UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

GUILHERME AUGUSTO GOTARDI

EFICÁCIA, MOVIMENTO SUPERFICIAL E ATIVIDADE SISTÊMICA DOS FUNGICIDAS TRIAZÓIS, TRIAZOLINTIONA, ESTROBILURINAS E CARBOXAMIDAS ISOLADOS NO CONTROLE DA FERRUGEM DA SOJA

Botucatu

2022

GUILHERME AUGUSTO GOTARDI

EFICÁCIA, MOVIMENTO SUPERFICIAL E ATIVIDADE SISTÊMICA DOS FUNGICIDAS TRIAZÓIS, TRIAZOLINTIONA, ESTROBILURINAS E CARBOXAMIDAS ISOLADOS NO CONTROLE DA FERRUGEM DA SOJA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Proteção de Plantas.

Orientadora: Renate Krause Sakate

Coorientadora: Adriana Zanin Kronka

Botucatu

2022

G683e

Gotardi, Guilherme Augusto

Eficácia, movimento superficial e atividade sistêmica dos fungicidas triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isolados no controle da ferrugem da soja / Guilherme Augusto Gotardi. -- Botucatu, 2022

84 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientadora: Renate Krause Sakate

Coorientadora: Adriana Zanin Kronka

1. Phakopsora pachyrhizi. 2. controle químico. 3. eficácia. 4. movimento superficial. 5. sistemicidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFICÁCIA, MOVIMENTO E ATIVIDADE SISTÊMICA DOS FUNGICIDAS TRIAZÓIS, TRIAZOLINTIONA, ESTROBIRULINAS E CARBOXAMIDAS ISOLADOS NO CONTROLE DA FERRUGEM DA SOJA

AUTOR: GUILHERME AUGUSTO GOTARDI
ORIENTADORA: RENATE KRAUSE SAKATE
COORIENTADORA: ADRIANA ZANIN KRONKA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª RENATE KRAUSE SAKATE (Participaçao Virtual)
Protecao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participaçao Virtual)
Protecao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

Pesquisadora Dr.ª LUCIMARA JUNKO KOGA (Participaçao Virtual)
Crop Protection / Corteva Agrisciences

Botucatu, 05 de janeiro de 2022

Aos meus amados pais e irmão,

Gerson, Natália e Felipe,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, Gerson Gotardi e Natália Fernandes Gotardi, por todo o incentivo e amor incondicional. Isso tudo é para vocês;

Ao meu irmão, Felipe Gustavo Gotardi, por sempre estar ao meu lado, mesmo estando distante;

À minha namorada, Jéssica, por todo o apoio e companheirismo nas horas mais difíceis e pelos momentos de leveza durante nossa caminhada;

À minha orientadora, professora Dra. Renate Krause Sakate pela orientação, ensinamentos e paciência desde a orientação na graduação. Por sempre estar disposta a me ajudar e me apoiar em todos os momentos da minha vida acadêmica;

À minha coorientadora, professora Dra. Adriana Zanin Kronka, por todos os comentários e ajuda para a elaboração do projeto e da dissertação;

À Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP Botucatu por ter sido a minha *alma mater* por todos esses anos;

À empresa Corteva Agriscience pela disponibilidade em ceder estrutura e materiais para o desenvolvimento deste projeto;

Aos gerentes da Corteva, Augusto e Josemar, pelo apoio para o desenvolvimento deste projeto;

Às pesquisadoras da Corteva, Lucimara Koga e Jaqueline Campos, pelo apoio incondicional para o desenvolvimento desta dissertação, pelos ensinamentos, ideias, ajudas e por acreditarem em meu trabalho;

Aos meus companheiros da empresa Corteva, em especial ao Vanbasther, Felipe e Marcelo, por toda ajuda e recepção quando cheguei na empresa;

Aos gerentes da empresa FMC, Eduardo Picelli, Fabinho, Lênio e Samuel; que apesar de nossos caminhos terem seguido direções diferentes foram fundamentais para o início do meu mestrado;

Aos meus grandes amigos, Roberto Carlos, Wilson Pereira, Tiago Corazza e Luís Fernando Watanabe, pelos momentos de descontração e apoio;

Aos meus ex-estagiários(as), Carlos, Lucas, Eduardo, Mariana, Larissa, Glória, Mirela, Fábio, Guilherme e Matheus, pelos momentos de descontração e apoio ao longo destes anos. Levo a amizade de vocês comigo.

“Eu vou perder. Eu vou ganhar. Vão dizer que sou o melhor. Vão dizer que eu sou o pior. Mas tem uma coisa que não pode mudar nunca: acreditar naquilo que fazemos”.

(Abel Ferreira)

RESUMO

A soja é a principal cultura plantada no Brasil, sendo o país o maior produtor mundial da cultura e responsável por cerca de 40% da produção mundial. Diversos fatores abióticos e bióticos podem afetar sua produção, sendo a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi,* a principal doença da cultura no Brasil. A falta de controle da doença pode levar a perdas de até 90% da produção e seu controle exige a adoção de diversas ferramentas. Entre elas está o controle químico, feito utilizando-se principalmente moléculas fungicidas dos grupos dos inibidores de quinona externa – estrobilurinas, inibidores da desmetilação – triazóis e triazolintiona, inibidores de succinato-desidrogenase – carboxamidas. Além da eficácia de cada molécula, o seu movimento na planta após a aplicação é de extrema importância para um bom controle da doença. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi analisar a eficácia, o movimento superficial e a sistemicidade das moléculas fungicidas tebuconazol, difenoconazol, ciproconazol, protioconazol, picoxistrobina, azoxistrobina, trifloxistrobina, piraclostrobina, benzovindiflupir, bixafen e fluxapiroxade aplicadas de forma isolada. Para estas avaliações, considerou-se o controle da doença após a aplicação dos fungicidas e inoculação do patógeno. Quando comparada à testemunha, as moléculas protioconazol, azoxistrobina, piraclostrobina e benzovindiflupir apresentaram as melhores porcentagens de controle da doença no ensaio de eficácia. Já em relação à movimentação superficial, as moléculas protioconazol, picoxistrobina, azoxistrobina e fluxapiroxade apresentaram as menores porcentagens de severidade da doença. No ensaio de translocação, as moléculas protioconazol, tebuconazol, ciproconazol e picoxistrobina apresentaram movimentação acropetal reduzindo a severidade da doença e controlando o patógeno.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi;* controle químico; eficácia; movimento superficial; sistemicidade.

ABSTRACT

The soybean is the main crop planted in Brazil, being the country the largest worldwide producer and responsible for around 40% of the worldwide production. Diverse abiotic and biotic factors can affect its production, being the Asian soybean rust, caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi,* the main disease of the culture in Brazil. Failure to control the disease can lead to losses of up to 90% of production and its control requires the adoption of several tools. Among them is the chemical control, carried out using mainly fungicidal molecules from the groups of quinone outside inhibitors – strobilurins, demethylation inhibitors – triazoles and triazolinthione, succinate-dehydrogenase inhibitors – carboxamides. In addition to the effectiveness of each molecule, its movement in the plant after application is extremely important for good disease control. Thus, the objective of this work was to analyze the effectiveness, the surface movement and systematicity of the fungicidal molecules Tebuconazole, Difenoconazole, Cyproconazole, Prothioconazole, Picoxystrobin, Azoxystrobin, Trifloxystrobin, Pyraclostrobin, Benzovindiflupyr, Bixafen and Fluxapyroxad applied in isolation. For these evaluations, the disease control after the application of fungicides and inoculation of the pathogen was considered. The molecules prothioconazole, azoxystrobin, pyraclostrobin and benzovindiflupyr showed the best percentages of disease control in the efficacy trial. Regarding surface movement, the molecules prothioconazole, picoxystrobin, azoxystrobin and fluxapyroxad showed the lower percentages of disease severity. In the translocation assay, the molecules prothioconazole, tebuconazole, cyproconazole and picoxystrobin showed acropetal movement, reducing the severity of the disease and controlling the pathogen.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*; chemical control; efficiency; surface movement; systematicity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Simulador de aplicação, modelo *Generation* III, utilizado nos ensaios.....41

Figura 2 - Câmara de crescimento de plantas, modelo A1000 - Conviron, utilizada para manutenção da população de *P. pachyrhizi* e utilizada nos ensaios..... 42

Figura 3 - Folhas de soja contendo esporulação evidente de *P. pachyrhizi* coletadas em béquer de plástico (A). Solução de esporos após a lavagem das folhas com água + 0,01% de Tween 20 (B). Microscópio óptico utilizado para visualização e contagem dos esporos (C). Presença de esporos de ferrugem asiática em câmara de Neubauer (D)..... 43

Figura 4 - Inoculação dos urediniósporos de *P. pachyrhizi* com o auxílio de uma pistola de pintura..... 44

Figura 5 - Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja..44

Figura 6 - Planta de soja no estádio fenológico V1.....45

Figura 7 - Planta de soja com uma folha unifoliolada e solo coberto por papel alumínio.....46

Figura 8 - Planta de soja com os dois primeiros trifólios expandidos (A), planta de soja com o segundo trifólio expandido coberto com papel alumínio (B)..... 47

Figura 9 - Severidade da doença nos diferentes tratamentos no ensaio de eficácia.50

Figura 10 - Severidade da doença nos diferentes tratamentos no ensaio de sistemicidade..... 55

Figura 11 - Severidade da doença nos diferentes tratamentos no ensaio de sistemicidade..... 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtos fitossanitários utilizados no preparo das caldas de pulverização.....40

Tabela 2 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos no experimento de eficácia dos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas..... 49

Tabela 3 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes triazóis e triazolintiona no experimento de eficácia das moléculas.....51

Tabela 4 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para as diferentes estrobilurinas no experimento de eficácia das moléculas..... 52

Tabela 5 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para as diferentes carboxamidas no experimento de eficácia das moléculas..... 53

Tabela 6 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos no experimento de movimentação superficial dos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas.....55

Tabela 7 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de triazóis e triazolintiona no ensaio de movimentação superficial.....57

Tabela 8 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida para os diferentes tratamentos à base de estrobilurina no ensaio de movimentação superficial.....58

Tabela 9 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida para os diferentes tratamentos à base de carboxamida no ensaio de movimentação superficial.....59

Tabela 10 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos no experimento de sistemicidade dos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas..... 62

Tabela 11 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de triazóis e triazolintiona no experimento de sistemicidade..... 64

Tabela 12 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de estrobilurinas no experimento de sistemicidade..... 65

Tabela 13 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de carboxamidas no experimento de sistemicidade.....67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
2 REVISÃO DE LITERATURA 23
2.1 A cultura da soja..... 23
2.2 Ferrugem asiática da soja..... 24
2.3 Estratégias de manejo de *P. pachyrhizi*..... 28
2.4 Controle químico de *P. pachyrhizi*..... 29
2.3.1 Inibidores de quinona externa – Estrobilurinas..... 31
2.3.3 Inibidores de succinato-desidrogenase – Carboxamidas..... 33
2.4 Mobilidade dos fungicidas..... 34
3 MATERIAL E MÉTODOS 39
3.1 Semeadura e condução das plantas..... 39
3.2 Delineamento experimental..... 39
3.3 Aplicação..... 41
3.4 Manutenção da população de *P. pachyrhizi*..... 41
3.5 Inoculação de *P. pachyrhizi*..... 42
3.6 Avaliações e análise estatística..... 44
3.7 Eficácia de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada..... 45
3.8 Movimento superficial de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada..... 46
3.9 Sistemicidade de diferentes triazóis, triazolintiona, estrobilurina e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada..... 47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 49
4.1 Eficácia de triazóis/triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada..... 49
4.2 Movimento superficial de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada..... 54
4.3 Sistemicidade de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas no controle da ferrugem asiática da soja..... 61

5 CONCLUSÕES 69
REFERÊNCIAS 71

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma leguminosa anual da família *Fabaceae,* e é considerada uma das dez culturas mais cultivadas em todo o globo, tendo grande importância econômica em todo o mundo, devido ao seu potencial produtivo e valor nutritivo. Representa uma importante fonte de óleo vegetal e concentrado de proteína, além de ser importante matéria-prima para diversos segmentos agroindustriais e possuir um relevante papel socioeconômico (DIAZ, 1992; LACERDA, 2016). O Brasil é o principal produtor mundial da cultura, seguido pelos Estados Unidos da América, Argentina e China (FAO, 2021). A produção nacional no ano safra 2020/2021 foi de 135.914 milhões de toneladas, representando cerca de 40% da produção mundial. Já para a safra de 2021/2022, a produção nacional é estimada em 140.749 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Sendo assim, qualquer fator que afete a cultura terá um grande impacto negativo na economia do país.

Dentre todos os fatores limitantes que podem afetar a produtividade da cultura, as doenças são consideradas um dos mais importantes, sendo que a ferrugem asiática da soja (FAS) é tida como a mais destrutiva (EMBRAPA, 2013). A doença é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd & P. Syd, um basidiomiceto parasita obrigatório que pode ter como hospedeiro mais de 95 espécies de plantas (SLAMINKO et al., 2010). Em condições de baixa intensidade de doença e pouca chuva, as perdas na produção são de 10 a 15%, porém, em condições de maior pressão da doença e de altas pluviosidades, essas perdas podem alcançar 100% da produção (KAWUKI et al., 2003).

Para um correto e sustentável manejo da doença, a integração de diferentes ferramentas de controle é fundamental (GOULART; FURLAN; FUJINO, 2011). Dentre essas medidas, estão as restrições de plantio com a adoção do vazio sanitário e épocas de semeadura limitadas, que por consequência alteraram o sistema de produção da soja no país (GODOY et al., 2016). Além disso, o uso de variedades precoces, a adoção de variedades com resistência ao fungo e evitar o plantio em épocas favoráveis ao fungo (plantio tardio) são ferramentas para o manejo da doença (LANGENBACH et al., 2016; MURITHI et al., 2016). Embora essas alternativas estejam à disposição do agricultor, o controle químico ainda é fundamental para o manejo da doença (SANTOS, 2016).

O controle químico da ferrugem asiática da soja se dá através do uso de fungicidas, principalmente os triazóis, as estrobilurinas, as carboxamidas e uma molécula pertencente ao grupo da triazolintiona (DORIGHELLO et al., 2020). Os triazóis e a triazolintiona formam o grupo de maior importância para o controle de fungos fitopatogênicos dentre todos os outros compostos disponíveis (ZAMBOLIM; JULIATTI; GUERRA, 2021). Esses compostos pertencem ao grupo de fungicidas Inibidores da Desmetilação (IDM), que agem inibindo a síntese de ergosterol (MUELLER, 2006). Já as estrobilurinas, pertencentes ao grupo químico Inibidores Externos de Quinona (IeQ), têm seu mecanismo de ação através da inibição da produção de energia pelo fungo, afetando a transferência de elétrons entre o citocromo b e c (BARTLETT et al, 2002; DELEN; TOSUN, 2004). As carboxamidas, pertencentes ao grupo dos Inibidores da Succinato Desidrogenase (ISDH), são fungicidas que, assim como os IeQs, atuam inibindo a respiração do fungo, contudo possuem sítio de ação diferente, já que bloqueiam os sítios de ligação da ubiquinona no complexo II da mitocôndria (AVENOT; MICHAILIDES, 2010; XIONG et al., 2015).

Independente da molécula ou ao grupo pertencente, algumas características são de fundamental importância para todos os fungicidas. Segundo Garcia (1999), os fungicidas devem apresentar fungitoxicidade em doses baixas, especificidade, devem ser adequados ao meio ambiente e não serem prejudiciais aos animais, plantas e humanos. A redistribuição de fungicidas nas plantas também é um atributo importante, pois as aplicações raramente promovem uma completa cobertura, sendo assim, o movimento do ingrediente ativo da gota aplicada até áreas não tratadas complementa a performance e a confiabilidade dos produtos (KLITTICH, 2014).

Extensas pesquisas a campo focadas no monitoramento e comparação da eficácia de diferentes fungicidas são fundamentais para a implementação de um bom programa de manejo químico para a ferrugem asiática da soja (SCHERM et al., 2009; GODOY; BUENO; GAZZIERO, 2015; GODOY et al., 2016; DALLA LANA et al., 2018). Além disso, a relação entre a rápida movimentação e a ação do fungicida, que depende de sua lipossolubilidade e da sua hidrossolubilidade, tem sido pouco estudada ao longo dos anos (BORTOLINI; GHELLER, 2012).

