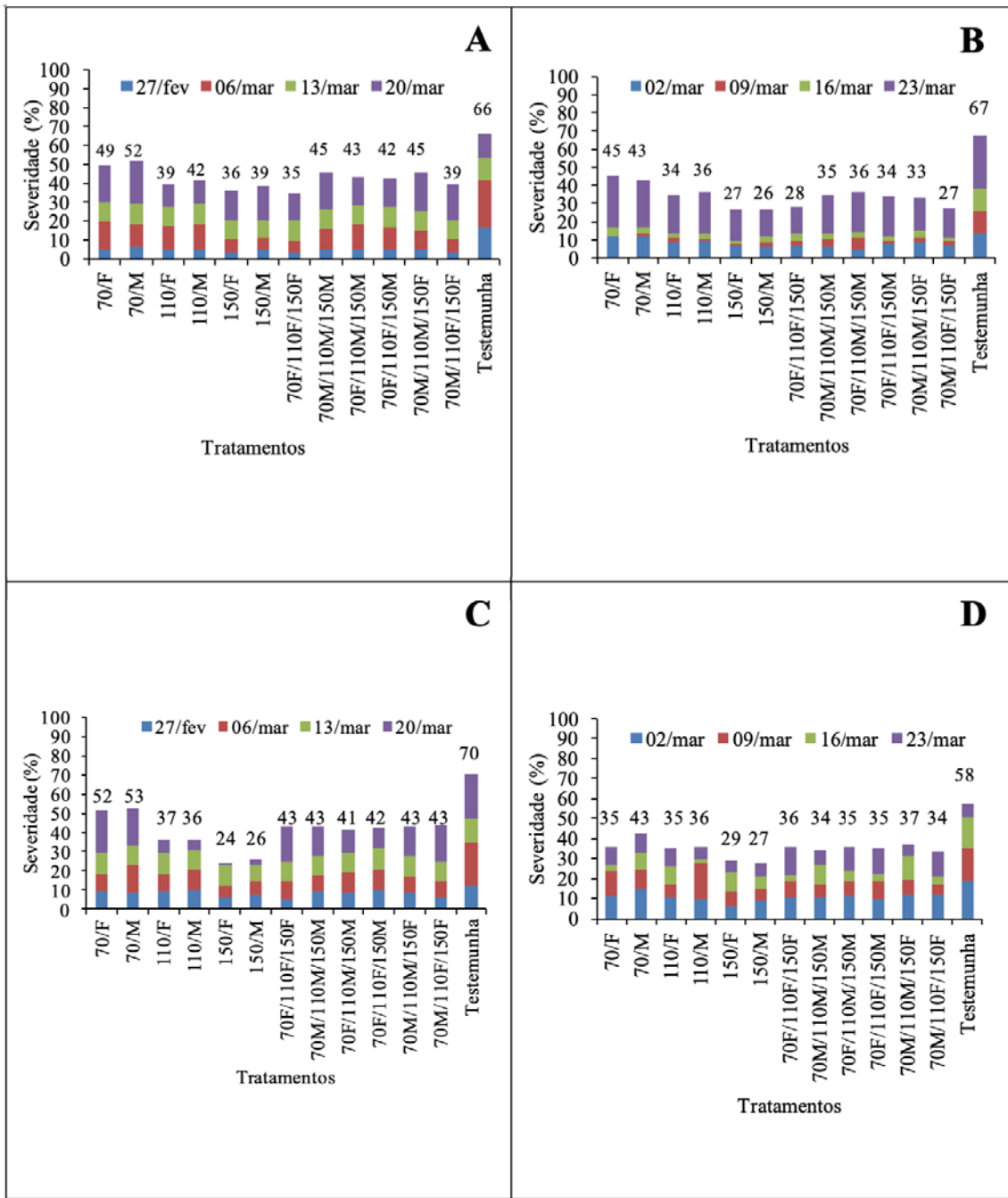


Figura 1 – Severidade da ferrugem-asiática acumulada ao final do ciclo da cultura, após quatro avaliações da doença nas cultivares de soja BMX Lança (A e B) e BMX Garra (C e D), nas safras 2016/2017 (A e C) e 2017/2018 (B e D).

Tabela 5 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e AACPD relativa (AACPDR) obtida pelas diferentes combinações de volumes de calda e tamanhos de gota utilizadas na aplicação de fungicida para o controle da ferrugem-asiática nas cultivares de soja BMX Lança e BMX Garra, nos ensaios a campo nas safras 2016/2017 e 2017/2018. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Tratamentos	2017			
	BMX Lança (ciclo 5.8)		BMX Garra (ciclo 6.3)	
	AACPD	AACPDR	AACPD	AACPDR
70/F	795,3 b	6,2	830,8 b	6,2
70/M	798,3 b	6,2	914,0 b	6,8
110/F	698,8 c	5,4	752,3 c	5,6
110/M	736,0 c	5,7	794,5 c	5,9
150/F	526,0 d	4,1	531,9 e	4,0
150/M	552,7 d	4,3	593,0 e	4,4
70F/110F/150F	511,4 d	4,0	663,5 d	5,0
70M/110M/150M	697,7 c	5,4	759,5 c	5,7
70F/110M/150M	737,3 c	5,7	773,0 c	5,8
70F/110F/150M	704,5 c	5,5	834,0 b	6,2
70M/110M/150F	684,6 c	5,3	747,6 c	5,6
70M/110F/150F	543,0 d	4,2	673,3 d	5,0
Testemunha	1451,8 a	11,3	1290,4 a	9,6
CV** (%)	7,1		7,7	
	2018			
70/F	630,1 b	4,9	808,9 c	6,0
70/M	635,9 b	4,9	929,7 b	6,9
110/F	503,2 c	3,9	704,4 d	5,3
110/M	509,7 c	3,9	844,8 c	6,3
150/F	375,3 d	2,9	569,9 e	4,3
150/M	395,1 d	3,1	588,1 e	4,4
70F/110F/150F	436,6 d	3,4	687,0 d	5,1
70M/110M/150M	473,9 c	3,7	716,8 d	5,3
70F/110M/150M	484,8 c	3,8	712,0 d	5,3
70F/110F/150M	467,3 c	3,6	676,3 d	5,0
70M/110M/150F	514,3 c	4,0	808,5 c	6,0
70M/110F/150F	411,8 d	3,2	655,0 d	4,9
Testemunha	1106,8 a	8,6	1320,3 a	9,9
CV (%)	7,4		6,4	

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

\*\* Coeficiente de variação.

Devido às condições de maior precipitação na safra 2017, as cultivares apresentaram maior quantidade de área foliar do que em 2018 (Figuras 2 e 3). O IAF no momento de cada aplicação foi de 4,6, 5,1 e 5,8 para a cv. BMX Lança em 2017 e de 3,7, 4,3 e 4,9 em 2018. A cv. BMX Garra atingiu IAF de 3,9, 5,0 e 7,1 em 2017 e de 4,1, 5,3 e 5,5 para 2018. As cultivares BMX Lança e BMX Garra estavam nos estádios V7-V8 no momento da primeira aplicação, em R1-R2 na segunda e R3-R4 na terceira, de acordo com a escala fenológica da cultura da soja (FEHR & CAVINESS, 1977).

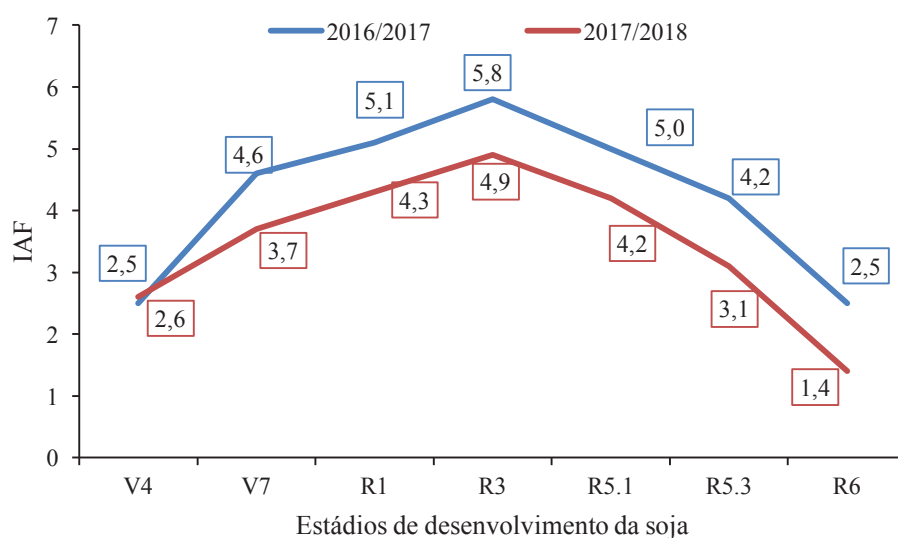


Figura 2 – Evolução do índice de área foliar (IAF) para a cultivar de soja BMX Lança nas safras 2016/2017 e 2017/2018.