Com isso, o objetivo deste trabalho é comparar a eficácia, movimento superficial e sistemicidade de diferentes fungicidas isolados pertencentes aos principais grupos químicos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma oleaginosa pertencente à família Fabaceae e uma das culturas mais antigas do mundo, tendo seu centro de origem o leste asiático (CHUNG; SINGH, 2008). No ocidente, a cultura chegou no fim do século XV e início do século XVI, sendo que em território nacional, teve seu primeiro relato no estado da Bahia, porém sua expansão comercial se deu nos estados do sul do país (MIYASAKA; MEDINA, 1981).

A cultura é uma das maiores e mais importantes fontes de óleo vegetal e proteína vegetal do mundo (SUGIYAMA et al., 2015), servindo de alimento para animais e humanos, produção de óleos, biocombustíveis e matéria prima para diversos produtos (BRITO, 2018).

A produção mundial de soja foi de 336.563 milhões de toneladas (MMT) em 2019-20, com o Brasil sendo responsável por aproximadamente 36% (121.162 MMT) desta produção. Seguindo o Brasil, Estados Unidos da América (96.625 MMT), Argentina (53.000 MMT) e China (17.000 MMT) foram os outros maiores produtores da *commodity* (SOPA, 2020). Segundo a USDA (2021), a expectativa é que a produção de soja mundial no ano de 2021 alcance o patamar de 361.079 milhões de toneladas, sendo o Brasil responsável por cerca de 37% desta produção.

A expansão do cultivo da soja no Brasil se deve a diversos fatores, como a adaptação de genótipos a regiões de baixa altitude e resistência a doenças (SPECHT et al., 2014). Investimentos em pesquisas fizeram com que a produtividade da soja aumentasse exponencialmente nos últimos anos (EMBRAPA, 2020), tornando o Brasil o maior produtor e exportador do grão, tendo batido um novo recorde de produção na safra 2020-21 (CONAB, 2021).

Na safra 2020-21, apesar dos problemas climáticos durante a safra, houve um aumento da produção brasileira de soja de 8,9%, sendo produzidas 135.914 milhões de toneladas em 38.530 mil hectares de terra, com uma produtividade média de 3.527 kg/ha. O centro-oeste é a maior região produtora do grão com aproximadamente 45% do total da produção brasileira, seguida pela região sul com 31%. Os estados que mais produzem a leguminosa são Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul (CONAB, 2021).

O Brasil também é o maior exportador do grão e seus derivados, sendo que as exportações de soja em grão, farelo de soja e óleo totalizaram para o país um ganho de 35,232 bilhões de dólares no ano de 2020 (AGROSTAT, 2021).

Diversos fatores podem afetar a produtividade da soja, dentre eles estão as doenças. Já foram identificadas cerca de 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus (GODOY et al., 2016). Entre as doenças, destaca-se a ferrugem asiática da soja, que pode levar a um comprometimento da produção variando de 10% a 90% nas diversas regiões geográficas onde já foi relatada (YORINORI et al., 2005; HARTMAN et al., 2015).

2.2 Ferrugem asiática da soja

Ferrugens causadas pelo gênero *Phakopsora* são doenças que podem afetar diversas culturas e podem causar a redução de produtividade durante a safra, ou até mesmo na safra seguinte, quando se trata de culturas perenes. As ferrugens possuem características similares entre elas, incluindo a necrose do tecido foliar, redução significativa da assimilação de CO_2 em tecidos verdes ao redor das lesões e queda prematura de folhas (YANG et al. 1990; KUMUDINI et al. 2010; GODOY et al. 2016; NOGUEIRA JÚNIOR et al. 2017; PRIMIANO et al. 2017; SCAPIN-BUFFARA et al. 2018).

Plantas de soja podem ser hospedeiras de duas espécies de *Phakopsora*, a *P. meibomiae* (ferrugem americana) e a *P. pachyrhizi* (ferrugem asiática). A ferrugem americana foi relatada pela primeira vez no Brasil em 1979, no estado de Minas Gerais, sendo a espécie presente no Brasil até o ano 2000 (DESLANDES, 1979; CARVALHO JÚNIOR; FIGUEREDO, 2000). Contudo a *P. meibomiae* é considerada menos virulenta quando comparada com a *P. Pachyrhizi* e, por este motivo, a *P. pachyrhizi* é o organismo que mais afeta a cultura da soja (DESLANDES, 1979; BROMFIELD, 1984; ONO et al., 1992; CALDWELL; LAING; WARD, 2002; MOREL; YORINORI, 2002).

A ferrugem asiática da soja no Brasil é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd & P. Syd, e é a principal e mais severa doença nesta cultura (LANGENBACH et al., 2016; XAVIER et al., 2017). Este fungo é um basidiomiceto classificado no Domínio Eukaryota, Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Ordem

Uredinales, Classe Urediniomycetes e Família Phakopsoraceae (GOELLNER et al, 2010).

Acredita-se que o fungo tenha a sua origem na Ásia-Austrália, sendo que seu primeiro relato ocorreu no ano de 1902, no Japão, e a partir da primeira metade do século XX, começou a se espalhar pela Ásia e Oceania (BROOMFIELD; HARTWING, 1980; LEVY, 2005; GODOY et al. 2016). No continente africano, foi identificada pela primeira vez em meados dos anos 90 (MURITHI et al. 2016). Nas Américas, a presença do fungo foi relatada primeiramente na América do Sul, no ano de 2001, com uma epidemia observada em Pitapó, Paraguai. No mesmo ano, a doença também foi observada em plantas voluntárias de soja e em plantações de segunda safra no Brasil. Na safra seguinte, a ferrugem já estava presente em todo território agrícola do Paraguai e em 60% das plantações de soja do Brasil. Na safra 2002-03, a FAS estava distribuída em todo o território brasileiro, com poucos lugares não registrando sua ocorrência (YORINORI et al., 2005). Por último, a ferrugem asiática chegou à América do Norte, sendo relatada no ano de 2004 (SCHNEIDER et al. 2005).

Phakopsora pachyrhizi é um fungo parasita obrigatório, ou seja, só pode crescer e se reproduzir em um hospedeiro vivo. Deste modo, se utiliza de hospedeiros alternativos ou de soja voluntária durante o período de entressafra para se reproduzir (KADAM, 2013; BOURRAS et al., 2018). O patógeno possui uma grande gama de hospedeiros, podendo infectar naturalmente 31 espécies em 17 gêneros de leguminosas e 60 espécies e 26 gêneros adicionais quando inoculada artificialmente (CHU; CHUANG, 1961).

As ferrugens apresentam ciclos de vidas distintos de acordo com os gêneros e espécies e duas linhas de classificação são adotadas: o sistema ontogênico, que prioriza a posição do estado do esporo no ciclo de vida do organismo, e o sistema morfogênico, que relaciona o aspecto morfológico do esporo (ALEXOPOULOS; MIMS; BLACKWELL, 1996; MAHESHWARI, 2007). As ferrugens podem ser categorizadas em formas macrocíclicas, demicíclicas e microcíclicas, de acordo com a presença ou ausência dos estádios reprodutivos. Na forma macrocíclica, os cinco estádios reprodutivos são observados, ou seja, apresenta o estágio 0 - espermogonial que produz espermácias (n) e hifas receptivas (n); estágio I – o aecial que produz aeciósporos (n + n); estágio II – uredinial que produz urediniósporos (n + n); estágio III – telial que produz teliósporos (2n) e o estágio IV - basidial que produz basidiósporos (n). Já na forma demicíclica, inexiste o estágio II e na microcíclica,

apenas o estágio III, com ou sem uma fase espermogonial é formada sobre o hospedeiro ao longo da safra (ALEXOPOULOS; MIMS; BLACKWELL, 1996; ONO, 2002).

P. pachyrhizi é capaz de produzir dois tipos de esporos, os urediniósporos e os teliósporos. Os urediniósporos (n + n) são esporos assexuais e são considerados os mais importantes para a epidemiologia da doença, pois são os responsáveis por múltiplos ciclos da doença em uma única safra, devido à grande quantidade formada deste tipo de esporo. Já os teliósporos (2n) são esporos sexuais, especializados para a sobrevivência do fungo em épocas que as condições climáticas não são favoráveis ao seu desenvolvimento, porém seu papel ainda não está claro na epidemiologia da doença, já que, embora os teliósporos tenham sido observados na natureza em diversos hospedeiros, incluindo a soja, sua germinação nunca foi reportada ocorrendo de forma natural, sendo observada apenas em condições de laboratório (BROMFIELD, 1984; SAKSIRIRAT; HOPPE, 1991; CARMONA; GALLY; LOPEZ, 2005; SLAMINKO et al., 2008; JORGE et al., 2015).

A infecção de *P. pachyrhizi* se inicia com a germinação dos urediniósporos nos hospedeiros sob condição de alta umidade. Após a germinação dos esporos, ocorre a formação de um tubo germinativo que cresce ao longo da superfície foliar, 5 a 400 µm, até a formação de um apressório. Sua penetração pelas células da epiderme ocorre diretamente pela cutícula, através de uma estrutura conhecida como peg de penetração, ao invés de ser através dos estômatos, diferentemente da maioria dos agentes causais de ferrugens. Após sua penetração, internamente na planta hospedeira, ocorre o desenvolvimento micelial e a formação dos haustórios, responsáveis pela absorção dos nutrientes (MAGNANI et al., 2007).

Durante a fase de esporulação, que ocorre entre 7 e 9 dias depois da infecção dos urediniósporos, o fungo forma urédias que se rompem através da epiderme do hospedeiro e libera novos urediniósporos no ambiente, que podem ser dispersados através do vento (GOELLNER et al., 2010; TREMBLAY et al., 2013). O desenvolvimento das urédias pode ocorrer por até 4 semanas após uma única inoculação e sua produção de esporos pode continuar por até 3 semanas. Uma única urédia é capaz de produzir 2000 urediniósporos (MARCHETTI; UECKER; BROMFIELD, 1975; KOCH et al., 1983; TREMBLAY et al., 2013).

Segundo Bonde et al. (2012) a temperatura e a umidade têm um papel vital para a germinação dos esporos da ferrugem, sendo que a temperatura ideal para sua

germinação é de 17 a 29 ºC. Umidades elevadas, acima de 85%, e molhamento foliar por um período de 6-12 horas também são essenciais para a germinação dos esporos (MARCHETTI; UECKER; BROMFIELD, 1975; ALVES, 2007). Após a infecção, o desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas entre 17 e 27 ºC, sendo totalmente inibido em temperaturas que ultrapassam 30 ºC (MELCHING et al., 1989; ALVES; FURTADO; BERGAMIN FILHO, 2006). O período de latência, ou seja, período entre a infecção e a formação dos primeiros esporos, é altamente influenciado pela temperatura. Em média, as primeiras pústulas surgem após 6-7 dias a uma temperatura de 26 ºC e se distancia deste ponto conforme a temperatura aumenta ou diminui, chegando a ser de 12 dias em temperaturas abaixo de 20 ºC (BALARDIN; NAVARINI; DALLAGNOLL, 2005; ALVES; FURTADO; BERGAMIN FILHO, 2006).

Os sintomas causados pela FAS surgem inicialmente nas folhas do baixeiro da planta, como pequenas lesões de cor bronzeada, formadas na parte abaxial das folhas de soja. Essas lesões se desenvolvem e formam protuberâncias, as urédias, de cor castanha a marrom-escura. Com seu desenvolvimento, estas formam um pequeno poro, o ostíolo, por onde os esporos são liberados (GODOY et al., 2016; JULIATTI et al., 2017a). Apesar dos sintomas serem mais comuns e abundantes nas folhas, eles também podem ser observados nos pecíolos, caule e vagens da planta (MILES et al., 2003). Os sintomas podem ocorrer em qualquer estádio fenológico da planta, no entanto, devido à formação de um microclima favorável à infecção, pela alta umidade e sombreamento, sua incidência é maior a partir do fechamento do dossel da lavoura (ISARD et al., 2006).

Com o aumento da severidade da doença, as folhas infectadas ficam amarelas, secas e caem. Esta desfolha precoce é o principal dano causado pela doença, já que impede a formação completa dos grãos resultando em perdas de produtividade (YORINORI et al., 2005; GODOY et al.; 2016). Desde sua introdução, a ferrugem asiática da soja vem causando prejuízos na produtividade da soja e consequentemente nos lucros dos produtores. Perdas de produção na ordem de 78% já foram reportadas em parcelas experimentais sem nenhum manejo (DALLA LANA et al., 2015). Além das perdas com produtividade, a ferrugem asiática demanda aproximadamente 2 bilhões de dólares por ano para ser manejada (GODOY et al., 2015).

2.3 Estratégias de manejo de *P. pachyrhizi*

Atualmente, o manejo da ferrugem asiática envolve a integração de medidas culturais, de resistência genética e da utilização de fungicidas quando a doença incide na lavoura (GODOY et al., 2020).

As condições ambientais do Brasil e de países vizinhos, como Paraguai e Bolívia, proporcionam a sobrevivência do patógeno durante o ano todo, seja na soja, ou em hospedeiros alternativos. Isso já não ocorre em países como Estados Unidos da América e Argentina, onde a chegada do inverno faz com que o fungo perca viabilidade e a chegada da doença dependa de esporos vindos de lugares distantes (PIVONIA; YANG, 2004; LI et al., 2010).

Nas primeiras safras após a chegada da FAS no Brasil, epidemias severas foram relatadas, principalmente em áreas com soja irrigada durante a entressafra. Esses plantios de inverno serviam como fontes de inóculo para a próxima safra, fazendo uma ponte verde para o patógeno (SEIXAS; GODOY, 2007). Com o objetivo de quebrar esta ponte verde, ao longo dos anos e após severas epidemias da doença, instituiu-se a implementação do vazio sanitário, que compreende um período de no mínimo 60 dias sem a presença de plantas de soja no campo durante a entressafra (GODOY et al., 2020). Este período de 60 dias foi definido pelo fato do fungo ser biotrófico e baseado no maior período de sobrevivência dos esporos já relatada, que é de 55 dias com folhas armazenadas à sombra (PATIL et al., 1997). A adoção desta medida tem por objetivo a diminuição do inóculo primário nas áreas e consequentemente a redução dos casos de doença em estádios iniciais da cultura, levando a uma diminuição da aplicação de fungicidas (GODOY et al., 2020).

Reis, Reis e Zanatta (2018) também sugerem a adoção da calendarização do plantio da soja e o impedimento do cultivo da soja safrinha para um melhor manejo da doença, já que áreas semeadas tardiamente recebem inóculo das áreas semeadas no início da safra, podendo ocorrer a incidência precoce da ferrugem e aumentar o número de ciclos do fungo em uma mesma safra.

Assim como a realização da semeadura em datas estabelecidas, a utilização de cultivares de ciclo precoce visa diminuir o tempo de exposição da cultura ao patógeno, já que a carga de inóculo que incide na cultura é resultado da multiplicação do fungo nos primeiros cultivos (YORINORI, 2005).

Outra ferramenta importante de manejo da ferrugem asiática da soja é a adoção de cultivares com genes de resistência ao patógeno. Além de serem menos suscetíveis e consequentemente apresentarem menor perda de produtividade quando a doença incide sobre a área, esses cultivares ajudam a reduzir a pressão de seleção para a resistência do fungo aos fungicidas (BROMFIELD; HARTWIG, 1980).

A resistência específica a *P. pachyrhizi* é conhecida desde 1982 e já foram identificados 10 genes localizados em 7 diferentes loci, *Rpp1* até *Rpp7,* tendo como resultado uma resistência qualitativa (CHILDS; BUCK; LI, 2018). Os genes Rpp conferem reações de hipersensibilidade ao patógeno. Ela ocorre quando a planta detecta efetores do patógeno através de suas proteínas de resistência (R), causando a reação de hipersensibilidade. Esta reação desencadeia a morte localizada de algumas células cujas lesões macroscópicas são conhecidas como RB (*reddish brown*), caracterizadas pela coloração marrom-avermelhada e por produzirem pouco ou nenhum esporo. Já as cultivares susceptíveis apresentam lesões do tipo TAN, caracterizadas pela coloração marrom clara e pela alta quantidade de esporos formados. Ainda pode ocorrer a reação de imunidade, onde lesões claras são observadas apenas com o auxílio de instrumentos de aumento, como lupas. Estas lesões não apresentam formação de esporo (MILES et al., 2011).

Mais recentemente, no ano de 2016, pela primeira vez pesquisadores conseguiram introduzir na soja um gene de outra espécie para o controle de ferrugem asiática. O gene denominado *CcRpp1* é proveniente da espécie *Cajanus cajan* e quando em homozigose na soja, condiciona a reação de imunidade. Já quando em heterozigose, produz lesões do tipo RB (KAWASHIMA et al., 2016).

2.4 Controle químico de *P. pachyrhizi*

Apesar do uso das medidas culturais e do uso de materiais com resistência ao patógeno, o controle químico ainda é a maneira mais eficaz e mais utilizada para o controle da ferrugem asiática da soja (LANGENBACH et al., 2016). Ao menos três aplicações por safra são realizadas para seu controle, gerando um custo de mais de US$ 2 bilhões de dólares por ano para os agricultores, posicionando o Brasil como o principal mercado de fungicidas (GODOY et al., 2016).

Um programa de aplicação de fungicidas bem planejado é indispensável durante a safra (ALVES et. al., 2021). Tanto os fungicidas utilizados, como a

frequência da aplicação, variam entre as diferentes regiões produtoras e entre diferentes safras. Diversas pesquisas focando no monitoramento e comparação entre os fungicidas realizadas ao longo dos anos foram essenciais para os ajustes no programa de aplicação de fungicidas (SCHERM et al., 2009; GODOY; BUENO; GAZZIERO, 2015; GODOY et al., 2016; DALLA LANA et al., 2018).

A efetividade de um programa de aplicação de fungicidas irá depender de fatores como o ingrediente ativo do fungicida, dose, *timing* da aplicação e frequência das aplicações. Diferentes ajustes podem ser realizados neste programa buscando aumentar a efetividade do mesmo e os lucros dos produtores, sendo que o ajuste mais comum realizado é a seleção de ingredientes ativos, já que o número de aplicações é menos variável, devido ao uso de aplicações calendarizadas (DEL PONTE et al., 2011; ROEHRIG et al., 2018; BERUSKI et al., 2020).

Baseado nas propriedades dos fungicidas, eles podem ser classificados em sítio-específicos ou em multissítios. Os fungicidas sítio-específicos agem interferindo em um único ponto da via metabólica de um patógeno ou contra uma enzima ou proteína indispensável para a sobrevivência do organismo, podendo ser absorvidos pelas plantas e serem redistribuídos em seu interior. Já os fungicidas multissítios afetam diferentes pontos do metabolismo dos fungos. Esses produtos formam uma camada protetora na superfície da folha, não sendo absorvidos e translocados pelas plantas (McGRATH, 2004).

O controle químico da ferrugem asiática da soja é realizado principalmente pelo uso de fungicidas pertencentes aos grupos dos inibidores da desmetilação (IDM, “triazóis” e “triazolintiona”), dos inibidores de quinona externa (IQe, “estrobilurinas”) e dos inibidores da enzima succinato desidrogenase (ISDH, “carboxamidas”) (NUNES; DA SILVA MARTINS; DEL PONTE, 2018). Todos os produtos pertencentes a estes três grupos, são produtos sítio-específicos e por agirem em apenas um processo metabólico específico do fungo, o risco de resistência a estes fungicidas é de médio a elevado, já havendo casos de resistência aos mesmos (GODOY; MEYER; 2014; REIS; REIS; ZANATTA, 2018). Com isso, nos últimos anos, a adoção de fungicidas multissítios vem ganhando grande relevância no manejo da resistência do patógeno aos produtos sítio-específicos (FIALLOS, FORCELINI, 2013). Os principais fungicidas multissítios para o controle da FAS são os ditiocarbamatos (mancozebe), isoftalonitrilas (clorotalonil) e os inorgânicos (oxicloreto de cobre).

No Brasil, o uso de fungicidas para o controle da FAS foi iniciado na safra 2002/03, com o uso de fungicidas dos grupos triazóis e estrobilurinas isoladas (REIS, 2014). Atualmente, no mercado estão registrados 120 produtos comerciais para o controle do patógeno. Todos os produtos que possuem moléculas sítio-específico se apresentam em forma de misturas com outras moléculas, sejam elas sítio-específicas também ou multissítios. Já produtos multissítios podem ser encontrados de forma isolada (AGROFIT, 2021).

2.3.1 Inibidores de quinona externa – Estrobilurinas

Fungicidas à base de estrobilurinas são globalmente usados para controlar diversas doenças, como mofos, manchas foliares e ferrugens (BARTLETT et al., 2001; FAO Meeting, 2008). Elas são substâncias naturais, isoladas principalmente de basidiomicetos, sendo o primeiro composto natural isolado a Estrobilurina-A, proveniente do fungo *Strobilurus tenacellus* (ANKE et al., 1977). Após a descoberta desta substância, diversas outras estrobilurinas naturais foram descobertas, sendo nomeadas em ordem alfabética (BALBA, 2007).

Diversos análogos sintéticos foram produzidos após a descoberta das estrobilurinas, sendo a primeira a Azoxistrobina, introduzida no mercado em 1996, na Alemanha (SAUTER et al.,1999; BARTLETT et al., 2001). Posteriormente, diversas outras moléculas foram desenvolvidas e comercializadas, como piraclostrobina, fluoxastrobina, kresoxim-methyl, trifloxistrobina, picoxistrobina e metominostrobina. (RODRIGUES; LOPES; PARDAL, 2013; KHANDELWAL et al., 2014).

Estas substâncias interferem na respiração celular do fungo, sendo classificados no grupo C, subgrupo C3 – Complexo III: citocromo bc1 (ubiquinol oxidase) no sítio Qo, de modo de ação de fungicidas (FRAC, 2021). A atividade fungicida dessas substâncias se deve ao fato delas se ligarem a um ponto específico das mitocôndrias, o sítio Qo (Quinona oxidase). Ao se ligarem a este ponto, ocorre a interrupção da transferência de elétrons entre o citocromo b e o citocromo c1 no complexo III mitocondrial. Isso leva à interrupção da produção de energia pelo fungo através da inibição da síntese de ATP pela mitocôndria, levando a sua morte (FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2008).

As estrobilurinas apresentam amplo espectro de ação, rápida e alta atividade da inibição da germinação de esporos, possuem um bom custo-benefício e rápida

degradação pelo metabolismo da planta, fatores estes que levaram a ampla adoção destes fungicidas (FENG et al. 2020). Apresentam também certa ação curativa e erradicante, inibindo o desenvolvimento de fungos nos estágios iniciais de pós-germinação (VENÂNCIO et al., 1999).

Atualmente, cinco moléculas deste grupo são registradas para o controle das FAS, trifloxistrobina, azoxistrobina, picoxistrobina, piraclostrobina e metominostrobina, sendo ingredientes ativos de 50 produtos comerciais (AGROFIT, 2021).

2.3.2 Inibidores da desmetilação – Triazóis e Triazolintiona

Os triazóis são classificados no grupo G (biossíntese de esteróis em membranas) de modo de ação de fungicidas. Os fungicidas pertencentes a esse grupo afetam a biossíntese de esteróis na membrana celular dos fungos, mais especificamente o ergosterol. Junto com os triazóis, pode-se citar as aminas (morfolinas) e os fungicidas inibidores da ceto-redutase como pertencentes a este mesmo grupo (FRAC, 2021).

O ergosterol é um esterol de grande importância para a membrana celular de fungos, pois são responsáveis por manter sua estabilidade e forma. A aplicação de triazóis resulta na degradação do ergosterol e o aumento dos níveis de metilesteróis. A acumulação destes compostos nas membranas das células leva à morte ou inibição do crescimento do fungo (LASS-FLÖRL et al., 2011; FALCI; PASQUALOTTO, 2013).

Os triazóis, também conhecidos como Inibidores da Desmetilação (IDM), pertencem ao subgrupo G1 – C14-desmetilase na biossíntese de esterol (erg11/cyp51). Sua ação se dá pela inibição da biossíntese de ergosterol. As moléculas pertencentes a este subgrupo inibem a desmetilação do lanosterol até compostos precursores do ergosterol. A molécula fungicida se liga ao complexo formado pela enzima 14-α demetilase e citocromo P-450, catalisador do processo. Isso não permite a desmetilação do carbono na posição 14 (C14) do lanosterol levando a não desmetilação da molécula e, consequentemente, a não formação do ergosterol (FORCELINI, 1994; TOMLIN et al., 2009; FRAC, 2021).

Diferentemente das estrobilurinas, que apresentam grande poder de inibição da germinação de esporos, os triazóis são fungicidas que apresentam maior poder curativo do que preventivo, inibindo o desenvolvimento do haustório e/ou do

crescimento micelial. Também apresentam elevada penetração e translocação rápida nos tecidos vegetais (FORCELINI, 1994).

Mais recentemente um novo representante do grupo dos IDMs foi introduzido no mercado, o protioconazol. Por ser um fungicida composto por um ingrediente ativo inovador com um sítio de ligação diferente dos triazóis, ele foi classificado como uma triazolintiona e não um triazol, apesar de ter o mesmo modo de ação (ZAMBOLIM; JULIATTI; GUERRA, 2021). Este produto foi o último IDM registrado no Brasil para o controle de FAS e é um dos que ainda mantem as maiores taxas de controle (GODOY et al., 2020).

Atualmente, os IDMs registrados para controle da FAS são: ciproconazol, difenoconazol, epoxiconazol, protioconazol, tebuconazole e o tetraconazol, sendo ingredientes ativos de 52 produtos comerciais (AGROFIT, 2021).

2.3.3 Inibidores de succinato-desidrogenase – Carboxamidas

As moléculas pertencentes ao grupo Inibidores de Succinato-Desidrogenase (ISDHs), assim como as estrobilurinas, agem na respiração celular do fungo, pertencendo ao grupo C de modo de ação. Contudo, as carboxamidas têm como sítio alvo o complexo II da cadeia respiratória, sendo classificadas no subgrupo C2 – Complexo II: succinato-desidrogenase, enquanto as estrobilurinas agem no complexo III (FRAC, 2021).

A enzima succinato desidrogenase (SDH) ou complexo II é um complexo de enzimas que faz parte do ciclo tricarboxílico e da cadeia mitocondrial de transferência de elétrons, onde catalisa a oxidação do succinato a fumarato liberando elétrons via ubiquinona na cadeia respiratória. A enzima SDH é formada por 4 subunidades (SDH-A, SDH-B, SDH-C E SDH-D), onde as subunidades B, C, e D formam o sítio de ligação para o substrato natural ubiquinona e também para as carboxamidas. As ISDHs se ligam fortemente ao sítio de ligação da ubiquinona, bloqueando fisicamente o acesso ao substrato, consequentemente inibindo os ciclos de oxidação do succinato (KEON; WHITE; HARGREAVES, 1991; HÄGERHÄLL, 1997; GLÄTTLI et al., 2009; MATSSON; HEDERSTEDT, 2001; YANKOVSKAYA et al., 2003; HORSEFIELD et al., 2006; HUANG et al. 2006; TRAN et al., 2006).

As primeiras moléculas pertencentes ao grupo das ISDHs foram introduzidas na década de 60, com os ingredientes ativos carboxina e oxicarboxina, sendo os

primeiros fungicidas a apresentarem sistemicidade (AGRIOS, 2005), porém com o surgimento de novas moléculas, como as estrobilurinas e os triazóis, esse grupo perdeu importância e praticamente deixou de ser usado. Contudo, em 2003, o lançamento da molécula boscalida representou um grande avanço para o grupo das ISDHs e fez com que o investimento no desenvolvimento de novas moléculas deste grupo aumentasse (UEBEL, 2015).

Atualmente, as carboxamidas são o grupo com menos ingredientes ativos registrados para o controle da ferrugem asiática da soja, com apenas três representantes, sendo eles o fluxapiroxade, o benzovindiflupir e o bixafen, sendo componentes de 20 produtos comerciais (AGROFIT, 2021).

2.4 Mobilidade dos fungicidas

Independente da molécula ou do grupo pertencente, algumas características são de fundamental importância para todos os fungicidas. Eles devem apresentar fungitoxicidade em doses baixas, ou seja, matar ou paralisar o desenvolvimento do fungo com pequenas quantidades de ingrediente ativo. Especificidade, afetando apenas fungos fitopatogênicos e não alterando o desenvolvimento de outros fungos e ou seres vivos. Devem ser adequados ao meio ambiente e não serem prejudiciais aos animais, plantas e humanos. Serem compatíveis com outros produtos, como, por exemplo, inseticidas ou até mesmo outro fungicida, possibilitando a mistura em tanque. Apresentarem boa solubilidade, estabilidade e não serem corrosivos, possibilitando um fácil manuseio do produto e da calda de aplicação. E apresentarem bom preço, para ser economicamente viável sua compra pelo produtor (GARCIA, 1999; REIS; REIS; CARMONA, 2010).

Além de todas essas características, um bom fungicida deve apresentar também uma boa redistribuição nas plantas. Este é um dos atributos mais importantes, pois raramente as aplicações promovem uma total cobertura da cultura, sendo assim o movimento do ingrediente ativo, presente na gota aplicada, até áreas não tratadas complementam a performance e a confiabilidade dos produtos (KLITTICH, 2014).

Os fungicidas podem ser classificados de acordo com sua mobilidade na planta. Fungicidas que são capazes de penetrar a planta e translocar-se através de seu sistema vascular são denominados fungicidas sistêmicos, já aqueles que

permanecem na superfície em que foram depositados, sem serem absorvidos ou translocados, são denominados fungicidas imóveis (KIMATI, 2011). Há ainda aqueles que apresentam uma movimentação mais limitada, sem o envolvimento do sistema vascular, que são os translaminares, capazes de penetrar o limbo foliar e agir na face oposta à da aplicação, e os mesostêmicos, que apresentam redistribuição na superfície foliar, por afinidade com a cera, além de possuírem ação de profundidade, agindo no mesófilo foliar pela ação de sua fase vapor (REIS; REIS; FORCELINI, 2007).

Todos os produtos multissítios registrados para o controle da FAS são produtos protetores, ou seja, formam uma camada na superfície foliar, impedindo o desenvolvimento do patógeno. Deste modo, todos estes produtos são imóveis, não apresentando translocação ou efeito translaminar nas plantas, sendo fortemente afetados pelas condições climáticas, como, por exemplo, pela lavagem da chuva, afetando diretamente sua eficácia. Por outro lado, os produtos sítio específicos apresentam efeito translaminar e de translocação através do sistema vascular da planta. Alguns produtos apresentam maior ou menor movimento na planta devido a características ligadas principalmente à molécula do ingrediente ativo do produto (GODOY, 2021).

A movimentação do ingrediente ativo de um produto pode ocorrer através de quatro principais processos: a movimentação por fase-vapor, a redistribuição superficial, a redistribuição translaminar e a sistemicidade. Todos esses processos não ocorrem de forma isolada e são dependentes das características dos ingredientes ativos, da formulação, do uso de adjuvantes, das características das plantas e das condições climáticas (KLITTICH, 2014).

A redistribuição através da fase-vapor ocorre quando, após a aplicação do produto, o mesmo volatiliza e consegue alcançar partes da planta em que não foi aplicado ou então atinge tecidos mais profundos das plantas, como o mesófilo foliar (BARTLETT et al., 2002). A formação de vapores depende das propriedades físicas do ingrediente ativo, sendo a volatilidade e a lipofilicidade as mais influenciadoras. Quanto maior a pressão de vapor e menor lipofilicidade, o produto tende a volatilizar mais fácil. Contudo, alguns produtos, como a picoxistrobina, apresentam baixa pressão de vapor e mesmo assim apresentam redistribuição através da fase vapor, contribuindo para uma melhor performance em campo. Além destas características do ingrediente ativo, fatores ambientais como umidade relativa e temperatura também

influenciam o processo. Temperaturas elevadas e baixa umidade relativa facilitam a volatilização do produto (TOMLIN et al., 2000; WOLTERS; KLEIN; VEREECKEN, 2004).