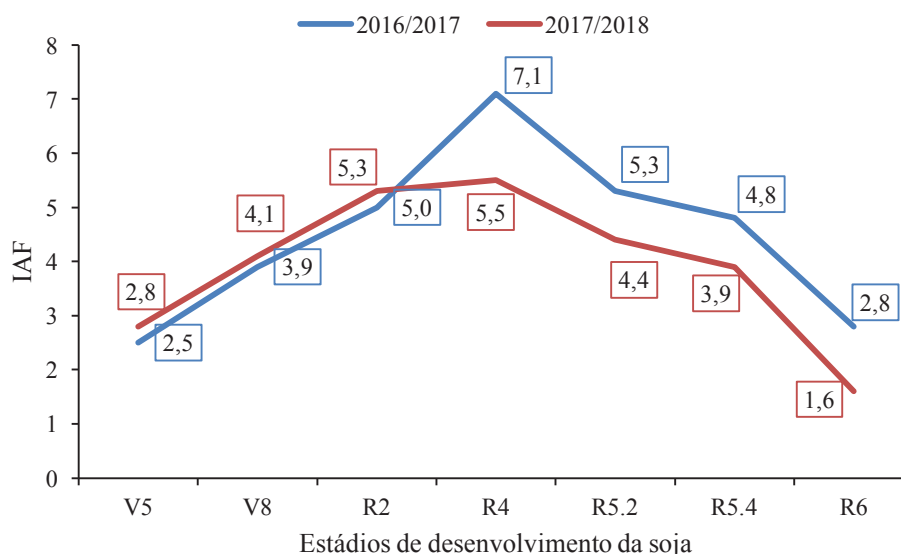


Figura 3 – Evolução do índice de área foliar (IAF) para a cultivar de soja BMX Garra nas safras 2016/2017 e 2017/2018.

Os valores de IAF ao final do enchimento de grãos (estádio R6) também foram maiores no ano de 2017 em comparação com 2018 (Tabela 6). Em 2017, os tratamentos que apresentaram maior quantidade de folhas ao final do estágio R6, para a cv. BMX Lança, foram os com os volumes fixos de calda de 110 e 150 L ha<sup>-1</sup> e gotas finas (T3, T5), 150 L ha<sup>-1</sup> com gotas médias (T6), e aqueles com volumes crescentes de calda em que foram utilizadas gotas finas, pelo menos, na terceira aplicação (T7, T11, T12), as quais apresentaram maior facilidade de penetração no perfil das plantas de soja. Os mesmos tratamentos se destacaram para o rendimento, com exceção do tratamento com volumes crescentes de calda, gotas médias na primeira e segunda, e finas na terceira aplicação (T11), o qual foi inferior. Esses tratamentos geraram incrementos de 1330 até 1697 kg ha<sup>-1</sup> em comparação com a testemunha. Quanto à massa de mil sementes, a maioria dos tratamentos foi similar, no entanto, aqueles contendo 70 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, com ambos os tamanhos de gota (T1 e T2) apresentaram-se inferiores aos demais e semelhantes à testemunha (T13).

Para a mesma cultivar, em 2018, apenas os tratamentos com o maior volume de calda (150 L ha<sup>-1</sup>) em todas as aplicações, com ambos os tamanhos da gota (T5 e T6), foram considerados estatisticamente superiores quanto ao IAF no estágio R6. Quanto ao

rendimento, não houve diferença estatística entre os tratamentos que receberam fungicida, sendo apenas a testemunha inferior a todos eles. No entanto, a aplicação de fungicidas proporcionou incremento em produtividade de 1054 até 1653 kg ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha. Ainda, quanto a massa de mil sementes, o volume fixo de 70 L ha<sup>-1</sup> com o uso dos diferentes tipos de gota (T1 e T2) obteve desempenho inferior a todos os outros tratamentos, porém, foi superior a testemunha (T13).

Para a cv. BMX Garra, em 2017, os melhores resultados para as três variáveis citadas anteriormente foram obtidos com a utilização do volume fixo de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, tanto com o emprego de gotas finas quanto médias (T5 e T6), com incremento de mais de 1500 kg ha<sup>-1</sup> quando comparados com a testemunha. Em 2018, os mesmos tratamentos continuaram se destacando como os melhores para o IAF da cultivar no estádio R6. No entanto, quanto ao rendimento e massa de mil sementes, todos os tratamentos foram similares (incrementos na produtividade variando de 1146 até 1448 kg ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha), com exceção daquele contendo 70 L ha<sup>-1</sup> e gotas médias (T2) em todas as pulverizações, o qual foi inferior aos demais, todavia, superior à testemunha (T13).

Tabela 6 – Índice de área foliar (IAF) ao final do enchimento de grãos (estádio R6), rendimento e massa de mil sementes (MMS) da cultura da soja para as cultivares BMX Lança e BMX Garra, nas safras 2016/2017 e 2017/2018. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Tratamentos	2016/2017					
	BMX Lança			BMX Garra		
	IAF	Rendimento (kg ha <sup>-1</sup> )	MMS (g)	IAF	Rendimento (kg ha <sup>-1</sup> )	MMS (g)
70/F	1,80 c	4558 c	156,2 b	2,41 c	4040 c	160,0 b
70/M	1,63 c	4504 c	155,8 b	2,26 c	3960 c	155,6 b
110/F	2,82 a	5271 a	167,5 a	2,79 b	4557 b	161,6 b
110/M	2,35 b	4901 b	167,2 a	2,87 b	4610 b	158,1 b
150/F	2,78 a	5638 a	170,1 a	3,50 a	4921 a	175,9 a
150/M	2,90 a	5306 a	169,6 a	3,36 a	4912 a	174,7 a
70F/110F/150F	2,83 a	5524 a	165,9 a	2,81 b	4551 b	158,1 b
70M/110M/150M	2,28 b	5041 b	166,2 a	2,70 b	4462 b	160,4 b
70F/110M/150M	2,18 b	4947 b	166,7 a	2,71 b	4571 b	162,7 b
70F/110F/150M	2,38 b	4997 b	167,2 a	2,69 b	4378 b	161,6 b
70M/110M/150F	2,80 a	5088 b	168,3 a	2,78 b	4557 b	160,4 b
70M/110F/150F	2,80 a	5402 a	168,6 a	2,70 b	4404 b	164,0 b
Testemunha	1,05 d	3941 d	137,8 c	1,48 d	3405 d	143,3 c
CV <sup>**</sup> (%)	13,98	7,07	3,97	14,42	5,88	3,40
	2017/2018					
70/F	0,92 d	4346 a	144,87 b	1,30 d	3985 a	165,5 a
70/M	0,91 d	4664 a	141,55 b	1,18 e	3298 b	136,0 b
110/F	1,70 b	4556 a	156,72 a	1,89 b	3935 a	174,5 a
110/M	1,63 b	4553 a	150,72 a	1,80 b	3814 a	160,5 a
150/F	1,95 a	4396 a	154,20 a	2,25 a	3839 a	156,4 a
150/M	1,84 a	4065 a	155,40 a	2,40 a	3929 a	164,6 a
70F/110F/150F	1,65 c	4221 a	152,97 a	1,56 c	3942 a	163,5 a
70M/110M/150M	1,34 c	4395 a	156,47 a	1,31 d	4116 a	166,7 a
70F/110M/150M	1,29 c	4208 a	158,02 a	1,31 d	4086 a	164,9 a
70F/110F/150M	1,30 c	4100 a	150,62 a	1,20 e	4093 a	161,1 a
70M/110M/150F	1,25 c	4351 a	157,75 a	2,00 b	3976 a	166,1 a
70M/110F/150F	1,31 c	4565 a	159,12 a	1,71 b	3827 a	159,5 a
Testemunha	0,90 d	3011 b	139,10 b	0,97 e	2668 c	123,7 c
CV (%)	11,32	7,71	4,93	10,23	5,87	4,77

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

\*\* Coeficiente de variação

Tabela 7 – Ganho médio (GM) e rendimento relativo (RR) de cada tratamento comparado com a testemunha para as cultivares de soja BMX Lança e BMX Garra nas safras 2016/2017 e 2017/2018. UPF, Passo Fundo/RS, 2019