A redistribuição superficial pode incluir a redistribuição por fase-vapor, porém, geralmente, refere-se ao processo de movimento do ingrediente ativo na superfície foliar, sem a movimentação para células da epiderme e do mesófilo da planta (KLITTICH, 2014). Dependendo das propriedades físicas da molécula e da formulação do produto, a redistribuição superficial pode acontecer quando a água presente na superfície da folha solubiliza ou ressuspende o composto e o mesmo se move por difusão ou por movimento da água. O movimento foliar do ingrediente ativo através do orvalho ou da chuva é de grande importância para a robustez do produto, principalmente para fungicidas protetores, como o mancozebe e o clorotalonil, sendo que as condições necessárias para este processo muitas vezes são as mesmas condições que favorecem o desenvolvimento de fungos patogênicos (HISLOP; COX, 1970). Para fungicidas mais lipofílicos, que apresentam baixa solubilidade e ressuspensão, como, por exemplo, a trifloxistrobina, a redistribuição foliar ocorre através das ceras da cutícula das folhas, sendo muitas vezes mais importantes do que a própria redistribuição com o auxílio da água. Uma vez aplicados, estes produtos ficam mais presos à cutícula da folha e se redistribuem através das ceras presentes na mesma (YPEMA; GOLD, 1999).

O movimento translaminar de um produto é definido como o movimento do ingrediente ativo de um lado da folha para o outro lado. Este movimento é o resultado da entrada e divisão do produto na parede celular e apoplasto, no citoplasma, no plasmodesma e simplasto e no volume de ar no interior da folha, sendo que as características físicas e o ambiente do interior da folha são os grandes influenciadores do processo (KLITTICH, 2014).

O movimento conhecido como sistemicidade ocorre a partir do momento em que o ingrediente ativo entra no sistema vascular da planta e é redistribuído para outras partes da planta (KLITTICH, 2014). A maioria dos fungicidas sistêmicos é translocada via xilema, seguindo a rota da transpiração das plantas, raras são as exceções de fungicidas que são translocados via floema (AZEVEDO, 2007). A penetração do fungicida no xilema está associada à lipofilicidade e/ou à solubilidade do produto em relação às membranas vegetais. As moléculas que alcançam o xilema na região foliar da aplicação são, a princípio, também capazes de permear os tubos

crivados do floema. Porém, os fungicidas que penetram no floema podem também escoar de volta ao xilema e mover-se com o fluxo de transpiração. A concentração do fungicida no floema depende, parcialmente, da sua habilidade de permear as membranas do simplasto até os tubos crivados na região foliar (JACOB; NEUMANN, 1987).

Diversos fatores podem influenciar o movimento dos fungicidas nas plantas. Estes fatores podem estar ligados à própria planta, ao ingrediente ativo, formulação ou uso de adjuvantes. Contudo, estes fatores não influenciam de maneira isolada, mas sim um conjunto de fatores irá contribuir para um maior ou menor movimento do fungicida (KLITTICH, 2014).

Logo após a aplicação do fungicida, o mesmo precisa ser absorvido pela planta e então movimentado (DEVINE, 1989). É a cutícula foliar o primeiro ponto de encontro entre o produto aplicado e a planta. Assim, a cutícula, uma estrutura sem células e lipídica, cuja principal função é proteger a planta contra a perda excessiva de água, fatores abióticos e bióticos, passa a ser primeira barreira a ser vencida pelo fungicida (KERSTIENS, 1996; SATCHIVI, 2014). O movimento através da cutícula é muito mais complexo do que simples leis de transferência de massa (RIEDERER; FRIEDMANN, 2008). Adjuvantes, tipo de formulação, quantidade do ingrediente ativo em relação ao adjuvante, estrutura química e física da cutícula, dispersão da gota de aplicação na superfície foliar, tempo de secagem e concentração do ingrediente ativo são alguns dos fatores que influenciam a absorção do ingrediente ativo (WHITE et al., 2002; FORSTER et al, 2006; ZABKIEWICZ, 2007). Dentre as propriedades físicas do ingrediente ativo, a lipofilicidade é considerada uma das mais importantes. Quanto mais lipofílica uma molécula fungicida for, menor será sua absorção para camadas mais internas, já que sua ligação com ceras presentes na cutícula é alta. Isso faz com que seu movimento foliar com o auxílio da água e sua translocação sejam menores em relação a moléculas menos lipofílicas (WANG; LIU, 2007).

Poucos são os trabalhos que estudaram os efeitos das propriedades físicas das moléculas na redistribuição do ingrediente ativo após a penetração pela cutícula (KLITTICH, 2014). Basicamente, assim como o movimento através da cutícula, o movimento de um pesticida pelos tecidos da planta será regido por sua lipofilicidade (KIRKWOOD, 1999; WANG; LIU, 2007; PAPAEVANGELOU et al., 2017). A afinidade do ingrediente ativo por substâncias lipídicas é normalmente estimada com base no comportamento de sua distribuição num sistema bifásico líquido-líquido denominado

coeficiente de partição octanol-água (Kow). Este valor é obtido através da concentração do composto no octanol pela concentração do composto na água e, quanto menor o valor, mais polar a molécula é, apresentando maior afinidade pela água (OLIVEIRA Jr; BACARIN, 2011). O Kow é expresso através de log Kow, apresentando valores entre 2 e 7 (BROMILOW; CHAMBERLAIN, 1989). O log Kow, que representa o balanço entre as propriedades lipofílicas e hidrofílicas de uma molécula, é uma importante propriedade do pesticida, pois influencia diretamente na movimentação do mesmo após a sua aplicação (SILVA; FAY, 2004).

Fungicidas que apresentam log Kow maior que quatro são considerados fungicidas lipofílicos e movem-se lentamente pelos tecidos das plantas, muitas vezes ficando aderidos a materiais lipídicos, como a cutícula foliar. Já aqueles que apresentam log Kow menor que três são fungicidas hidrofílicos, movendo-se rapidamente pelos tecidos das plantas, já que apresentam maior solubilidade em água (AZEVEDO, 2007). Fungicidas que apresentam log Kow na faixa entre três e quatro tendem a apresentar sistemidade mediana.

Embora formulações e adjuvantes possam influenciar os estágios iniciais da redistribuição de fungicidas, principalmente na redistribuição superficial e na penetração cuticular, adjuvantes normalmente não afetam a redistribuição de ingredientes ativos a partir do momento que eles alcançam a epiderme foliar (BAKER; HAYES; BUTLER, 1992; KATAGI, 2008). Formulações e o uso de adjuvantes podem estar relacionados com o aumento da translocação se eles aumentarem a quantidade de ingrediente ativo que chega até as plantas e os permitem serem movimentados, caso contrário, esta correlação não pode ser feita (WANG; LIU, 2007). Forster e Kimberley (2008) demonstraram que o aumento da quantidade de epoxiconazol que chegou até as plantas, causado pelo uso de adjuvantes, não necessariamente aumentou a translocação do ativo nas plantas. Uma vez que o ingrediente ativo está na planta, sua redistribuição é dirigida pelos aspectos químicos das moléculas, já que adjuvantes e formulações não penetram além da cutícula ou das células da epiderme (WANG; LIU, 2007; KLITTICH, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Três diferentes ensaios foram realizados. O primeiro objetivou demonstrar a eficácia dos triazóis, estrobilurinas e carboxamidas usadas de forma isolada no controle da ferrugem asiática da soja. O segundo, a movimentação superficial das mesmas moléculas, através da avaliação da eficácia das moléculas em áreas da folha não aplicadas. E o terceiro, a sistemicidade de cada molécula através da sua eficácia no controle da FAS em tecidos jovens e não aplicados.

3.1 Semeadura e condução das plantas

Todos os ensaios foram conduzidos na estação experimental da Corteva Agriscience, localizada na cidade de Mogi-Mirim, São Paulo.

Sementes de soja da variedade BMX Potência foram semeadas em vasos de 90 mL contendo a mistura de 25% de solo argiloso, 50% de substrato e 25% de condicionador de solo, mais 2 g do fertilizante formulado N-P-K (4-14-8) por litro de mistura. Após a semeadura, os vasos foram mantidos em câmara de crescimento sob regime de 14 horas de luz, 25 ºC de temperatura e 70% de umidade, sendo irrigados duas vezes ao dia, até atingirem o estádio fenológico V1, para os ensaios de eficácia e movimentação superficial ou o estádio fenológico V3, para o ensaio de sistemicidade. Após o período adequado para cada ensaio, a aplicação dos ensaios foi realizada.

3.2 Delineamento experimental

Para os três diferentes ensaios, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo cada ensaio composto de 12 tratamentos (Tabela 1) com 5 repetições cada, sendo 11 diferentes moléculas fungicidas + adjuvante Alquil Ester Fosfatado – 752 g/L na proporção de 0,1% (v/v) em relação à calda e um tratamento controle (T1), onde aplicou-se apenas água mais adjuvante.

Tabela 1 – Produtos fitossanitários utilizados no preparo das caldas de pulverização

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Produto Formulado	Concentração do Produto Formulado (g i.a/ha)
T1	-	-	-	-
T2	Triazol	Tebuconazol	Tebufort	200
T3		Difenoconazol	Alto 100	100
T4		Ciproconazol	Score	250
T5	Triazolintiona	Protioconazol	Proline	250
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	Oranis	250
T7		Azoxistrobina	Priori	250
T8		Trifloxistrobina	Flint	500
T9		Piraclostrobina	Comet	250
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	Elatus B	100
T11		Bixafen	Thore	125
T12		Fluxapiroxade	Sercadis	300

Todos os tratamentos à base de triazol ou triazolintiona tiveram suas doses aplicadas ajustadas para 65 gramas de ingrediente ativo por hectare (g i.a/ha). Já os tratamentos à base de estrobilurinas tiveram suas doses ajustadas para 70 g i.a/ha, enquanto, os tratamentos à base de carboxamida foram ajustados para 45 g i.a/ha. Estes ajustes tiveram por objetivo aplicar a mesma quantidade de ingrediente ativo, dentro do mesmo grupo, independente da concentração do produto formulado, possibilitando a comparação entre as moléculas. Estas doses foram estabelecidas pela média da quantidade de ingrediente ativo isolado presente destes grupos nos produtos comerciais líderes de mercado.

No caso do ensaio de eficácia de diferentes moléculas fungicidas aplicadas de forma isolada, os valores das doses ajustadas tiveram seus valores divididos por um fator de diluição de 20x, fator este que possibilita ter-se resultados de severidade da doença iguais quando se compara as condições de aplicação deste ensaio, como o uso de plantas no estádio fenológico V1, não sobreposição de folhas e o uso do simulador de aplicação, com as condições quando o produto é aplicado a campo.

Assim, as doses aplicadas neste ensaio tiveram os valores de 3,25; 3,5 e 2,25 g i.a/ha para triazol ou triazolintiona, estrobilurina e carboxamida, respectivamente. No caso dos ensaios de mobilidade superficial e de translocação, as doses não tiveram os valores divididos pelo fator de diluição.

3.3 Aplicação

As soluções fungicidas foram preparadas em garrafas plásticas de 100 mL contendo os fungicidas e o adjuvante. A aplicação da solução foi realizada em um simulador de aplicação, modelo *Generation* III (Figura 1), utilizando-se a ponta de pulverização da marca TeeJet®, modelo XR8001EVS. O volume de aplicação foi de 150 L/ha, assim, seguindo as recomendações do fabricante da ponta de pulverização, o simulador de aplicação foi programado para aplicar a uma velocidade de 3,57 km/h, com uma pressão de trabalho de 58 PSI.

Figura 1 - Simulador de aplicação, modelo *Generation* III, utilizado nos ensaios.

Foto: Guilherme A. Gotardi – 2021

3.4 Manutenção da população de *P. pachyrhizi*

Uma população suscetível de *P. pachyrhizi* foi mantida em plantas de soja da variedade BMX Potência. Estas plantas foram acondicionadas em câmara climática para crescimento de plantas, modelo A1000, da marca Conviron (Figura 2), sob regime de luz de 12 horas, 90% de umidade e 25 ºC. Semanalmente, plantas de soja no estádio fenológico V1 foram infectadas com urediniósporos provenientes de

plantas com a presença de esporos do patógeno. Deste modo, toda semana, uma nova geração da população do fitopatógeno foi obtida.

Esta população é proveniente da antiga estação experimental da DuPont Proteção de Cultivos, localizada na cidade de Paulínia-SP, e está sendo mantida sob estas mesmas condições desde sua coleta em 2013, sem nenhum tipo de aplicação de fungicida.

Figura 2 - Câmara de crescimento de plantas, modelo A1000 - Conviron, utilizada para manutenção da população de *P. pachyrhizi* e utilizada nos ensaios

Foto: Guilherme A. Gotardi – 2021

3.5 Inoculação de *P. pachyrhizi*

Para a realização da inoculação das plantas, folhas de soja provenientes da população suscetível de *P. pachyrhizi* foram coletadas em béquer de plástico e lavadas em uma solução de água + 0,01% de Tween 20, com o objetivo de liberar os urediniósporos na solução (Figuras 3A e 3B). Estas folhas apresentavam esporulação evidente e tinham sido inoculadas entre 15 e 18 dias antes do seu uso como inóculo para o ensaio. Após a liberação dos urediniósporos na solução água + Tween 20, os mesmos foram contados em um microscópio óptico (Figura 3C), utilizando-se a lente de aumento 10x e com o auxílio de uma câmara de Neubauer (Figura 4D). A partir desta contagem, a concentração de esporos por mL da solução foi calculada. Esta concentração então foi ajustada para que a solução contivesse $1{,}0x10^5$ esporos/mL.

Figura 3 - Folhas de soja contendo esporulação evidente de *P. pachyrhizi* coletadas em béquer de plástico (A). Solução de esporos após a lavagem das folhas com água + 0,01% de Tween 20 (B). Microscópio óptico utilizado para visualização e contagem dos esporos (C). Presença de esporos de *P. pachyrhizi* em câmara de Neubauer (D).

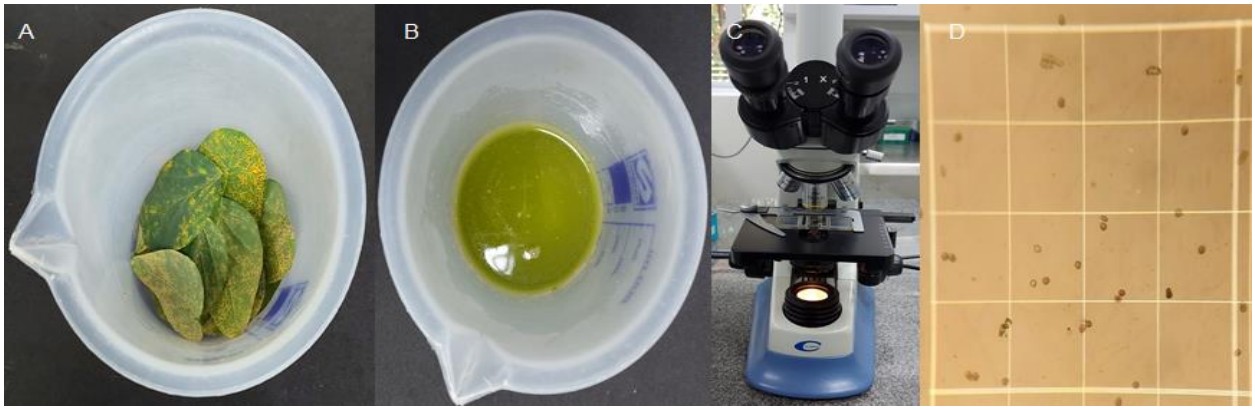


Foto: Guilherme A. Gotardi – 2021

A solução de esporos foi aplicada na parte adaxial das folhas com o auxílio de uma pistola de pintura da marca Arprex, sendo utilizada uma pressão de 2 PSI (Figura 4). Após a inoculação, as plantas foram mantidas em câmara de orvalho, com saturação de umidade e 23 ºC de temperatura por um período de 24 horas no escuro. Depois das 24 horas, as plantas foram acondicionadas em câmara climática para crescimento de plantas, modelo A1000, da marca Conviron®, onde permaneceram durante 14 dias, sob um fotoperíodo de 12 horas, 25 ºC de temperatura e 90% de umidade, até a avaliação da severidade, no caso dos ensaios, ou então utilização das plantas com fonte de inóculo, no caso da manutenção da população do patógeno.