Tratamentos	2016/2017					
	BMX Lança			BMX Garra		
	GM (kg ha <sup>-1</sup> )	Sacas ha <sup>-1</sup>	RR (%)	GM (kg ha <sup>-1</sup> )	Sacas ha <sup>-1</sup>	RR (%)
70/F	617	10,3	115,7	635	10,6	118,6
70/M	563	9,4	114,3	555	9,3	116,3
110/F	1330	22,2	133,7	1152	19,2	133,8
110/M	960	16,0	124,4	1205	20,1	135,4
150/F	1697	28,3	143,1	1516	25,3	144,5
150/M	1365	22,8	134,6	1507	25,1	144,3
70F/110F/150F	1583	26,4	140,2	1146	19,1	133,7
70M/110M/150M	1100	18,3	127,9	1057	17,6	131,0
70F/110M/150M	1006	16,8	125,5	1166	19,4	134,2
70F/110F/150M	1056	17,6	126,8	973	16,2	128,6
70M/110M/150F	1147	19,1	129,1	1152	19,2	133,8
70M/110F/150F	1461	24,4	137,1	999	16,7	129,3
Testemunha	-	-	100,0	-	-	100,0
	2017/2018					
70/F	1335	22,3	144,3	1317	22,0	149,4
70/M	1653	27,6	154,9	630	10,5	123,6
110/F	1545	25,8	151,3	1267	21,1	147,5
110/M	1542	25,7	151,2	1146	19,1	143,0
150/F	1385	23,1	146,0	1171	19,5	143,9
150/M	1054	17,6	135,0	1261	21,0	147,3
70F/110F/150F	1210	20,2	140,2	1274	21,2	147,8
70M/110M/150M	1384	23,1	146,0	1448	24,1	154,3
70F/110M/150M	1197	20,0	139,8	1418	23,6	153,1
70F/110F/150M	1089	18,2	136,2	1425	23,8	153,4
70M/110M/150F	1340	22,3	144,5	1308	21,8	149,0
70M/110F/150F	1554	25,9	151,6	1159	19,3	143,4
Testemunha	-	-	100,0	-	-	100,0

Prado e colaboradores (2015) testando taxas de aplicação para o controle da FAS entre 60 e 160 L ha<sup>-1</sup>, verificaram que o volume de calda de 160 L ha<sup>-1</sup> promoveu maior controle da doença e rendimento de sementes. Povh e Anjos (2015), ao testar a eficácia de controle da mesma doença, com sete taxas de aplicação de fungicidas, verificaram que o volume de calda que proporcionou o melhor controle da FAS e maior produtividade da soja variou entre 135 e 140 L ha<sup>-1</sup>. Roehrig et al. (2018), testando volumes de calda entre 40 e 160 L ha<sup>-1</sup> verificaram que o volume de calda de 130 L ha<sup>-1</sup> mostrou-se superior aos demais no rendimento de sementes de soja, sendo estatisticamente similar ao de 160 L ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, Cunha et al. (2006, 2008) não encontraram diferenças significativas

quanto ao rendimento da cultura com o aumento na taxa de aplicação.

Em geral, observou-se que em 2017, a cultivar BMX Lança atingiu IAF máximo de 5,8 e os volumes crescentes de calda, com gotas finas tanto na segunda como na terceira aplicações apresentaram efeito similar à utilização do maior volume de calda (150 L ha<sup>-1</sup>) em todas as aplicações para o rendimento de sementes de soja. Em 2018, a cultivar apresentou IAF máximo de 4,9 e observou-se que todos os tratamentos que receberam fungicida foram similares quanto à mesma variável.

Para a cultivar BMX Garra em 2017, o IAF máximo foi de 7,1 e os maiores valores de rendimento foram observados com a utilização dos volumes fixos de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, independentemente do tamanho de gotas. Já no ano de 2018, o máximo IAF encontrado foi de 5,5 e não houve diferença estatística entre os tratamentos que receberam fungicida, exceto aquele com 70 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações e gotas médias, o qual foi inferior aos demais.

Desta forma, este estudo concorda com os resultados obtidos por Debortoli et al. (2012), em que foi observado que cultivares com maior quantidade de ramificações e índice de área foliar demandam maior cobertura de gotas, sendo que o aumento de volume de calda pode promover cobertura e penetração adequados para proteger o tecido foliar da soja contra o patógeno (BUTZEN et al., 2005), mesmo com a utilização de gotas médias, como foi observado neste trabalho. Nos estádios reprodutivos da cultura, quando as plantas apresentaram elevados valores de IAF, o controle da doença se torna ainda mais difícil (OZKAN et al., 2006).

Cechi et al. (2018), testando diferentes volumes de calda e doses de fungicidas no controle de doenças em soja verificou que para cultivares com IAF menor que seis, o volume de 100 L ha<sup>-1</sup> apresentou valores para o rendimento de sementes similares ao uso de 150 e 200 L ha<sup>-1</sup>. Para o IAF entre seis e sete, o volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> mostrou-se o mais indicado, uma vez que superou o de 100 L ha<sup>-1</sup> e foi similar ao de 200 L ha<sup>-1</sup> quanto à produtividade. Em cultivares com IAF superior a sete, o volume de calda que proporcionou maior rendimento de sementes foi com a utilização de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Como o índice de área foliar foi reduzido para as cultivares de soja no ano de 2018, o uso do volume de calda fixo de 70 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações, independentemente do tamanho de gotas, para a cv. BMX Lança (IAF máximo de até 4,9) e para o mesmo volume de calda com uso de gotas finas para a cv. Garra (IAF até 5,5), não foram estatisticamente diferentes dos outros tratamentos para o rendimento de sementes no mesmo ano.

Variações nas taxas de aplicação de fungicidas podem resultar em diferentes controles do patógeno (MADALOSSO et al., 2012). Buscando aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, volumes de calda reduzidos estão sendo praticados. No entanto, eles podem ocasionar efeitos negativos à eficácia de controle da doença e ao residual do fungicida, uma vez que a redução da água no interior do tanque para a mesma quantidade de ingrediente ativo recomendada gera menor diluição, requerendo maior precisão na aplicação (MADALOSSO et al., 2012). Essa redução requer incremento da tecnologia de aplicação e o acompanhamento constante das condições atmosféricas, as quais podem dificultar o atingimento do alvo (CUNHA et al., 2014).

Mesmo que a utilização de gotas finas e do maior volume de calda (150 L ha<sup>-1</sup>) (T5) tenha apresentado valores superiores quanto a densidade de impactos ao longo do perfil da planta de soja, os outros tratamentos foram similares a ele quanto ao rendimento no ano de 2018, novamente, quando o IAF das cultivares foi reduzido, indicando que a quantidade de gotas cm<sup>-2</sup> das outras combinações de volumes de calda e tamanhos de gotas na aplicação também foram suficientes para proteger o tecido foliar da soja contra o patógeno. Ressalta-se, no entanto, que o patógeno apareceu próximo ao momento da terceira aplicação (R3-R4), com severidade final da FAS em torno de 67% para aquele ano.

Entende-se, por tais fatos, que a utilização de volumes crescentes de calda (70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>), de acordo com o crescimento da cultura, é uma opção segura e que pode ser utilizada no campo, desde que o IAF máximo das culturas não ultrapasse 6,0, que as aplicações sejam iniciadas preventivamente e antes do fechamento total das entrelinhas, que sejam respeitados os intervalos entre aplicações dos produtos e

monitorada a pressão da doença. Em casos em que o IAF máximo da cultivar superar 6,0, deve-se optar pela utilização do volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações. Quanto maior o índice de área foliar e a pressão de doença, maior é a necessidade de proteção das cultivares, sendo que o uso de maiores volumes de calda promoveu maior proteção da área foliar frente ao patógeno e as gotas finas apresentaram maior capacidade de penetrar ao longo do dossel.

## **5.5 Conclusões**

As combinações de volumes de calda e tamanhos de gota reduziram a severidade da ferrugem-asiática, aumentaram o índice de área foliar, incrementando significativamente o rendimento de sementes das cultivares de soja nos experimentos a campo, em ambas as safras.

A escolha do volume de calda e espectro de gotas a ser utilizado deve levar em consideração o índice de área foliar da cultura no momento da aplicação, sendo que quanto maior a área foliar, maior é a dependência da utilização de gotas de espectro fino e a necessidade de incremento na taxa de aplicação, proporcionando maior cobertura do alvo e, conseqüentemente, maior controle da doença.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da resistência de *Phakopsora pachyrhizi* aos fungicidas é uma ferramenta importante para determinar quais fungicidas são mais eficientes no controle da doença e para a escolha da técnica de aplicação que melhor se ajusta em cada caso. Os multissítios têm papel essencial dentre as estratégias de manejo da ferrugem-asiática da soja pois apresentam risco mínimo de perda de sensibilidade do fungo a eles, devendo ser utilizados juntamente com produtos de sítio-específico, buscando prolongar a vida útil destes e melhorar a eficácia do controle da doença.

Ressalta-se a importância do acompanhamento da ocorrência de chuvas antes e após a realização da aplicação de fungicidas no campo, sendo que eles não devem ser aplicados quando a chuva é iminente, uma vez que ela causa a lixiviação dos fungicidas do tecido foliar das plantas, resultado em redução do controle da FAS, além de despesas desnecessárias ao produtor e contaminação ambiental.

A utilização de volumes crescentes de calda (70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>), de acordo com o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja, é uma opção segura que pode ser utilizada no campo, desde que o IAF máximo da cultivar não ultrapasse 6,0, que as aplicações sejam iniciadas preventivamente e antes do fechamento total das entrelinhas, que sejam respeitados os intervalos entre aplicações dos produtos e monitorada a pressão da doença. No entanto, quando o IAF máximo for maior que seis, deve-se optar pelo volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> em todas as aplicações.

A utilização de volumes de calda reduzidos, escolha incorreta de pontas de pulverização e condições atmosféricas adversas fazem com que ocorra o depósito de superdoses no terço superior da cultura, enquanto subdoses atingem os terços médio e inferior, fatores esses, que levam ao aumento do risco de seleção de isolados resistentes do fungo, acarretando falhas no controle da doença.



## **7 CONCLUSÕES GERAIS**

Os fungicidas apresentam diferentes níveis de fungitoxicidade aos isolados dos distintos locais testados. Os fungicidas de sítio-específico são altamente ou moderadamente tóxicos enquanto os multissítios são considerados moderadamente ou pouco tóxicos.

O quanto mais próximo do momento da aplicação do fungicida a chuva ocorrer, maior é a remoção do produto e a redução no controle da doença, sendo que os fungicidas não-penetrantes são mais suscetíveis à lixiviação do que os penetrantes. O volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> atenua em uma hora o impacto da chuva sobre a absorção ou retenção do fungicida na superfície foliar, promovendo maior controle da doença.

A escolha do volume de calda e espectro de gotas a ser utilizado deve levar em consideração o índice de área foliar da cultura no momento da aplicação. Quanto maior o índice de área foliar e a pressão de doença, maior é a necessidade de proteção das plantas de soja, sendo que o uso de maiores volumes de calda promove maior proteção da área foliar e gotas finas têm maior capacidade de penetrar ao longo do dossel, proporcionando maior cobertura do alvo e maior controle da FAS.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of on insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265- 267, 1925.
- AKAMATSU, H.; YAMANAKA, N.; YAMAOKA, Y.; SOARES, R. M.; MOREL, W.; IVANCOVICH, A. J. G.; BOGADO, A. N.; KATO, M.; YORINORI, J. T.; SUENAGA, K. Pathogenic diversity of soybean rust in Argentina, Brazil, and Paraguay. **Journal of General Plant Pathology**, v. 79, p. 28-40, 2013.
- ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças da soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia**. 4. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. 663 p.
- ANTUNIASSI, U. R; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Eds). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 145-184.
- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação para o controle da ferrugem da soja. In: WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE A FERRUGEM-ASIÁTICA, 1., 2005, Uberlândia. **Coletânea...** Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 193-219.
- ANTUNIASSI, U. R. **Tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja**. In: SUZUKI, S., YUYAMA, M. M., CAMACHO, S. A. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 2006. (Boletim Técnico de Pesquisa Soja 2006).

- ANTUNIASSI, U. R. **Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja**. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. (Boletim, n. 13).
- ANTUNIASSI, U. R. **Tecnologia de aplicação: conceitos básicos, inovações e tendências**. FCA/UNESP: Botucatu/SP, 2012. 32 p.
- ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETO, R. G. **Entendendo a tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2017. 52 p.
- ASABE. **Calibration and Distribution Pattern Testing of Agricultural Aerial Application Equipment (ASAE S386.2)**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004.
- ASABE. **Droplet size classification**. Disponível em: <[https://cdn2.hubspot.net/hub/95784/file-32015844-pdf/docs/asabe\\_s572.1\\_droplet\\_size\\_classification.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hub/95784/file-32015844-pdf/docs/asabe_s572.1_droplet_size_classification.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2017.
- AVENOT, H. F.; MICHAILEDIS, T. J. Resistance to boscalid fungicide in *Alternaria alternata* isolates from pistachio in California. **Plant Disease**, v. 91, p. 1345-1350, 2007.
- AVILA-ADAME, C.; KÖLLER, W. Characterization of spontaneous mutants of *Magnaporthe grisea* expressing stable resistance to the Qo-inhibiting fungicide azoxystrobin. **Current Genetics**, v.42, n.6, p.332–338, 2003.
- AZEVEDO, L. A. S. Qualidade da aplicação de fungicidas protetores. In: \_\_\_\_\_. **Fungicidas protetores: fundamentos para o uso racional**. Campinas: Camopi, 2003. pp. 121-132.

- BALARDIN, R. S.; MADALOSSO, M. G.; STEFANELLO, M. T.; MARQUES, L. N.; DEBORTOLI, M. P. **Mancozebe**: muito além de um fungicida. Porto Alegre: Bookman, 2017.
- BLUM, M. M. C. **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2009. 173p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.
- BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Apostila preparada para o curso de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS. 2013. 25 p.
- BRASMAX GENÉTICA. Cultivares de soja. 2019. Disponível em: <<http://www.brasmaxgenetica.com.br/>>. Acesso em: 02 mai. 2019.
- BRENT, K. J.; HOLLOMON, D. W. **Fungicide resistance in crop pathogens: how can it be managed?** 2. ed. Brussels: FRAC, 2007. 58 p. (FRAC Monograph 1).
- BURDON, J. J., & SILK, J. Sources and patterns of diversity in plant-pathogenic fungi. **Phytopathology**, v. 87, p. 664–669, 1997.
- BUTZEN, S. Asian soybean rust: fungicides. **Crop Insights**, v. 15, n. 2, p. 1-5, 2005.
- BUZZERIO, N. F. **Strobilurin fungicide *in vitro* agar plate test for *Phakopsora pachyrhizi***. Holambra: Syngenta Field Station, 2006. 3 p.
- CABRAS, P.; ANGIONI, A.; GARAU, V. L.; MELIS, M.; PIRISI, F. M.; CABITZA, F.; PALA, M. The effect of simulated rain on folpet and mancozeb residues on grapes and wine leaves. **Journal of environmental Science and Health**, v. 36, n. 5, p. 609-618, 2001.

CHECHI, A.; BOLLER, W., FORCELINI, C. A.; ROEHRIG, R.; ZUCHELLI, E. Leaf area, spray volume and applicable quantities of fungicide during the protection period for control of Asian soybean rust. **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 4, p. 326-331, 2018.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Teejet, 1999. (Boletim técnico, n. 5).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries Históricas**. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim da safra de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Ed.) **Fungicide: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1967. p. 239-86.

CUNHA, J. P. A. R. da; REIS, E. F.; SANTOS, R. O. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e volume de calda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1360-1366, 2006.

CUNHA, J. P. A. R. da; MOURA, E. A. C.; SILVA JUNIOR, J. L.; ZAGO, F. A.; JULIATTI, F. C. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 283-291, 2008.

CUNHA, J. P. A. R. DA; COELHO, L.; ARAÚJO, R. G. C. Spray nozzle and adjuvant effects on fungicidal control of soybean Asian rust. **Interciência**, v. 35, n. 10, p. 765-768, 2010.

- CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.
- CUNHA, J. P. A. R.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. F. Tecnologia de aplicação de fungicida no controle da ferrugem-asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em Minas Gerais e Goiás. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 950-957, 2014.
- DALLA FÁVERA, D. **Pontas de pulverização e taxas de aplicação sobre o controle da ferrugem-asiática em cultivares de soja com diferentes arquiteturas de planta**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- DEBORTOLI, M. P. **Efeito do “rainfastness” e adjuvante na aplicação de fungicidas foliares em cultivares de soja**. 56 f. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola – Proteção de plantas) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- DEBORTOLI, M. P.; TORMEN, R. N.; BALARDIN, R. S.; FAVERA, D. D.; STEFANELLO, M. T.; PINTO, F. F.; UEBEL, J. D. Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem-asiática-da-soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 920-927, 2012.
- DEKKER, J. Resistance. In: MARSHALL, R.W. **Systemic fungicides**. London: Butler& Tanner, 1977. pp. 176-197.
- DODDS, P. N.; RATHJEN, J. P. Plant immunity: towards an integrated view of plant-pathogen interactions. **Nature Reviews Genetics**, v. 11, p. 539-548, 2010.
- EDGINGTON, L. V.; KHEW, K. L.; BARRON, G. L. Fungitoxic spectrum of benzimidazole compounds. **Phytopathology**, v. 61, p. 42-44, 1971.

EHR, R.J.; KEMMITT, G. **Periodic table of the fungicides**. Indianapolis: Dow Agrosciences. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja** - região central do Brasil 2004. Embrapa Soja: Londrina, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 02 out. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Clima de Passo Fundo**. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/Clima\\_de\\_Passo\\_Fundo.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/Clima_de_Passo_Fundo.pdf)>. Acesso em 20 dez. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops and livestock products**. 2016. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/beta/en/?#data/TP>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.

FERNÁNDEZ-ORTUÑO, D.; TORÉS, J. A.; VICENTE, A.; PÉREZ-GARCÍA, A. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. **International Microbiology**, v. 11, n. 1, p. 1- 10, 2008.

FERNÁNDEZ-ORTUÑO, D.; TORÉS, J. A.; VICENTE, A.; PÉREZ-GARCÍA, A. The QoI fungicides, the rise and fall of a successful class of agricultural fungicides. IN: CARISSE, O. (Org.). **Fungicides**. Croatia: Intechopen, 2010. p. 203-2020.