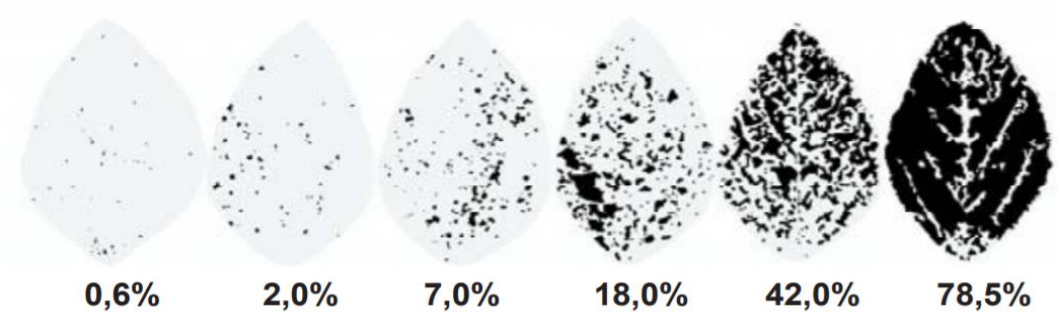
Figura 4 - Inoculação dos urediniósporos de *P. pachyrhizi* com o auxílio de uma pistola de pintura

Foto: Guilherme A. Gotardi – 2021

3.6 Avaliações e análise estatística

A avaliação para determinação da severidade e, consequentemente, o controle dos tratamentos foi realizada 14 dias após a inoculação do patógeno. Para isso, a porcentagem da área foliar infectada pelo patógeno foi avaliada visualmente com o auxílio da escala diagramática proposta por Godoy, Koga e Canteri (2006) (Figura 5). A porcentagem de controle de cada tratamento foi calculada através da fórmula de Abbott: Controle (%) = (T-t)*100/T, onde T é a severidade da testemunha e t a severidade do tratamento.

Figura 5 - Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja



Fonte: Godoy, Koga e Canteri (2006)

Os resultados obtidos das avaliações foram submetidos à ANOVA pelo teste F e as médias de severidade dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Nos três ensaios, primeiramente foi realizada a comparação de todos os tratamentos em conjunto, independente do grupo químico que o fungicida pertencia, e depois foi realizada a análise de cada grupo de fungicida de forma individualizada. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Minitab (MINITAB Inc. Statistical Software Data Analysis Software v.16) e AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2009).

3.7 Eficácia de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada

A aplicação dos produtos foi realizada em plantas de soja no estádio fenológico V1 (Figura 6), de acordo com o protocolo descrito anteriormente. Após a aplicação, as plantas foram mantidas em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas até a secagem completa dos produtos. Após a secagem, as plantas foram randomizadas em bandejas plásticas e acondicionadas na mesma câmara de crescimento em que se desenvolveram, durante 24 horas, até a realização da inoculação do patógeno seguindo a metodologia já descrita.

Figura 6 - Planta de soja no estádio fenológico V1

Foto: Guilherme A. Gotardi – 2021

A avaliação visual da severidade da doença e as notas de severidade foram atribuídas individualmente nas duas folhas unifolioladas e a média das duas notas foi utilizada como nota final da repetição.

3.8 Movimento superficial de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada

Previamente à aplicação, as plantas de soja que se apresentavam no estádio fenológico V1 tiveram metade da superfície de uma das duas folhas unifolioladas coberta por papel alumínio, assim como a superfície do solo (Figura 7), com o objetivo de não permitir a aplicação nestas áreas, sendo o produto aplicado somente na área não coberta. O limite da cobertura do papel alumínio foi marcado por dois pontos nos bordos das folhas cobertas.

Figura 7 - Planta de soja com uma folha unifoliolada e solo coberto por papel alumínio

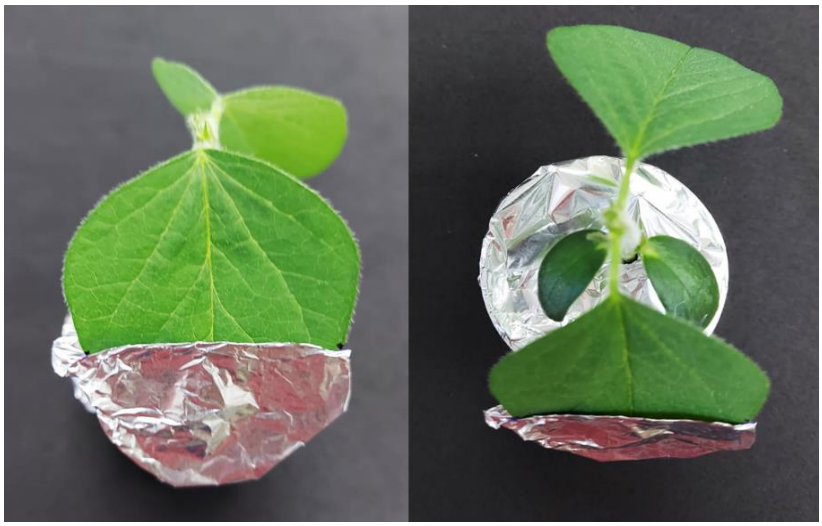


Foto: Guilherme A. Gotardi - 2021

Após a cobertura das folhas com papel alumínio, as plantas receberam a aplicação da solução fungicida de acordo com o protocolo. Após a aplicação, as plantas foram mantidas em ambiente controlado até a secagem completa dos produtos. Após a secagem, os papéis alumínio foram retirados cuidadosamente e as plantas randomizadas em bandejas plásticas e acondicionadas na mesma câmara de

crescimento em que se desenvolveram, durante 24 horas, até a realização da inoculação do patógeno.

A avaliação visual da severidade da doença limitou-se a área delimitada previamente, ou seja, a nota de severidade foi dada avaliando-se onde a solução fungicida não foi aplicada. Esta única nota foi utilizada como nota final da repetição.

3.9 Sistemicidade de diferentes triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada

Previamente à aplicação, as plantas de soja que se apresentavam no estádio fenológico V3 tiveram o segundo trifólio, que se apresentava já expandido, e o solo cobertos com papel alumínio (Figura 8), com o objetivo de não permitir a aplicação nesta área, sendo o produto aplicado somente na área não coberta, ou seja, nas folhas unifolioladas e no primeiro trifólio.

Figura 8 - Planta de soja com os dois primeiros trifólios expandidos (A), planta de soja com o segundo trifólio expandido coberto com papel alumínio (B)

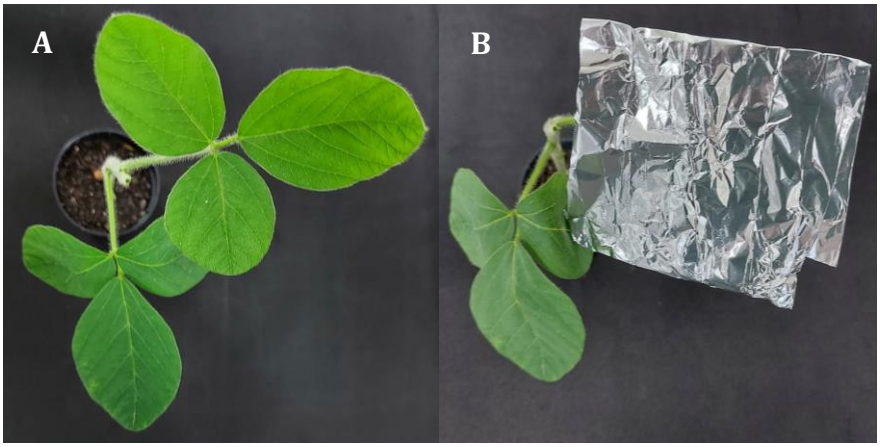


Foto: Guilherme A. Gotardi - 2021

Após a cobertura dos trifólios não expandidos e o solo com papel alumínio, as plantas receberam a aplicação da solução fungicida de acordo com o protocolo. Após a aplicação, as plantas foram mantidas em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas até a secagem completa dos produtos. Após a secagem, os papéis alumínio foram retirados cuidadosamente e as plantas randomizadas em bandejas plásticas e acondicionadas na mesma câmara de crescimento em que se

desenvolveram durante 24 horas, até a realização da inoculação do patógeno seguindo a metodologia já descrita.

A avaliação visual da severidade da doença e as notas de severidade foram atribuídas individualmente nas três folhas do segundo trifólio e a média das três notas foi utilizada como nota final da repetição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Eficácia de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada

A partir da análise estatística da severidade da doença após 14 dias da inoculação do patógeno, observou-se que, com exceção dos tratamentos com as moléculas difenoconazol e fluxapiroxade, todos os tratamentos diferiram da testemunha. Os tratamentos com as moléculas azoxistrobina, protioconazol, piraclostrobina e benzovindiflupir, foram os tratamentos que apresentaram menor severidade da doença, com médias de severidade entre as repetições de 4,0%; 6,8%; 8,0% e 9,5% respectivamente (Tabela 2). Quando se comparou as porcentagens de controle de cada tratamento em relação ao tratamento controle, apenas as moléculas azoxistrobina, piraclostrobina, benzovindiflupir, protioconazol e picoxistrobina apresentam controle da ferrugem asiática acima de 70% (Tabela 2).

Tabela 2 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos no experimento de eficácia dos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	g i.a./ha	Severidade (%)	Controle (%)
T1 (Testemunha)	-	-	-	47,5 f	-
T2	Triazol	Tebuconazol	3,25	19,5 cd	58,9
T3		Difenoconazol	3,25	43,0 f	10,8
T4		Ciproconazol	3,25	25,2 d	46,8
T5	Triazolintiona	Protioconazol	3,25	6,8 a	85,8
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	3,5	14,0 bc	70,5
T7		Azoxistrobina	3,5	4,0 a	91,6
T8		Trifloxistrobina	3,5	23,0 cd	51,6
T9		Piraclostrobina	3,5	8,0 a	83,2
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	2,25	9,5 ab	80,0
T11		Bixafen	2,25	22,5 cd	52,6
T12		Fluxapiroxade	2,25	37,8 ef	20,5
Valor de F:				55,743	
DMS (5%):				3,6265	
C.V (%):				14,919	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Através da figura 9, é possível observar claramente a redução da severidade da doença nos tratamentos com os fungicidas e um melhor controle com as moléculas azoxistrobina, piraclostrobina, benzovindiflupir, protioconazol e picoxistrobina.

Figura 9 - Severidade da doença nos diferentes tratamentos no ensaio de eficácia

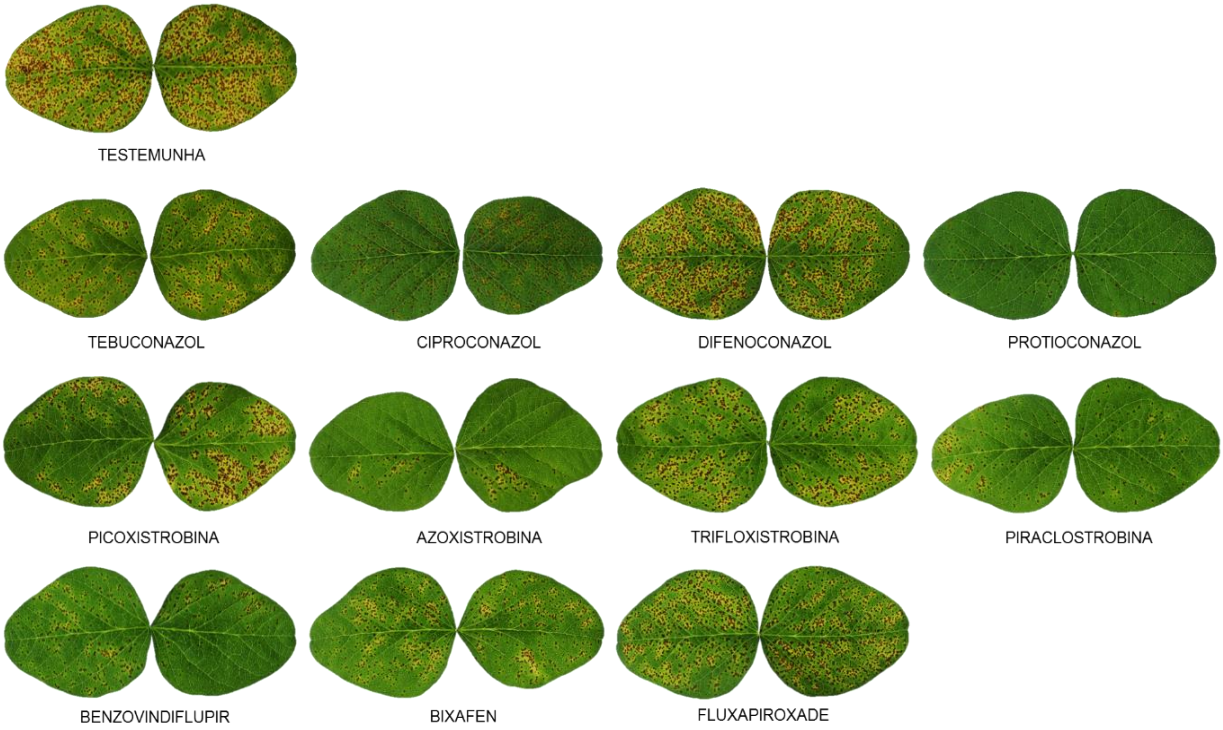


Foto: Guilherme A. Gotardi - 2021

Ao analisar a porcentagem da severidade e a porcentagem de controle de forma individualizada para o grupo triazol e triazolintiona, ambos IDMs, é possível observar que a molécula protioconazol apresenta as menores porcentagens de severidade e a maior porcentagem de controle, com valores de 6,8% e 85,8% respectivamente (Tabela 3). Isto indica que a molécula protioconazol é a mais eficiente entre os IDMs em controlar a ferrugem asiática da soja. Este foi o mesmo resultado obtido por Godoy et al. (2021) que, ao comparar a aplicação de forma isolada de diferentes IDMs a campo, observou que a molécula protioconazol apresentou as menores porcentagens de severidade e as maiores taxas de controle. Esta molécula é a última representante do grupo dos IDMs registrada para o controle de *P. pachyrhizi*, lançada em 2010 em mistura com trifloxistrobina, e a única que ainda

mantém bons níveis de controle (GODOY, 2020). Contudo, uma ressalva deve ser feita, pois na safra 2021/2022, diversos produtos à base de protioconazol serão lançados no mercado, aumentando significantemente a pressão de seleção do patógeno para esta molécula.

Apenas a molécula difenoconazol não diferiu estatisticamente da testemunha. Já os tratamentos à base de tebuconazol e ciproconazol, não diferiram estatisticamente entre si, contudo apresentaram redução da severidade da doença quando comparada ao tratamento controle (Tabela 3). Estes resultados corroboram com os resultados encontrados por Soares et al. (2004), onde demonstraram que estas mesmas moléculas apresentaram severidades semelhantes, resultando em produtividades iguais em ensaio realizado a campo. Reenterra-se que o isolado utilizados no presente trabalho não sofreu nenhum tipo de pressão de seleção dos fungicidas ao longo de suas gerações, podendo ser comparado a isolados presentes no Brasil no ano de 2004, já que era recente a chegada da doença e adoção do uso de fungicidas para seu controle, não havendo seleção do patógeno às moléculas.

Tabela 3 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes triazóis e triazolintiona no experimento de eficácia das moléculas

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	Controle (%)
T1 (Testemunha)	-	-	47,5 c	-
T2	Triazol	Tebuconazol	19,5 b	58,9
T3		Difenoconazol	43,0 c	10,8
T4		Ciproconazol	25,2 b	46,8
T5	Triazolintiona	Protioconazol	6,8 a	85,8
Valor de F:			72,093	
DMS (5%):			2,8698	
C.V (%):			11,440	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Analisando de forma individual os tratamentos à base de estrobilurinas, foi possível observar que todos os tratamentos diferiram significativamente da testemunha apresentando redução da severidade da doença. O tratamento trifloxistrobina foi o que apresentou menores taxas de redução da doença e menor controle da mesma, com apenas 51,6% de controle. Já todos os outros tratamentos

apresentaram controles acima de 70%, sendo a azoxistrobina (91,6%) o melhor tratamento, seguido por piraclostrobina (83,2%) e picoxistrobina (70,5%) (Tabela 4).