FERREIRA, M. C. Aplicações de fungicida para o controle da ferrugem asiática da soja e interações com diferentes arranjos espaciais da cultura. 2009. 62 f. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Fitopatologia. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

- FIALLOS, F. R. G. **Efeito de programas de aplicação de fungicidas no progresso da ferrugem, no seu controle e na área foliar da soja.** 2010. 110f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, RS. 2010.
- FIALLOS, F. R. G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. **Ciência y tecnología**, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2011.
- FRAC – Classification of fungicides. 2019. Disponível em: <[http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-mode-of-action-poster/frac-moa-poster-2019-final\\_v2.pdf?sfvrsn=72d04b9a\\_2](http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-mode-of-action-poster/frac-moa-poster-2019-final_v2.pdf?sfvrsn=72d04b9a_2)>.. Acesso em 24 abr. 2019.
- GHINI, R.; KIMATI, H. **Resistência de fungos a fungicidas.** 1.ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 78 p.
- GISI, U.; SIEROTZKI, H.; COOK, A.; MCCAFFERY, A. Mechanisms influencing the evolution of resistance to QoI inhibitor fungicides. **Pest Management Science**, v. 58, n. 9, p. 859-867, 2002.
- GISI, U.; SIEROTZKI, H. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. **Plant Pathology**, v. 122, n. 1, p. 157-167, 2008.
- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.
- GODOY, C. V.; SILVA, L. H. C. P., UTIAMADA, C. M.... CARLIN, V. J. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, Phakopsora pachyrhizi, na safra 2008/2009:** Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2010.



- GODOY, C. V.; MEYER, M. C. **Resistência a fungicidas na cultura da soja**. 2014. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/995684/1/Resistenciaafungicidasna.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2018.
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D.; SOARES, R. M.; GUIMARÃES, F. C. M.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 407-421, 2016.
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; ADEGAS, F. S. **Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem-asiática da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. (Comunicado Técnico 92).
- GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. O. N.; DIAS, A. R. et al. 2018. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, Phakopsora pachyrhizi, na safra 2017/2018**: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094386>. Acesso em 22 dez. 2018.
- GULLINO, M. L.; TINIVELLA, F.; GARIBALDI, F.; KEMMITT, G. M.; BACCI, L.; SHEPPARD, B. Mancozeb: past, presente and future. **Plant Disease**, v. 94, n.9, p. 1076-1087, 2010.
- HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. Rust. IN: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (Eds) **Compendium of soybean diseases and pests**. St. Paul: American Phytopathological Society, 2015.

- HIRAKURI, M. H. **Avaliação econômica da produção de soja para a safra 2014/15.** Londrina: Embrapa Soja, 2014. 22 p. (Circular Técnica, 107).
- HOFFMANN, L. **Controle da ferrugem asiática da soja e suas relações com a planta, manejo e tecnologia de aplicação.** 2016. 176 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Passo Fundo, 2016.
- HOLLOMON, D. W. Fungicide resistance: facing the challenge. **Plant protection science**, v. 41, n. 4, p. 170-176, 2015.
- HUNSHE, M.; DAMEROW, L.; SHMITZ-EIBERGER, M.; NOGA, G. Mancozeb wash-off from apple seedlings by simulated rainfall as affected by drying time of fungicide deposit and rain characteristics. **Crop Protection**, v. 26, n. 5, p. 768-744, 2007.
- HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economy Botanic.**, v. 24, n. 4, 1970. p. 408-421.
- INGUAGIATO, J. C.; MIELE, K. M. Influence of simulated rainfall on efficacy of fluazinam, chlorothalonil and iprodione for dollar spot control in creeping bentgrass. **Crop Protection**, v. 83, n. 1, p. 48-55, 2016.
- JULIATTI, F. C. **Bioensaio com populações menos sensíveis da ferrugem da soja em Minas Gerais e Mato Grosso e fungicida Opera® (Epoconazol + Piraclostrobina)** – 10 anos de contribuições para o manejo de doenças na cultura. São Paulo: Top Ciência Basf, 2013. 12p.
- JULIATTI, F. C.; POLLONI, L. C.; MORAIS, T. P.; ZACARIAS, N. R. S.; SILVA, E. A.; JULIATTI, B. C. M. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* populations to dithiocarbamate, chloronitrile, triazole, strobilurin, and carboxamide fungicides. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, p. 933-943, 2017.

- KAARS-SIJPESTEIJN, A. Mechanism of action of fungicides. In: DEKKER, J. AND GEORGOPOULOS, S. G. (Eds.) **Fungicide Resistance in Crop Plants**. Wageningen: Center for Agricultural Publishing and Documentation, 1982. pp. 32-45
- KLAPPACH, K. **Informação sobre carboxamidas em ferrugem da soja**. Frac International, SDHI – Working group. Informativo 01/2017, 2017.
- KLOSOWSKI, A. C.; DE MIO, L. L. M.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Manager Science**, v. 72, n. 6, p. 1211-1215, 2016.
- LEIVA, P. D. **Concepto de Calidad de Aplicación en pulverización agrícola**. Pergamino, BA: INTA, 2010.
- LENZ, G.; BALARDIN, R. S.; MINUZZI, S. G.; TORMEN, N.R.; MARQUES, L. N. Espectro de gotas e idade de trifólios na taxa de absorção e efeito residual de fungicidas em soja. **Ciência Rural**, v. 4, n. 10, p. 1702-1708, 2011.
- LEROUX, P.; WALKER, A. S. Multiple mechanisms account for resistance to sterol 14  $\alpha$ -demethylation inhibitors in field isolates of *Mycosphaerella graminicola*. **Pest Management Science**, v. 67, n. 1, p. 44-59, 2011.
- LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in southern Africa. **Plant Disease**, v. 89, n. 1, p. 669-674, 2015.
- LUDWIG, R. D., AND THORN, G. D. Chemistry and mode of action of Dithiocarbamate fungicides. **Adv. Pest Control Res.**, v. 30, p. 219-252, 1960.
- MADALOSSO, M.; DALLA FÁVERA, D.; BALARDIN, R. **Aplicação planejada: Taxas de aplicação no controle da ferrugem-asiática em diferentes cultivares de soja**. Santa Maria: Intituto Phytus, 2012. 7 p.

- MALANDRAKIS, A. A.; MARKOGLU, A. N.; NIKOU, D. C.; VONTAS, J. G.; ZIOGAS, B. N. Biological and molecular characterization of laboratory mutants of *Cercospora beticola* resistant to QoI inhibitors. **European Journal of Plant Pathology**, v. 116, p. 155–166, 2006.
- MAPA (Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento). **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (Agrofit)**. Available at: <  
[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em:  
jan. 2019.
- MARKOGLU, A. N.; MALANDRAKIS, A. A.; VITORATOS, A. G.; ZIOGAS, B. N. Characterization of laboratory mutants of *Botrytis cinerea* resistant to QoI Fungicides. **European Journal of Plant Pathology**, v. 115, p. 149–162, 2006.
- MARQUÉZ, L. **Tecnología para la aplicacion de productos fitossanitários**. Madri: Universidad Politécnica de Madrid, 1997.
- MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. **Plant pathologist's pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.
- MOURA, B.; BOLLER, W.; DEUNER, C. C. *In vitro* Determination of Fungicide Inhibitory Concentration for *Phakopsora pachyrhizi* isolates. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p, 170-171, 2016.
- MOURA, B. **Ferrugem-asiática da soja: interações entre cultivares e volumes de calda no controle da doença e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2018. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

- NASCIMENTO, J. M.; SOUZA, C. M. A.; GAVASSONI, W. L.; BACCHI, L. M.; FENGLER, G. W. Controle de ferrugem-asiática da soja utilizando-se diferentes pontas de pulverização em Maracaju-MS. **Ciencias Técnicas Agropecuárias**, v. 18, p. 1-6, 2009.
- NICOLINI, F.; REIS, E. M.; ZOLDAN, E. M.; DANELLI, A. L. D.; ZANATTA, M.; AVOZANI, A.; TONIN, R. B.; GARCÉS, F. R. Efeito de temperaturas na germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 1, p. 143, 2010.
- NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.
- OLIVEIRA, M. A. P. **Remoção pela chuva de diferentes formulações de flutriafol aplicada em soja, com e sem a adição de óleo mineral na calda**. 2009. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009.
- OZEKI, Y.; KUNZ, R.P. Tecnologia de aplicação aérea: aspectos práticos. In: CURSO E ATUALIZAÇÃO: TECNOLOGIA E SEGURANÇA NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS, 1996, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM / Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1996. p.65-78.
- OZKAN, H. E.; ZHU, H.; DERKSEN, R. C.; GULER, H.; KRAUSE, C. **Evaluation of various spraying equipment for effective application of fungicides to control Asian soybean rust**. International advances in pesticide application. Cambridge: Robinson College, 2006. p. 423-431.