Tabela 4 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para as diferentes estrobilurinas no experimento de eficácia das moléculas

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	47,5 d	-
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	14,0 b	70,5
T7		Azoxistrobina	4,0 a	91.6
T8		Trifloxistrobina	23,0 c	51,6
T9		Piraclostrobina	8,0 ab	83,2
Valor de F:			126,12	
DMS (5%):			0,1735	
C.V (%):			2,5266	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Ao avaliar a eficácia de diferentes estrobilurinas aplicadas de forma isolada e a campo, Reis; Carregal; Zanatta (2019) encontraram resultados divergentes a estes. Segundo os autores, a melhor molécula foi a trifloxistrobina com 69,7% de controle e em seguida a picoxistrobina com 54,1%. Já as moléculas azoxistrobina e piraclostrobina tiveram controles de 15,8% e 15,4% respectivamente. Estas diferenças de controle podem ser explicadas pelo fato do inóculo do patógeno ser diferente, já que o ensaio dos autores foi realizado a campo, cuja população do patógeno sofre pressão de seleção constante para as moléculas. Esta pressão de seleção ocasiona alterações na população do patógeno, afetando mais ou menos a eficácia de cada molécula. Já neste trabalho, a população utilizada não sofreu nenhuma pressão de seleção, mantendo as características de sensibilidade desde sua coleta.

Dentre todos os tratamentos do ensaio, cinco moléculas apresentaram taxas de controle superior a 70%, sendo que três são estrobilurinas, isso demonstra a alta atividade fungitóxica deste grupo de moléculas. Segundo Reis; Reis; Carmona (2010), a fungitoxidade em doses baixas é uma das características mais importantes que uma molécula fungicida deve ter. Esta alta fungitoxicidade tem sido uma das razões do uso destas moléculas no controle de doenças fúngicas. No caso específico da *P.*

pachyrhizi, estas moléculas também são amplamente utilizadas, principalmente em mistura com triazóis (JULIATTI et al., 2017b).

Apesar de não ser um grupo novo, já que seu primeiro representante foi descoberto em 1966, o grupo das carboxamidas é o mais recente a ser utilizado para o controle da ferrugem-asiática (GODOY et al., 2020). A adoção do uso deste grupo foi rapidamente aceita pelos produtores, principalmente pela queda da eficácia das outras moléculas presentes no mercado. Segundo JULIATTI et al. (2017b), estas moléculas apresentam alta fungitoxicidade e são de grande importância no manejo de resistência.

Dentre as cinco melhores moléculas testadas neste ensaio, uma é pertencente ao grupo das carboxamidas, o benzovindiflupir, apresentando 80% de controle da doença. Ao avaliar de forma individual as três moléculas, todas diferiram estatisticamente do tratamento controle, com exceção da molécula fluxapiroxade, não apresentando diferença de severidade com a testemunha (Tabela 5). As moléculas bixafen e fluxapiroxade, apresentaram controle de 52,6% e 20,5% respectivamente, diferindo estatisticamente do benzovindiflupir.

Tabela 5 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para as diferentes carboxamidas no experimento de eficácia das moléculas

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	47,5 c	-
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	9,5 a	80,0
T11		Bixafen	22,5 b	52,6
T12		Fluxapiroxade	37,8 c	20,5
Valor de F:			50,008	
DMS (5%):			4,5217	
C.V (%):			14,173	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

A molécula benzovindiflupir se mostrou eficaz em controlar a ferrugem asiática e quando se compara com a molécula fluxapiroxade, esta eficácia é ainda mais evidente. Estes resultados também foram obtidos por Guicherit et al. (2014), que ao comparar as duas moléculas, chegaram à conclusão que para se ter 90% de controle da doença, necessitou-se de 12,1 g/ha de benzovindiflupir, enquanto para

fluxapiroxade foram necessários 35,1 g/ha. Borba (2019) também obteve resultados parecidos. Em testes conduzidos com folhas destacadas e imersas em solução fungicida, chegou a valores de 6,8 g/ha de benzovindiflupir para matar 95% da população sensível, enquanto, para fluxapiroxade, necessitou de 78,2 g/ha.

A molécula bixafen resultou em valores intermediários de controle da doença, ficando abaixo do benzovindiflupir também. Müller; Stammler; De Mio (2021), ao comparar a dose letal de produto necessária para matar 50% da população de diferentes isolados de *P. pachyrhizi,* chegaram a valores médios de 12,3 µg/ml para bixafen e 8,6 µg/ml para benzovindiflupir, também demonstrando a melhor eficácia desta molécula.

Ao menos uma molécula de cada grupo apresentou as melhores taxas de controle da doença no presente trabalho, onde utilizou-se um isolado de *P. pachyrhizi* que não sofreu pressão de seleção a nenhum grupo químico e que apresenta sensibilidade a todas as moléculas. Protioconazol, azoxistrobina e benzovindiflupir foram os respectivos representantes dos grupos IDM, IQe e SDHI com as melhores taxas de controle. Embora a eficácia não seja o único quesito a ser considerado na escolha de um fungicida, sendo que características como espectro de controle e residual também são importantes, estes resultados reforçam a importância de se buscar novas moléculas com características parecidas às que apresentaram alta eficácia neste trabalho, buscando um melhor controle de isolados presentes atualmente no país.

4.2 Movimento superficial de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas no controle da ferrugem asiática da soja aplicadas de forma isolada

A partir das análises de severidade da doença na porção da folha não aplicada com a solução fungicida, todos os tratamentos apresentaram redução na severidade da doença, contudo os tratamentos à base de difenoconazol, trifloxistrobina, piraclostrobina e bixafen, não diferiram estatisticamente da testemunha (Tabela 6). Já as moléculas ciproconazol, protioconazol, picoxistrobina, azoxistrobina e fluxapiroxade apresentaram alta movimentação superficial, evidenciada nas taxas de controle da doença, sendo superiores a 95%. A visualização das severidades (Figura 10) ratifica as análises estatísticas, demonstrando um alto controle da doença por

parte de algumas moléculas, já por outras, apesar da diminuição da doença, não obtiveram controle satisfatório.

Tabela 6 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos no experimento de movimentação superficial dos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	g i.a./ha	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	-	33,25 e	-
T2	Triazol	Tebuconazol	65	5,25 c	88,9
T3		Difenoconazol	65	21 de	55,8
T4		Ciproconazol	65	1,45 b	96,9
T5	Triazolintiona	Protioconazol	65	0,0 a	100
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	70	0,05 a	99,9
T7		Azoxistrobina	70	0,15 ab	99,7
T8		Trifloxistrobina	70	19,5 de	58.9
T9		Piraclostrobina	70	24 de	49,5
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	45	13,5 d	71,6
T11		Bixafen	45	27 e	43,2
T12		Fluxapiroxade	45	0,225 a	99,5 a
Valor de F:				113,897	
DMS (5%):				5,8754	
C.V (%):				7,5638	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Figura 10 - Severidade da doença nos diferentes tratamentos no ensaio de movimento superficial

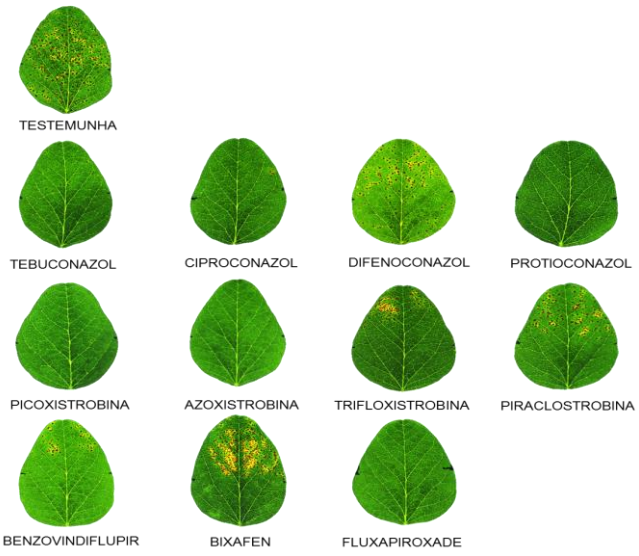


Foto: Guilherme A. Gotardi - 2021

Segundo Klittich (2014), a redistribuição do ingrediente ativo nos tecidos das plantas é uma importante característica de muitos dos fungicidas sintéticos modernos, atributo que aumenta a sua eficácia e confiabilidade. Esta redistribuição está totalmente ligada à afinidade da molécula fungicida com a água e sua interação com os lipídios e ceras das folhas das plantas. Esta interação pode ser estimada através do coeficiente de partição octanol-água (Kow) (OLIVEIRA Jr; BACARIN, 2011). Quanto menor for o coeficiente Kow, menor a lipofilicidade da molécula, apresentando maior afinidade pela água e podendo de movimentar com maior facilidade (TORRES, 2009).

As moléculas ciproconazol, protioconazol, picoxistrobina, azoxistrobina e fluxapiroxade foram as que apresentaram melhor controle da doença em partes da folha não aplicadas com fungicidas, evidenciando o seu movimento superficial para diferentes áreas da folha. Essas moléculas apresentam valores de log Kow de 2,9; 3,82; 3,6; 2,5 e 3,06 respectivamente (AUGUSTO; BRENNEMAN, 2012; JULIATTI et al., 2017b). Esses valores são baixos a medianos na escala de log Kow, que varia de 2 a 7, sendo assim eles apresentam baixa lipofilicidade, o que os permite se movimentarem superficialmente para áreas não aplicadas, não ficando presos às ceras da cutícula foliar. Já as moléculas difenoconazol, trifloxistrobina e piraclostrobina apresentam valores de log Kow de 4,3; 4,5; 4,0 respectivamente (JULIATTI et al., 2017b), valores esses altos na escala de log Kow, representando a alta lipofilicidade das moléculas e consequentemente sua baixa mobilidade superficial. A molécula bixafen, apesar de apresentar valores medianos de log Kow (3,3), também não apresentou bom controle da doença. Isto pode estar relacionado não apenas à movimentação superficial da molécula, mas também a outras características, como a própria fungitoxidade do produto, que foi constatada sendo mediana no ensaio de eficácia para o controle da *P. pachyrhizi*.

Ao analisar-se apenas as moléculas pertencentes ao grupo dos triazóis e triazolintiona (Tabela 7), é possível observar que apenas a molécula difenoconazol não apresentou severidade estatisticamente diferente da testemunha, exibindo apenas 55,8% de controle da doença. Ao testarem a atividade sistêmica de diferentes moléculas, Kemmitt et al. (2008) concluíram que o fungicida difenoconazol falhou em promover o controle da *P. pachyrhizi* ao não se mover para áreas das folhas onde o fungicida não foi aplicado após a aplicação em áreas delimitadas anteriormente, enquanto outras moléculas, como o flutriafol, apresentaram 100% de controle da

doença. A molécula difenoconazol apresenta um Kow de 4,3, demonstrando-se um fungicida lipofílico, permanecendo, na maioria das vezes, aderido à materiais lipídicos. Já o flutriafol (molécula não testada neste trabalho) apresenta log Kow de 2,3 (SILVA, 2018), valor muito próximo ao do ciproconazol (Kow = 2,9), que juntamente com o protioconazol, apresentou as melhores taxas de controle em áreas não aplicadas, acima dos 95% de controle (Tabela 7).

Tabela 7 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de triazóis e triazolintiona no ensaio de movimentação superficial

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	33,25 d	-
T2	Triazol	Tebuconazol	5,25 c	88,9
T3		Difenoconazol	21 d	55,8
T4		Ciproconazol	1,45 b	96,9
T5	Triazolintiona	Protioconazol	0,0 a	100
Valor de F:			131,88	
DMS (5%):			0,7669	
C.V (%):			15,047	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

As várias estrobilurinas presentes atualmente no mercado apresentam propriedades físico-químicas muito distintas, o que consequentemente confere comportamentos diferentes tanto dentro da planta, como nas áreas externas após a aplicação (BARTLETT et al., 2002). Isto fica evidenciado nos valores de log Kow das diferentes moléculas, sendo de 2,5; 3,6; 4,0 e 4,5 para os fungicidas azoxistrobina, picoxistrobina, piraclostrobina e trifloxistrobina, respectivamente (BARTLETT et al., 2002; AUGUSTO; BRENNEMAN, 2012; JULIATTI et al., 2017b). Essas diferenças nos valores de log Kow evidenciaram as taxas de controle destas moléculas em áreas não tratadas com a solução fungicida (Tabela 8). Azoxistrobina e picoxistrobina, que apresentam valores de baixo a mediano de log Kow, proporcionaram 99,7% e 99,9% de taxa de controle da doença, respectivamente. Já as moléculas piraclostrobina e trifloxistrobina, que possuem valores de log Kow elevados, apresentaram taxas de controle abaixo dos 60%, demonstrando sua baixa mobilidade superficial na folha.

Tabela 8 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida para os diferentes tratamentos à base de estrobilurina no ensaio de movimentação superficial

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	33,25 c	-
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	0,05 a	99,9
T7		Azoxistrobina	0,15 b	99,7
T8		Trifloxistrobina	19,5 c	58.9
T9		Piraclostrobina	24 c	49,5
Valor de F:			1302,7	
DMS (5%):			0,2807	
C.V (%):			10,284	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Resultados semelhantes para estas quatro moléculas foram obtidas por Bartlett et al. (2002), que ao testarem esses fungicidas para o controle de doenças do trigo, observaram que azoxistrobina e picoxistrobina apresentaram uma redistribuição sistêmica após o tratamento de uma zona delimitada na base da folha da planta, resultando no controle da doença ao longo da folha, enquanto as moléculas trifloxistrobina e piraclostrobina não apresentaram tal controle. Liu et al. (2014) também demonstram a alta capacidade de movimentação superficial da molécula azoxistrobina. Ao compararem esta molécula com outras duas novas estrobilurinas em desenvolvimento, verificaram que a azoxistrobina promoveu uma maior proteção contra *Blumeria graminis* ao controlar a doença em zonas mais distantes do local de aplicação do fungicida quando comparadas às moléculas experimentais.

Outro método que pode ser usado para analisar a capacidade de movimentação de determinada molécula é através da quantificação analítica da concentração do produto em áreas aplicadas e não aplicadas com o fungicida (KLITTICH, 2014). Através desta técnica também foi possível observar que as moléculas azoxistrobina e picoxistrobina são as mais móveis quando comparadas com outras estrobilurinas, como demonstrou o trabalho apresentado por Klittich et al. (2008), onde os autores quantificam a concentração de produto encontrado em áreas não aplicadas em relação à concentração de produto encontrado na área aplicada, e chegaram a valores de 0,59%, 0,25% e 0,021% para as moléculas picoxistrobina, azoxistrobina e trifloxistrobina, indicando que as duas primeiras moléculas tiveram

maior capacidade de movimentação de áreas aplicadas para áreas não aplicadas, favorecendo um melhor controle das doenças nestas áreas.

Os fungicidas pertencentes ao grupo das carboxamidas são derivados de uma grande variedade de químicos, por isso apresentam diferentes níveis de movimentação do ingrediente ativo (JULIATTI et al., 2017b). Ao analisar-se conjuntamente apenas as moléculas pertencentes a este grupo é possível observar que a molécula bixafen não diferiu estatisticamente do tratamento controle, enquanto benzovindiflupir apresentou um nível de controle satisfatório (71,6%) e fluxapiroxade um nível de controle excelente (99,5%), sendo uma das moléculas, entre todas dos três grupos, com os melhores níveis de movimentação superficial (Tabela 9).

Tabela 9 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida para os diferentes tratamentos à base de carboxamida no ensaio de movimentação superficial

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	33,25 c	-
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	13,5 b	71,6
T11		Bixafen	27 c	43,2
T12		Fluxapiroxade	0,225 a	99,5
Valor de F:			114,34	
DMS (5%):			1,5307	
C.V (%):			17,263	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Ao comparar os valores de log Kow das três moléculas, observa-se que o fluxapiroxade é a molécula que apresenta o menor valor entre elas (log Kow = 3,06), isso explica a alta capacidade deste produto se mover na superfície foliar e obter altos níveis de controle da doença. Em estudos de sistemicidade da molécula fluxapiroxade, Santos (2016) usa a molécula fungicida marcada com o isótopo radioativo ^{14}C, o que possibilita a visualização do movimento da substância pela planta após radioimagens serem tiradas da mesma. Ao aplicar o fungicida em partes delimitadas da folha, é possível observar que após 24 horas a molécula teve a capacidade de atingir áreas em que não foi aplicada, possibilitando o controle da doença.

Já em relação às outras duas moléculas do grupo das carboxamidas, o benzovindiflupir apresentou um controle satisfatório da ferrugem asiática da soja,

enquanto o bixafen não apresentou diferença estatística de severidade com a testemunha. Ao se comparar o log Kow das duas moléculas, observa-se que o benzovindiflupir apresenta valores maiores que o bixafen, 4,32 e 3,3, respectivamente, sendo assim, o benzovindiflupir apresenta baixa movimentação na planta. Segundo Guicherit et al. (2014), esta molécula apresenta forte ligação com a camada de cera da folha, sendo altamente ativa para os patógenos indicados. Dependendo das propriedades físicas do ingrediente ativo, a sua redistribuição na superfície da folha pode ocorrer através da ressuspensão do ativo pela água livre na superfície foliar e difusão pela folha. Condição esta, de água livre na folha, também necessária para o desenvolvimento dos patógenos (HISLOP; COX, 1970). Desta maneira, é possível supor que a molécula benzovindiflupir teve grande parte de sua quantidade aplicada fortemente aderida às ceras das folhas de soja e, após a inoculação do patógeno e manutenção das plantas em câmara de orvalho por 24 horas, foi ressuspendida e difundida para a parte da folha sem aplicação. Conectando isso à alta eficácia da molécula em controlar a *P. pachyrhizi,* já demonstrada no ensaio de eficácia das moléculas, é possível explicar o controle satisfatório da molécula apesar de apresentar um log Kow elevado. Huang et al. (2019) testaram a capacidade da molécula benzovindiflupir de se mover de uma região da folha de berinjela aplicada com a solução do fungicida para uma região sem aplicação. Ao inocular o fungo *Sclerotinia sclerotiorum* na parte da folha sem aplicação, foi possível observar um controle da doença de 71,3%, demonstrando a capacidade da molécula em se mover para outras partes da folha que não receberam aplicação.

Neste ensaio fica evidente a capacidade de algumas moléculas em se moverem de partes aplicadas para partes não aplicadas, característica muito desejável para os fungicidas, já que as aplicações não promovem uma cobertura de 100% das folhas. Os três grupos químicos de fungicidas aqui testados tiveram ao menos um representante apresentando as melhores porcentagens de controle. Isto indica as possíveis melhores moléculas para comporem a mistura de fungicidas comerciais, levando em consideração que estas moléculas aumentaram a capacidade do produto comercial de controlar o patógeno em áreas não aplicadas, melhorando a confiabilidade neste produto.

4.3 Sistemicidade de triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas no controle da ferrugem asiática da soja

No ensaio de sistemicidade, cujo objetivo foi avaliar a capacidade dos fungicidas testados em se moverem para as folhas das plantas de soja que não receberam aplicação e controlarem a doença, foi possível observar que todos os fungicidas tiveram a capacidade de reduzir a severidade da ferrugem asiática da soja (Figura 11), porém a molécula difenoconazol apresentou uma baixa redução da severidade, sendo de apenas 0,2% em relação a testemunha resultando em 0,8% de controle. Contudo, através da análise estatística de todos os ingredientes ativos em conjunto, foi possível observar que apenas as moléculas ciproconazol, tebuconazol, protioconazol, pertencentes ao grupo dos IDMs e picoxistrobina, pertencente ao grupo das estrobilurinas, apresentaram diferença estatística em relação a testemunha. Não houve diferença estatística entre as carboxamidas aqui testadas e a testemunha (Tabela 10).

Figura 11 - Severidade da doença nos diferentes tratamentos no ensaio de sistemicidade

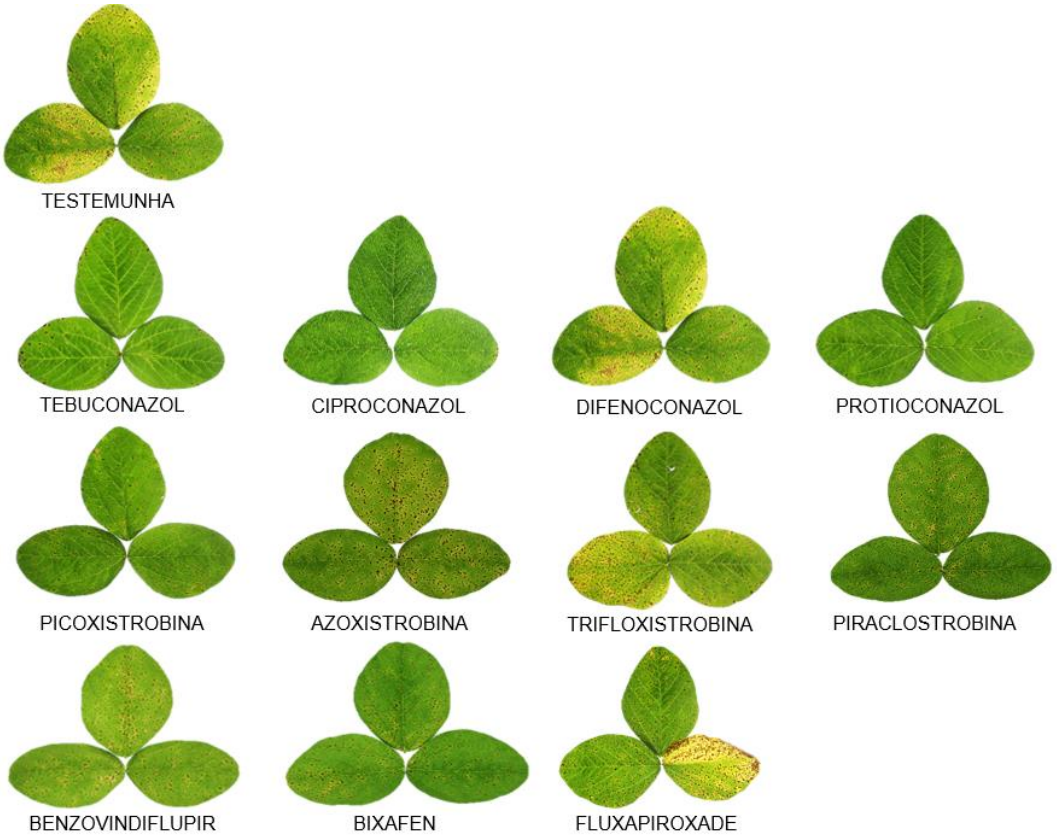


Foto: Guilherme A. Gotardi - 2021

Tabela 10 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos no experimento de sistemicidade dos triazóis, triazolintiona, estrobilurinas e carboxamidas isoladas

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	19,7 c	-
T2	Triazol	Tebuconazol	1,4 a	92,8
T3		Difenoconazol	19,5 c	0,8
T4		Ciproconazol	1,3 a	93,6
T5	Triazolintiona	Protioconazol	0,4 a	98,0
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	7,7 b	61,0
T7		Azoxistrobina	17,1 c	13,1
T8		Trifloxistrobina	16,7 c	15,3
T9		Piraclostrobina	17,2 c	12,7
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	16,8 c	14,4
T11		Bixafen	15,8 c	19,5
T12		Fluxapiroxade	16,8 c	14,4
Valor de F:			37,556	
DMS (5%):			2,7899	
C.V (%):			22,244	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Santos et al. (2018) avaliaram a translocação via xilema de três triazóis (ciproconazol, tebuconazol e flutriafol) e duas estrobilurinas (azoxistrobina e piraclostrobina) em plantas de soja no controle do oídio na cultura. Após aplicarem a solução fungicida no primeiro trifólio da planta e avaliar a incidência da doença no segundo e terceiro trifólio, os autores não conseguiram identificar diferenças entre os fungicidas testados, porém todos os fungicidas diferiram da testemunha. Nos resultados aqui obtidos, também foi possível observar que os triazóis ciproconazol e tebuconazol também se moveram para as folhas da planta de soja localizadas acima do ponto de aplicação, diminuindo a severidade da doença e diferindo estatisticamente do tratamento controle. Porém as estrobilurinas, azoxistrobina e piraclostrobina, não obtiveram sucesso em reduzir de forma significativa a incidência da ferrugem asiática da soja, diferentemente do que os autores encontraram para o patossistema oídio x soja. Já os autores Augusto e Brenneman (2012), ao avaliarem

a proteção que os fungicidas oferecem a folhas de amendoim de plantas que receberam a aplicação de fungicidas apenas no caule principal contra o patógeno *Sclerotium rolfsii* concluem que, a molécula protioconazol teve sucesso em controlar a doença, contudo os fungicidas tebuconazol e azoxistrobina não obtiveram diferença estatística de severidade com o tratamento controle. No trabalho aqui apresentado, para o patossistema *P. pachyrhizi* x soja tanto a molécula protioconazol como a molécula tebuconazol obtiveram redução significativa da severidade da ferrugem asiática da soja.

Estes resultados evidenciam que possivelmente o controle de cada molécula não está apenas ligado à sua capacidade de mover-se de forma acropetal, mas também relacionada ao patossistema em que está sendo aplicada e a quantidade de ingrediente ativo translocado para o controle do patógeno. Este fato foi demonstrado para a molécula azoxistrobina marcada com ^{14}C em videira, onde a aplicação foi realizada quando a planta possuía duas folhas. Após um intervalo de três semanas, foi possível observar a azoxistrobina radiomarcada presente nas três novas folhas emergidas durante o período, porém essa translocação não promoveu um controle satisfatório das doenças (BARTLETT, 2002).

Ao analisar se apenas as moléculas do grupo dos triazóis e triazolintiona, é possível observar diferenças estatísticas entre o tratamento controle e os produtos utilizados (Tabela 11). Neste caso, apenas a molécula difenoconazol não diferiu do tratamento controle. Já os ingredientes ativos ciproconazol, protioconazol e tebuconazol diferiram da testemunha, contudo não apresentaram diferença significativa entre si, sendo que com os valores de 0,4% de severidade e 98% de controle a molécula protioconazol apresentou as menores porcentagens de severidade da doença e a melhor taxa de controle entre todos os IDMs. As moléculas ciproconazol e tebuconazol também apresentam alto controle da doença, com 93,6% e 92,8%, respectivamente. Segundo Juliatti et al. (2017b), as moléculas pertencentes ao grupo dos IDMs apresentam, além de uma alta fungitoxidade e longo efeito residual, alta sistemicidade, movendo-se principalmente através do xilema das plantas. O alto controle que três moléculas apresentaram neste trabalho evidencia a capacidade de cada composto em se movimentar de forma acropetal e de controlar de forma efetiva a doença em locais acima do ponto de aplicação do fungicida.

Tabela 11 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de triazóis e triazolintiona no experimento de sistemicidade

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	19,7 b	-
T2	Triazol	Tebuconazol	1,4 a	92,8
T3		Difenoconazol	19,5 b	0,8
T4		Ciproconazol	1,3 a	93,6
T5	Triazolintiona	Protioconazol	0,4 a	98,0
Valor de F:			58,124	
DMS (5%):			2,3388	
C.V (%):			28,150	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Monteiro et al. (2013), ao avaliarem a área abaixo da curva de progresso de doenças do coqueiro em folhas acima do ponto de aplicação da solução fungicida chegaram à conclusão de que o triazol, que apresentou uma das piores eficácias no controle das doenças, assim como neste trabalho, foi o difenoconazol, ficando atrás de outras moléculas, como o ciproconazol por exemplo, que no presente trabalho também apresenta alto nível de controle do patógeno. Este fato reitera a falta de capacidade da molécula difenoconazol em translocar-se de forma acropetal diferentemente dos outros IDMs aqui testados.

Bromilow e Chamberlain (1989) afirmam que a sistemicidade de um composto pode ser prevista levando-se em conta a lipofilicidade da molécula e que moléculas com log Kow elevados não irão mover-se por completo nas plantas. As moléculas protioconazol, tebuconazol e ciproconazol apresentam valores baixos a medianos de log Kow, 3,82; 3,7 e 2,9 respectivamente. São essas as moléculas que apresentaram redução significativa da severidade da doença e alto controle. Já o pior produto, que não diferiu estatisticamente da testemunha, foi o difenoconazol, que apresenta o maior valor de log Kow, de 4,3, entre todas as moléculas pertencentes aos triazóis ou triazolintiona. Assim houve uma relação direta entre uma maior movimentação destas moléculas e a sua lipofilicidade, sendo que quanto mais lipofílica a molécula é, menor a translocação e controle da doença.

As estrobilurinas são consideradas o grupo mais significante de fungicidas descobertos até os dias atuais, devido ao seu amplo espectro de ação e por serem

muito seguras ao meio ambiente (BAIBAKOVA et al., 2019). A sistemicidade deste grupo de fungicidas não é uma das suas principais características, tendo como período residual e alta fungitoxicidade, maior relevância para o grupo (JULIATTI et al., 2017b).

Avaliando-se separadamente as moléculas pertencentes a este grupo, foi possível observar que apenas a molécula picoxistrobina apresentou diferença estatísticas em relação a testemunha (Tabela 12), sendo que todos os outros compostos testados não obtiveram redução significativa da severidade.

Tabela 12 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de estrobilurinas no experimento de sistemicidade

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	19,7 b	-
T6	Estrobilurina	Picoxistrobina	7,7 a	61,0
T7		Azoxistrobina	17,1 b	13,1
T8		Trifloxistrobina	16,7 b	15,3
T9		Piraclostrobina	17,2 b	12,7
Valor de F:			6,1809	
DMS (5%):			7,0801	
C.V (%):			13,327	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Com exceção da molécula azoxistrobina, todas as outras moléculas apresentam valores de log Kow maior que 3, sendo de 3,6; 4,5 e 4,0 para as moléculas picoxistrobina, trifloxistrobina e piraclostrobina. Com estes valores medianos a altos de log Kow, espera-se que as moléculas não se movam a longas distâncias. Apesar disso, a picoxistrobina possui a capacidade de se mover de forma acropetal, sendo que é a molécula que apresenta maior sistemicidade via xilema entre todas a estrobilurinas comerciais. Em plantas de trigo, 20% do total de picoxistrobina retida pelas folhas translocaram-se para pontos acima da aplicação (GODWIN; BARTLETT; HEANEY, 1999). Este importante atributo do composto ficou evidenciado nos resultados do ensaio de sistemicidade, sendo a única molécula entre todas as estrobilurinas a apresentar diferença estatística em relação ao tratamento controle.

Já as moléculas piraclostrobina e trifloxistrobina não apresentaram redução significativa da severidade da doença em relação a testemunha, evidenciando a sua não movimentação para partes da planta acima do ponto de aplicação. Diferentemente da picoxistrobina, estas duas moléculas não apresentam movimentação acropetal (AMMERMANN et al, 2000; REUVINI, 2001). Santos (2016), analisando a translocação dos fungicidas para os tecidos adjacentes, notou que a piraclostrobina ficou totalmente retida nos folíolos onde a solução fungicida foi aplicada, reiterando a não capacidade de sistemicidade desta molécula.

Apesar de apresentar valor baixo de log Kow (2,5), a molécula azoxistrobina também não apresentou diminuição da severidade da doença. Monteiro et al. (2013) observaram que, mesmo após quatro aplicações de azoxistrobina nas axilas das folhas de coqueiro, não houve redução da severidade da doença conhecida como queima-das-folhas do coqueiro. Isso evidencia que o produto não foi capaz de translocar-se ao longo da folha e para crescimentos novos via xilema, não impedindo o desenvolvimento da doença.

Algumas moléculas podem apresentar log Kow baixo e translocar para partes distantes da planta, porém essa quantidade translocada não é o suficiente para promover o controle da doença, como é o caso da azoxistrobina. Em estudos com trigo, apenas 8% do total do composto retido pelas folhas após aplicação foi translocado para partes acima da aplicação (GODWIN; BARTLETT; HEANEY, 1999). Wang et al. (2021), ao estudarem os fatores químicos que afetam a absorção e a translocação de seis moléculas agroquímicas, quantificaram o montante presente nas folhas de milho após a absorção e translocação da azoxistrobina. Após 14 dias da exposição das plantas aos produtos, foi possível a detecção de apenas 0,89 mg de azoxistrobina por quilograma de massa de milho. Já para moléculas com log Kow menores foi possível detectar valores superiores de ingrediente ativo, como por exemplo para o imidacloprid, (Kow = 0,57) onde encontrou-se 3,14 mg/kg, uma quantidade 252% maior que a molécula fungicida.

Por assim, pode-se supor que no caso das estrobilurinas testadas no ensaio de sistemicidade a correlação entre o valor de log Kow e a capacidade de movimentação acropetal também existe, sendo que as duas moléculas que apresentam os menores valores são capazes de se movimentarem, porém a relação entre a quantidade aplicada e translocada para as partes acima da aplicação também é um fator importante para o controle ou não da doença, sendo que mesmo aquela

que apresenta o menor valor de log Kow, transloca-se em quantidades baixas, não sendo o suficiente para controlar a doença.

As carboxamidas são fungicidas conhecidos como inibidores da succinato desidrogenase e são representadas por oito diferentes grupos químicos. Isso faz com que as moléculas deste grupo tenham características bem distintas umas das outras e, dependendo da cultura, apresentem atributos de sistemicidade diferentes (JULIATTI, 2017b).

Analisando-se individualmente as carboxamidas, apesar de ter ocorrido a diminuição da severidade da doença nos tratamentos com os fungicidas em comparação com o tratamento controle, não foi possível encontrar diferenças estatísticas (Tabela 13). Benzovindiflupir e fluxapiroxade apresentaram severidades iguais, 16,8%, enquanto bixafen apresentou severidade levemente menor, de 15,8%, porém sem significância estatística quando comparada aos outros dois produtos. Todas as carboxamidas testadas no presente trabalho têm valores de log Kow maiores ou muito próximos de três, sendo eles de 3,06; 4,32 e 3,3 respectivamente para fluxapiroxade, benzovindiflupir e bixafen. Valores estes que fazem estas moléculas não apresentarem característica de elevada mobilidade na planta a longas distâncias.

Santos (2016), ao quantificar o total de produto translocado para partes da planta acima da folha tratada com a solução fungicida, observou valores de 0,28% para o fluxapiroxade, valor aproximadamente duas vezes menor quando se compara com o triazol epoxiconazol, conhecido por sua alta mobilidade na planta. Esta translocação do fluxapiroxade também só foi observada 24 horas após a aplicação, enquanto para o epoxiconazol após apenas três horas já foi possível a detecção da molécula.

Já para a molécula bixafen a velocidade de translocação é considerada moderada, sendo indicada para seus alvos biológicos por promover uma boa redistribuição do ingrediente ativo (SUTY-HEINZE et al., 2011), contudo não foi possível observar neste trabalho o controle do patógeno alvo, apesar desta boa redistribuição verificada pelos autores.

Tabela 13 - Severidade da ferrugem asiática e porcentagem de controle em relação à testemunha sem fungicida, para os diferentes tratamentos à base de carboxamidas no experimento de sistemicidade

Tratamento	Grupo Químico	Ingrediente Ativo	Severidade (%)	% de controle
T1 (Testemunha)	-	-	19,7 a	-
T10	Carboxamida	Benzovindiflupir	16,8 a	14,4
T11		Bixafen	15,8 a	19,5
T12		Fluxapiroxade	16,8 a	14,4
Valor de F:			0,8859	
DMS (5%):			0,0475	
C.V (%):			1,9152	

Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Segundo Guicherit et al. (2014), o composto benzovindiflupir, que apresenta alto valor de log Kow, logo uma alta lipofilicidade, apresenta forte ligação com a camada de cera da folha, característica esta que resulta em uma translocação lenta para o interior dos tecidos e para partes de novos crescimentos. Este fato pode explicar a falta de eficácia da molécula em controlar a *P. pachyrhizi* em folhas de soja localizadas acima do ponto de aplicação do fungicida.

As carboxamidas foram o único grupo que não apresentou nenhum representante com a capacidade de translocar-se de forma acropetal e controlar a ferrugem asiática da soja. Já entre as estrobilurinas, a molécula picoxistrobina apresentou 61% de controle da doença, evidenciando a sua capacidade em se mover para folhas de soja acima do ponto de sua aplicação. Os IDMs foram as moléculas que apresentaram a melhor movimentação deste tipo, sendo que apenas o ingrediente ativo difenoconazol não apresentou redução significativa de severidade da doença e baixo controle da mesma. Isso demonstra a importância de se buscar moléculas com características semelhantes a estas que apresentaram movimentação acropetal, com o objetivo de compor produtos de boa performasse no campo.

5 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais que estes ensaios foram desenvolvidos e com a utilização de um isolado de *P. pachyrhizi* do ano de 2013 que manteve suas características de susceptibilidade originais ao longo das gerações, pode-se constatar que:

As moléculas que apresentaram melhor eficácia foram Azoxistrobina, Benzovindiflupir, Piraclostrobina e Protioconazol. Cada grupo de fungicidas teve ao menos um representante entre as melhores moléculas.

Azoxistrobina, Ciproconazol, Fluxapiroxade, Picoxistrobina e Protioconazol apresentaram alta mobilidade superficial nas folhas de soja, promovendo um elevado controle do patógeno *P. pachyrhizi* em áreas da folha que não receberam aplicação do fungicida.

As moléculas picoxistrobina, ciproconazol, protioconazol e tebuconazol apresentaram mobilidade acropetal, reduzindo a severidade e controlando a doença em folhas localizadas acima do ponto de aplicação do fungicida. Com exceção da molécula difenoconazol, todas as outras IDMs apresentaram alta movimentação acropetal, sendo o grupo com o maior número de moléculas que apresentou tal característica, onde a molécula protioconazol apresentou a maior porcentagem de controle, seguida por tebuconazol e ciproconazol.

A movimentação de um ingrediente ativo está diretamente ligada à sua relação com os compostos lipídicos e com a água. Esta relação é evidenciada pelo coeficiente log Kow de cada molécula. Quanto maior o log Kow, mais lipofílica a molécula é, movimentando-se menos pelos tecidos das plantas, enquanto compostos que apresentam log Kow menores tendem a se movimentar com maior facilidade. Além deste fato, a capacidade da molécula em matar ou inibir o crescimento do fungo e a quantidade movimentada do ingrediente ativo está diretamente relacionada ao controle da doença em partes da planta que recebem a aplicação direta da solução fungicida ou em partes da planta que a molécula necessita se movimentar para poder controlar a doença. Todos estes fatores foram evidenciados nos três diferentes ensaios aqui apresentados.

A mistura de ingredientes ativos que possuam boa eficácia, juntamente com ingredientes ativos que tenham boa movimentação nas plantas deve ser considerada na hora do desenvolvimento de novos fungicidas ou então na hora da compra de

fungicidas comerciais pelo produtor. A busca por novos ingredientes ativos que apresentem características químicas semelhantes das moléculas já presentes no mercado e que as fazem apresentar bom controle da doença e boa translocação na planta também deve ser considerado na hora de se desenvolver este novo produto.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, S. et al. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **J. econ. Entomol**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology** 5. ed. Burlington, Ma. USA: Elsevier Academic Press, 2005.

AGROFIT, Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/primeira_pagina/extranet/AGROFIT.html. Acesso em 21 setembro 2021.

AGROSTAT. Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm Acesso em 29 out 2021.

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. Introduction Mycology. 4. ed. New York, USA: Wiley & Sons, 1996.

ALMEIDA, A. M. R. et al. Doenças da soja (*Glycine max*) In: KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia. Doenças das Plantas Cultivadas**. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres. p. 569-588. v. 2, 2005

ALVES S. A. M.; FURTADO, G. Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa MG, Editora UFV, 2006, p. 37-59.

ALVES, K. S. et al. Profitability of fungicide applications for managing soybean rust in scenarios of variable efficacy and costs: a stochastic simulation. **Plant Pathology**, Oxford, Inglaterra, v. 70, n. 6, p. 1354-1363, 2021.

ALVES, S. A. M. **Quantificação dos parâmetros da pré-penetração e monocíclico relacionados ao patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja**. 2007. Tese (Doutorado em Fitopatologia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

AMMERMANN, E. et al. BAS 500 F-the new broad-spectrum strobilurin fungicide. In: **The BCPC Conference: Pests and diseases, Volume 2.** Proceedings of an international conference held at the Brighton Hilton Metropole Hotel, Brighton, UK, 13-16 November 2000. British Crop Protection Council, p. 541-548, 2000.

ANKE, T. et al. The strobilurins-new antifungal antibiotics from the basidiomycete *Strobilurus tenacellus* (Pers. ex Fr.) Sing. **The Journal of antibiotics**, v. 30, n. 10, p. 806-810, 1977.

ANTUNES-KENYON, S.E.; KENNEDY, G. Thiamethoxam a new active ingredient review. **Massachusetts Pesticide Bureau**, Department of Food and Agriculture. 2001. Disponível em: http://www.state.ma.us/dfa/pesticides/ water/REVIEW_THIAMETHOXAM.pdf.. Acesso em 25 out 2021

AUGUSTO, J.; BRENNEMAN, T. B. Assessing systemicity of peanut fungicides through bioassay of plant tissues with Sclerotium rolfsii. **Plant disease**, v. 96, n. 3, p. 330-337, 2012.

AVENOT, H. F.; MICHAILIDES, T. J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. **Crop protection**, v. 29, n. 7, p. 643-651, 2010.

AZEVEDO, L. **Fungicidas sistêmicos**: teoria e prática. Campinas: Emopi, , 2007.

BAIBAKOVA, E. V. et al. Modern fungicides: Mechanisms of action, fungal resistance and phytotoxic effects. **Annual Research & Review in Biology**, p. 1-16, 2019.

BAKER, E. A.; HAYES, A. L.; BUTLER, R. C. Physicochemical properties of agrochemicals: their effects on foliar penetration. **Pesticide Science**, v. 34, n. 2, p. 167-182, 1992.

BALARDIN, R.S.; NAVARINI, L.; DALLAGNOLL, L.J. Epidemiologia da ferrugem da soja. In: JULIATTI, F.C.; POLIZEL, A.C.; HAMAWAKI, O.T. (Org.). In: Workshop Brasileiro Sobre a Ferrugem Asiática, 1., 2005, Uberlândia. **Coletânea.** Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 39-50.

BALBA, H. Review of strobilurin fungicide chemicals. **Journal of Environmental Science and Health Part B**, v. 42, n. 4, p. 441-451, 2007.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat versão 1.0 - Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, SP, 2009.

BARTLETT, D. W. et al. The strobilurin fungicides. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 58, n. 7, p. 649-662, 2002.

BARTLETT, D. W. et al. Understanding the strobilurin fungicides. **Pesticide Outlook**, v. 12, n. 4, p. 143-148, 2001.

BERUSKI, G. C. et al. Performance and profitability of rain-based thresholds for timing fungicide applications in soybean rust control. **Plant Disease**, v. 104, n. 10, p. 2704-2712, 2020.

BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; BERNER, D.K. Effects of daily temperature highs on development of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean. **Phytopathology**, v. 102, p. 761– 768, 2012.

BORBA, J. P. **Does the I86F mutation of succinate dehydrogenase subunit c increase fungicide resistance and have a fitness in Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*)?** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência/Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

BORTOLINI, A. M. M.; GHELLER, J. A. Aplicação de diferentes fungicidas no controle de doenças foliares na cultura do milho em relação à produtividade. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Cascavel, v.1, p. 109-121, 2012.

BOURRAS, S. et al. Cereal powdery mildew effectors: a complex toolbox for an obligate pathogen. **Current opinion in microbiology**, v. 46, p. 26-33, 2018.

BRIGGS, G.G.; BROMILOW, R.H.; EVANS, A. A. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. **Pesticide Science**, Oxford, v.13, n.5, p. 495-504, 1982.

BRITO, R. A. dos S. ***Colletotrichum truncatum*, agente causal da antracnose da soja: uma comparação entre isolados obtidos de plantas assintomáticas e sintomáticas.** 2018. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

BROMFIELD, K. R. Soybean rust. **American Phytopathological Society**, St. Paul, MN, n.11, 1984.

BROMFIELD, K. R.; HARTWIG, E. E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, v. 20, p. 254-255, 1980.

BROMILOW, R. H.; CHAMBERLAIN, K. Mechanisms and Regulation of Transport Processes. **Designing Molecules for Systemicity, British Plant Growth Regulatory Group, Monograph**, v. 18, p. 113-128, 1989.

BROOMFIELD, K.; HARTWING, E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, v.20, p. 254-255, 1980.

CALDWELL, P. M.; LAING, M. D.; WARD, J. The threat to South Africa soya crop continues. **Farmer's Weekly**, Johannesburg, South Africa, 2002.

CARMONA, M. A.; GALLY, M. E.; LOPEZ, S. E. Asian soybean rust: Incidence, severity, and morphological characterization of *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinia and Telia) in Argentina. **Plant disease**, [s.l.], v. 89, n. 1, p. 109-109, 2005.

CARVALHO JÚNIOR, A. A.; FIGUEREDO, M. B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 26, n. 2, p. 197-200, 2000.

CHILDS, S. P.; BUCK, J. W.; LI, Z. Breeding soybeans with resistance to soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Plant Breeding**, v. 137, n. 3, p. 250-261, 2018.

CHU, H. T.; CHUANG, Y. C. Investigation on soybean diseases. Taiwan Sugar Experiment Station Report 25. Taiwan. 1961.

CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 27, n. 5, p. 295-341, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB - **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 7, décimo segundo levantamento, nov. 2021.

DALLA LANA, F. et al. Meta-analysis of the relationship between crop yield and soybean rust severity. **Phytopathology**, v. 105, n. 3, p. 307-315, 2015.

DALLA LANA, F. et al. Meta-analytic modeling of the decline in performance of fungicides for managing soybean rust after a decade of use in Brazil. **Plant disease**, v. 102, n. 4, p. 807-817, 2018.

DEL PONTE, E. M. et al. Early-season warning of soybean rust regional epidemics using El Niño Southern/Oscillation information. **International journal of biometeorology**, v. 55, n. 4, p. 575-583, 2011.

DELEN, N.; TOSUN, N. Fungicidas: mecanismo de ação e resistência. Parte 2: fungicida com modo de ação específicos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v. 12, p, 27-90, 2004

DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causada *Phakopsora pachyrhizi* no estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 4, n. 2, p. 337-339, 1979.

DEVINE, M. D. Phloem translocation of herbicides. **Rev. Weed Sci**., v. 4, p. 191-213, 1989.

DIAZ, C. H. El cultivo de la soya para granos y forrajes. **Centro de Informacion y Documentacion Agropecuario**, 1992.

DORIGHELLO, D. V. et al. Management of Asian soybean rust with *Bacillus subtilis* in sequential and alternating fungicide applications. **Australasian Plant Pathology**, v. 49, n. 1, p. 79-86, 2020.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja**. Soja em números (safra 2019/2020)**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, . **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013

FALCI, D. R.; PASQUALOTTO, A. C. Profile of isavuconazole and its potential in the treatment of severe invasive fungal infections. **Infection and drug resistance**, v. 6, p. 163, 2013.

FAO MEETING. Azoxystrobin: Evaluation of Data for Acceptable Daily Intake and Acute Dietary Intake for Humans, Maximum Residue Levels and Supervised Trial Median Residue Values. 2008.

FENG, Y. et al. An overview of strobilurin fungicide degradation: Current status and future perspective. **Frontiers in microbiology**, v. 11, p. 389, 2020.

FERNÁNDEZ-ORTUÑO, D. et al. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. **International Microbiology**, v. 11, n. 1, p. 1, 2008.

FIALLOS, F. R. G.; FORCELINI, C. A. Controle comparativo da ferrugem asiática da soja com fungicida triazol ou mistura de triazol + estrobilurina. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, 2013.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO. **FAO Statistical Yearbook**. Nova Iorque, 2021. Disponível em: www.fao.com. Acesso em: 18 out. 2021.

FORCELINI, C. A. Fungicidas inibidores da síntese