- PARREIRA, D. F.; NEVEZ, W. S.; ZAMBOLIM, L. Resistência de fungos a fungicidas inibidores de quinona. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 3, n. 2, p. 24, 2009.
- PEDERSEN, P.; LAUER, J. G. Soybean growth and development in various management systems and planting dates. **Crop Science**, v. 44, p. 508–515, 2004.
- PEREZ-RODRIGUEZ, P.; SOTO-GOMEZ, D.; LOPEZ-PERIAGO, J. E.; PARADELO, M. Modeling raindrop strike performance on cooper wash-off from vine leaves. **Journal of Environmental Management**, v. 150, n. 1, p. 472-478, 2015.
- PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicadospor pulverização aérea. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 45-56, jan. 1999.
- PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. **Biocinética**. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>>. Acesso em 02 mai. 2019.
- PIGATI, R. L.; DERNOEDEN, P. H.; GRYBAUSKAS, A. P. Simulated Rainfall and Mowing Impact Fungicide Performance When Targeting Dollar Spot in Creeping Bentgrass. **Plant Disease**, v. 94, n. 5, p. 596-603, 2010.
- POVH, F. P.; dos ANJOS, W. de P. Influência da taxa de aplicação no controle da ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja. In: VII SINTAG. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282252282\\_Influencia\\_da\\_Taxa\\_de\\_Aplicacao\\_no\\_Controlo\\_da\\_Ferrugem\\_Asiatica\\_Phakopsora\\_pachyrhizi\\_da\\_Soja](https://www.researchgate.net/publication/282252282_Influencia_da_Taxa_de_Aplicacao_no_Controlo_da_Ferrugem_Asiatica_Phakopsora_pachyrhizi_da_Soja). Acesso em: 14 out 2018.

- PRADO, E. P.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; SAULO I. A.; COSTA, S. I. A.; CHRISTOVAM, R. S. Taxa de aplicação e uso de surfactante siliconado na deposição da pulverização e controle da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 514-527, 2015.
- RAETANO, C. G. Assistência de ar e outros métodos de aplicação a baixo volume em culturas de baixo fuste: A soja como modelo. **Summa Phytopathologica**, v. 33, p. 105-106, 2007.
- RAMOS, J. P., DOMINGUES, L. S.; DEBONA, D.; FAVENA, D. D.; MANFIO, A.; LENZ, G.; BALARDIN, R. S. Arranjo populacional no manejo da ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, p. 178, 2009.
- RANI, R.; SHARMA, V. K.; KUMAR, P.; MOHAN, C. Impact of simulated rainfall on pesticide of fungicides used against late blight (*Phytophthora infestans*) on tomato (*Solanum lycopersicum*). **Indian Journal of Agriculture Sciences**, v. 85, n. 2, p. 256-260, 2015.
- READ, N. D.; FLEIBNER, A.; ROCA, M. G.; GLASS, N. L. Hyphal fusion. In: BORKOVICH, K. A. & EBBOLE, D. (Eds.), **Cellular and molecular biology of filamentous fungi**. American Society of Microbiology, 2010. pp.260–273.
- REICHARD, D. L.; RETZER, H. J.; LILJEDAHL, L. A.; HALL, F. R. Spray droplet size distributions delivered by air blast orchard sprayers. **Transactions of the ASABE**, v. 20, p. 232-237, 1977.
- REIS, E. M., BRESOLIN, A. C. R.; CARMONA, M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. Passo Fundo: UPF, 2006.
- REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 6 ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2010.

- REIS, E. M.; CASA, R. T. (Orgs.). Ferrugem-asiática. In: REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M.; DANELLI, A. L. D. **Doenças da soja**. Passo Fundo: Berthier, 2012. p. 69-101.
- REIS, E. M. Critério: preventivo. In: REIS, E.M. **Indicadores do momento para a aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças nas culturas da soja e do trigo**. 2 ed., Passo Fundo: Berthier, 2014 . 67-76p.
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2011/2012 e 2012/2013**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012.
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2015/2016 e 2016/2017**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016.
- RODRIGUES, M. A. T. **Classificação de fungicidas de acordo com o mecanismo de ação proposto pelo FRAC**. 2006. 249f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2006.
- ROEHRIG, R.; BOLLER, W.; FORCELINI, C. A.; CHECHI, A. Use of surfactant with diferente volumes of fungicide applications in soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 4, p. 577-589, 2018.
- ROESE, A. D. **O melhor fungicida contra a ferrugem-asiática da soja**. 2011. Disponível em: <[http://infobibos.com/Artigos/2011\\_1/fungicida/index.htm](http://infobibos.com/Artigos/2011_1/fungicida/index.htm)>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- ROSSOUW, C. J.; FOURIE, P. H.; VAN ZYL, G. G.; HOFFMAN, J. E.; MCLÉOD, A. Rainfastness of mancozeb on apple seedling determined through deposition quantification of mancozeb residue and a fluorescent pigment. **Crop protection**, v. 106, n. 1, p. 93-102, 2018.



- RUSSEL, P. E. **Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management**. FRAC Monograph n° 3, Cambridge CB2 5AN, UK, 2004.
- SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. H.; GUZZO, S. D. Avaliação da eficácia de fungicidas sistêmicos no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* L.) do cafeeiro, sob chuva simulada. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 6, p. 183-184, 2002.
- SANTOS, J. A.; JULIATTI, F. C.; SANTOS, V. A.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T. Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento para resistência parcial à ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 443-447, 2007.
- SCHERB, C. T.; MEHL, A. *Phakopsora pachyrhizi*: detached leaf test. FRAC (Fungicide Resistance Action Committee), 2006. Disponível em: <[http://www.frac.info/frac/Monitoring\\_Methods/ahang/PHAKPA\\_detached\\_leaf\\_monitoring\\_method\\_BCS\\_2006\\_V1.pdf](http://www.frac.info/frac/Monitoring_Methods/ahang/PHAKPA_detached_leaf_monitoring_method_BCS_2006_V1.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- SIEROTZKI, H.; FREY, R.; WULLSCHLEGER, J.; PALERMO, S.; KARLI, S.; GODWIN, J.; GISI, U. Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. tritici-repentis* and implications for QoI resistance. **Pest Management Science**, v. 63, n. 3, p. 225-233, 2007.
- 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.
- STEFANELLO, M. T.; BALARDIN, R. S.; MINUZZI, S. G.; DALLA FAVERA, D. L.; MARQUES, L. N.; PEZZINI, D. T.; EBONE, A. Effect of the interaction between fungicide application time and rainfall simulation interval on Asian Soybean Rust control effectiveness. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3881-2892, 2016.

- TOFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J.; MELO, P. C. T.; FERRARI, J. T. Efeito de chuva simulada sobre a eficiência de fungicidas no controle de requeima e pinta preta de batata. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 2977-2990, 2014.
- TOMLIN, C. D. S. **The pesticide manual: a world compendium**. Surrey, UK: British Crop Protection Council, 2002.
- TORMEN, N. R.; SILVA, F. D. L.; DEBORTOLI, M. P.; UEBEL, J. D.; FÁVERA, D. D.; BALARDIN, R. S. Deposição de gotas no dossel e controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 802-808, 2012.
- VAKILI, N. G.; BROMFIELD, K. R. Phakopsora rust in soybeans and other legumes in Puerto Rico. **Plant Disease**, v. 60, p. 995-999, 1976.
- VAN DEN BOSCH, F.; OLIVER, R.; VAN DEN BERG, F.; PAVELEY, N. Governing principles can guide fungicide-resistance management tactics. **Annu Rev Phytopathol.**, v. 52, p. 175-195, 2014.
- VANDERPLANK, J. E. **Plant disease: epidemics and control**. New York: Academic Press, 1963.
- VINCENT, A.; ARMENGOL, J.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. Rainfastness and persistence of fungicides for control of alternaria brown spot of citrus. **Plant Disease**, v. 91, n. 4, p. 393-399, 2007.
- VITÓRIA, E. L. da; LEITE, J. U. Q. Espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1551-1559, 2014.

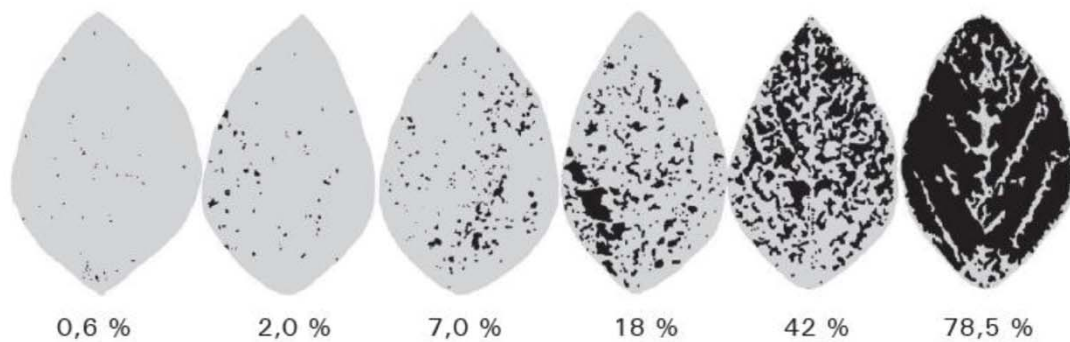
- VITTAL, R.; YANG, H. C.; HARTMANN, G. L. Anastomosis of germ tubes and migration of nuclei in germtube networks of the soybean rust pathogen, *Phakopsora pachyrhizi*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 132, p. 163-167, 2012.
- WONG, F. P., AND WILCOX, W. F. Comparative physical modes of action of azoxystrobin, mancozeb, and metalaxyl against *Plasmopara viticola* (grapevine downy mildew). **Plant Dis.**, v. 85, p. 649-656, 2001.
- WOOD, P.M.; HOLLOMON, D.W. A critical evaluation of the role of alternative oxidase in the performance of strobilurin and related fungicides acting at the Qo site of complex III. **Pest Management Science**, v. 59, p. 499-511, 2003.
- XAVIER, S. A.; KOGA, L. J.; BARROS, D. C. M.; CANTERI, M. G.; LOPES, I. O. N.; GODOY, C. V. Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. **Summa phytopathologica**, v. 41, n. 3, p. 191-196, 2015.
- YANG, X. B.; TSCHANZ, A. T.; DOWLER, W. M.; WANG, T. C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v. 81, n. 11, p. 1420-1426, 1991.
- YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: ocorrência no Brasil e estratégias de manejo. In: REIS, E. M. (Ed.). **Doenças na Cultura da Soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2004. pp. 77-84.
- YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M., FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, n. 6 p. 675-677, 2005.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009.

ZANATTA, T. **Efeito de fungicidas no processo infeccioso de Phakopsora pachyrhizi**. 2009.120f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS. 2009.

## ANEXOS

Anexo I - Escala diagramática para a avaliação da severidade da ferrugem-asiática da soja



Fonte: Godoy et al., 2006.

## APÊNDICES



Apêndice I - Parâmetros utilizados para cálculo da concentração efetiva do fungicida que controla 50% do número de urédias causadas por *Phakopsora pachyrhizi*, aplicados à equação de regressão  $CE_{50} = -\log(a/(50-y_0)-1))^*b+x_0$ .

Isolado	Fungicida			
	Azoxistrobina + benzovindiflupir			
	a	b	xo	Y0
Passo Fundo/RS	92,1662	1,3257	0,1489	7,3016
Panambi/RS	17630,7416	3,5806	-20,9318	-17520,9769
Tupaciretã/RS	2614,1403	13,3395	-37,3714	-2414,2865
Condor/RS	8277,0103	7,7859	-34,7884	-8131,0917
Ibirubá/RS	6335,1849	7,9733	-35,3881	-6199,5614
Sertão/RS	11644,59	6,804	-32,5957	-11502,07
Ipiranga do Sul/RS	61,1032	1,2862	0,9839	38,1955
Caseiros/RS	115,7581	1,5254	-1,5734	-18,4033
Nonoai/RS	80,7655	1,4106	-0,5417	12,7902
Campos Novos/SC	62,5448	1,2415	-1,0299	17,4192
Itaberá/SP	11161,2778	4,8718	-24,7328	-11041,9727
Sao Gabriel/MS	12562,188	4,1172	-22,0958	-12447,508
	Azoxistrobina + benzovindiflupir + difenoconazol			
Passo Fundo/RS	4465,0361	15,1048	-51,8716	-4269,4122
Panambi/RS	4141,5969	101,4594	117,6135	-931,1452
Tupaciretã/RS	140,3533	3,4245	5,0291	26,7138
Condor/RS	51,015	0,7491	0,4182	44,0719
Ibirubá/RS	1849,9762	16,5123	-42,005	-1650,759
Sertão/RS	2744,3194	45,3381	75,1542	-384,4926
Ipiranga do Sul/RS	8051,4471	6,2856	-30,015	-7923,4636
Caseiros/RS	1386,9806	18,9698	-38,7129	-1162,6448
Nonoai/RS	77,2331	1,4138	-0,1148	24,1933
Campos Novos/SC	24725,1155	2,9194	-20,1835	-24623,1938
Itaberá/SP	92,6685	1,4438	-0,7765	4,7466
Sao Gabriel/MS	60,5259	1,3422	-0,1543	35,0292
	Trifloxistrobina + protioconazol			
Passo Fundo/RS	224,7709	2,6332	-3,0071	-117,0142
Panambi/RS	46,2833	0,1083	-0,1488	38,5333
Tupaciretã/RS	115,2846	2,5854	0,5343	0,9554
Condor/RS	2897,4845	25,1822	-57,9452	-2580,0982
Ibirubá/RS	2395,9748	27,2389	-56,1668	-2068,9074
Sertão/RS	109,6216	2,542	1,161	8,4027
Ipiranga do Sul/RS	1686,0365	24,8475	-40,1771	-1350,6979
Caseiros/RS	89,3041	1,1085	-0,5781	10,2305
Nonoai/RS	8880,2014	10,1787	-44,4654	-8715,7062
Campos Novos/SC	91,9717	1,5742	-0,6563	8,1056
Itaberá/SP	3899,7248	46,6322	88,1051	-462,7139

Sao Gabriel/MS	4984,3604	12,1955	-42,8389	-4789,9632
	Trifloxistrobina + bixafem + protioconazol			
Passo Fundo/RS	9355,88	9,2589	-42,5664	-9205,3316
Panambi/RS	4330,3428	7,1135	-28,158	-4189,5557
Tupaciretã/RS	24845,6002	3,1015	-19,7145	-24738,7177
Condor/RS	82,0696	1,8167	-0,9803	10,478
Ibirubá/RS	5042,9329	9,6367	-40,1523	-4904,233
Sertão/RS	1485,4954	20,9793	38,0547	-152,4669
Ipiranga do Sul/RS	6889,7612	5,4426	-26,3518	-6769,7365
Caseiros/RS	3954,6393	8,2575	-36,5018	-3831,4265
Nonoai/RS	14755,1386	3,1455	-18,8702	-14560,7909
Campos Novos/SC	69,7607	2,2931	1,7264	42,2419
Itaberá/SP	18072,2876	3,8921	-23,0475	-17965,5029
Sao Gabriel/MS	3454,9673	10,6329	-36,8334	-3288,4745
	Azoxistrobina			
Passo Fundo/RS	65,8087	0,9377	0,8483	25,4009
Panambi/RS	87,1699	1,8107	0,4899	20,417
Tupaciretã/RS	440,5327	9,2137	3,26E-07	-179,7901
Condor/RS	87,1363	1,6125	0,4788	12,2176
Ibirubá/RS	7499,8093	10,1868	-42,5117	-7334,3235
Sertão/RS	3870,1829	20,1185	-53,7124	-3590,6879
Ipiranga do Sul/RS	61,9609	0,7779	0,0909	25,8268
Caseiros/RS	85,6446	0,8514	0,2222	7,4428
Nonoai/RS	3471,6435	37,9321	-64,1367	-2890,9772
Campos Novos/SC	20869,4912	5,4079	-30,4425	-20746,4997
Itaberá/SP	93,7489	1,3643	-0,8806	-20,2901
Sao Gabriel/MS	93,335	1,3867	0,1763	4,0324
	Trifloxistrobina			
Passo Fundo/RS	39,1734	0,9669	-0,3443	37,1836
Panambi/RS	82,3838	2,6173	-0,4839	26,6378
Tupaciretã/RS	71,4109	1,3543	0,9058	30,9264
Condor/RS	18227,9138	4,2917	-26,2058	-18121,646
Ibirubá/RS	5365,1063	205,1841	149,445	-1680,7499
Sertão/RS	105,084	1,1846	-1,6529	-10,6507
Ipiranga do Sul/RS	112,6299	3,5309	-0,5979	4,0796
Caseiros/RS	8764,7494	2,2916	-14,8068	-8673,4413
Nonoai/RS	5522,5856	6,4262	-30,7639	-5406,3301
Campos Novos/SC	5459,7618	5,6589	29,9622	35,7037
Itaberá/SP	3520,5869	18,6403	-56,057	-3293,9604
Sao Gabriel/MS	14274,3696	5,1019	-27,669	-14152,3838

	Protioconazol			
Passo Fundo/RS	26800,6657	4,1232	-25,0767	-26687,645
Panambi/RS	6278,2261	3,4736	-16,5433	-6170,8165
Tupaciretã/RS	7617,2728	10,4501	-43,8331	-7454,4724
Condor/RS	47044,1045	3,1306	-22,3292	-46951,568
Ibirubá/RS	45513,2358	1,7084	-13,3587	-45429,1853
Sertão/RS	153,7852	2,2137	-1,4243	-49,6427
Ipiranga do Sul/RS	13519,7323	5,6785	-30,5312	-13404,7483
Caseiros/RS	51995,174	1,7351	-13,8761	-51900,9945
Nonoai/RS	22107,0921	3,7319	-22,9314	-21997,8169
Campos Novos/SC	23471,8332	3,0699	-20,0038	-23373,1685
Itaberá/SP	11619,8526	9,1033	-42,1055	-11463,0055
Sao Gabriel/MS	34663,5456	3,9391	-25,4264	-34560,5127
	Fenpropimorfe			
Passo Fundo/RS	53,2155	0,8071	1,6255	37,7249
Panambi/RS	57,3122	1,1688	1,4101	35,8326
Tupaciretã/RS	71,9759	1,4834	1,7626	32,9376
Condor/RS	67,8185	0,6974	0,7014	17,6701
Ibirubá/RS	147,8571	1,738	-1,9142	-46,6941
Sertão/RS	85,1485	0,8799	0,8565	8,6016
Ipiranga do Sul/RS	67,9168	1,2466	2,6528	32,6595
Caseiros/RS	2363,4641	4,8611	21,1812	17,0471
Nonoai/RS	7080,8562	9,0544	39,8711	-32,6033
Campos Novos/SC	3365,3576	25,5534	-56,0049	-2983,1368
Itaberá/SP	8651,9775	7,1733	-33,0572	-8520,9877
Sao Gabriel/MS	11876,621	6,379	-31,8109	-11743,0047
	Difenoconazol			
Passo Fundo/RS	60,8793	0,8858	0,42	19,5897
Panambi/RS	108,123	1,9467	-0,1449	-4,0596
Tupaciretã/RS	174,414	3,5911	-1,5246	-57,5039
Condor/RS	105,2728	1,642	-0,1085	-9,9918
Ibirubá/RS	66,2973	1,201	1,9188	37,1757
Sertão/RS	50,9722	0,9493	0,4202	21,5987
Ipiranga do Sul/RS	103,9323	1,3872	0,0564	-4,4447
Caseiros/RS	468,1102	3,7625	-7,0302	-355,3603
Nonoai/RS	92,692	2,0389	-0,4064	-2,3972
Campos Novos/SC	14772,6593	4,8154	-25,9874	-14651,7918
Itaberá/SP	62,6227	0,7944	1,4206	34,4653
Sao Gabriel/MS	3058,1426	28,988	-60,2052	-2669,8555
	Fluxapirroxade			

Passo Fundo/RS	91,0542	1,3649	0,8656	7,921
Panambi/RS	75,8032	0,9649	1,4526	16,2761
Tupaciretã/RS	7499,8093	10,1868	-42,5117	-7334,3235
Condor/RS	135,004	2,8396	5,3333	23,2771
Ibirubá/RS	105,084	1,1846	-1,6529	-10,6507
Sertão/RS	61,957	0,7796	0,0886	25,8182
Ipiranga do Sul/RS	63,9899	0,6439	1,2314	32,804
Caseiros/RS	59,9403	1,1151	0,3924	26,4398
Nonoai/RS	61,8462	0,9711	0,9926	35,1277
Campos Novos/SC	68,1879	1,572	2,0843	36,7427
Itaberá/SP	86,3098	1,8916	0,3894	21,5748
Sao Gabriel/MS	67,495	1,1038	1,2217	20,5433
	Mancozebe			
Passo Fundo/RS	2777,856	3,6533	16,9297	-11,2812
Panambi/RS	20803,6088	2,7743	19,7657	0,0809
Tupaciretã/RS	14733,6575	5,833	34,4235	-20,404
Condor/RS	2967,1215	2,3679	12,9177	3,1841
Ibirubá/RS	8863,3386	4,235	24,7251	4,0309
Sertão/RS	80,3032	1,4599	3,0101	4,3482
Ipiranga do Sul/RS	7976,3281	5,7564	30,1628	-21,328
Caseiros/RS	3623,4599	21,4101	63,817	-152,1179
Nonoai/RS	8342,835	10,1306	45,5506	-66,8727
Campos Novos/SC	12876,208	2,7384	18,7603	14,3809
Itaberá/SP	35667,1357	3,5714	26,176	-2,8645
Sao Gabriel/MS	35629,2777	2,5125	20,437	14,8237
	Clorotalonil			
Passo Fundo/RS	3087,2568	14,11	45,4379	-91,4683
Panambi/RS	4059,8224	50,6905	87,454	-587,2725
Tupaciretã/RS	78,6261	1,8392	1,8753	1,3783
Condor/RS	69,0136	0,7949	1,5992	2,5243
Ibirubá/RS	170,1531	2,3715	4,6106	-2,2029
Sertão/RS	602,5131	6,4892	14,5706	-37,692
Ipiranga do Sul/RS	14889,41	5,2094	31,2423	-9,7354
Caseiros/RS	4370,9402	16,2827	52,1082	-145,5676
Nonoai/RS	4186,7094	22,4143	-67,0083	-3953,7955
Campos Novos/SC	374,8889	4,3735	9,7858	-15,7823
Itaberá/SP	84,5545	1,0378	3,7874	33,5378
Sao Gabriel/MS	6670,7608	6,2475	31,1509	-19,9595
	Oxicloreto de cobre			
Passo Fundo/RS	17597,3324	3,1712	22,3005	-1,3307

Panambi/RS	259,9881	3,2398	7,4385	-10,6344
Tupaciretã/RS	8608,7034	3,1775	20,3358	2,9728
Condor/RS	228,7187	2,1724	6,7326	4,4186
Ibirubá/RS	10761,0017	2,4926	17,4876	5,4035
Sertão/RS	40031,9005	2,2238	19,1716	17,2548
Ipiranga do Sul/RS	6192,3069	3,3846	19,9132	-0,6928
Caseiros/RS	11591,6686	6,5235	35,7276	-29,4179
Nonoai/RS	11549,7874	4,3612	26,6701	-8,6892
Campos Novos/SC	110,4482	1,6308	3,9493	6,7202
Itaberá/SP	21954,7705	3,3736	24,0269	-1,9944
Sao Gabriel/MS	78,9381	1,271	2,7704	2,4142

Apêndice II - Severidade da ferrugem-asiática da soja a campo nas avaliações realizadas durante o ciclo das cultivares BMX Lança e BMX Garra no ano de 2017.

	27/02	06/03	13/03	20/03
Tratamento	BMX Lança 2017			
70/F	4,6	19,8	30,2	49,5
70/M	6,6	18,4	28,8	51,9
110/F	4,9	17,3	27,7	39,4
110/M	5,0	18,5	28,9	42,0
150/F	3,2	10,3	20,7	36,1
150/M	4,6	10,8	20,2	38,8
70F/110F/150F	3,3	9,5	20,7	34,6
70M/110M/150M	5,2	16,0	25,7	45,3
70F/110M/150M	5,0	18,3	28,7	43,1
70F/110F/150M	4,9	16,9	27,3	42,1
70M/110M/150F	4,9	15,1	25,5	45,6
70M/110F/150F	2,9	10,5	20,9	39,3
Testemunha	16,8	42,0	53,6	66,3
	BMX Garra 2017			
70/F	9,3	18,8	29,2	51,5
70/M	8,7	23,0	33,4	52,6
110/F	9,3	18,7	29,1	36,5
110/M	9,6	20,7	31,1	36,1
150/F	6,2	12,3	22,7	23,8
150/M	7,8	14,9	23,3	26,5
70F/110F/150F	5,6	14,3	24,7	43,2
70M/110M/150M	9,0	17,5	27,9	43,2
70F/110M/150M	8,2	19,0	29,4	41,3
70F/110F/150M	9,8	21,0	31,4	42,4
70M/110M/150F	8,8	17,0	27,4	43,2
70M/110F/150F	6,2	14,4	24,8	43,5
Testemunha	12,5	34,9	46,8	70,1



Apêndice III - Severidade da ferrugem-asiática da soja a campo nas avaliações realizadas durante o ciclo das cultivares BMX Lança e BMX Garra no ano de 2018.

	02/03	09/03	16/03	23/03
Tratamento	BMX Lança 2018			
70/F	11,7	12,1	16,8	45,0
70/M	11,7	13,8	16,7	43,3
110/F	8,7	10,9	13,5	34,5
110/M	9,1	10,5	13,3	36,3
150/F	7,0	7,8	9,3	26,8
150/M	5,9	8,3	12,0	26,5
70F/110F/150F	6,8	9,6	13,1	28,0
70M/110M/150M	6,1	10,6	13,3	34,5
70F/110M/150M	4,8	10,8	14,5	36,3
70F/110F/150M	7,9	9,5	12,2	34,2
70M/110M/150F	8,9	10,7	15,3	33,3
70M/110F/150F	6,9	9,4	11,2	27,3
Testemunha	13,4	26,0	38,0	67,0
	BMX Garra 2018			
70/F	11,1	23,5	27,0	35,4
70/M	14,7	24,8	32,5	42,5
110/F	10,3	16,9	25,8	35,0
110/M	9,5	27,8	30,0	35,5
150/F	5,7	13,5	23,0	29,0
150/M	9,3	15,1	20,5	27,3
70F/110F/150F	10,3	18,8	21,8	35,5
70M/110M/150M	10,5	17,3	26,8	34,3
70F/110M/150M	11,5	18,5	23,8	35,3
70F/110F/150M	9,5	18,3	22,4	35,0
70M/110M/150F	12,0	19,1	31,5	37,0
70M/110F/150F	11,6	16,9	20,5	33,5
Testemunha	18,5	34,8	50,5	57,5



## **PPGAgro**

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

**Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV**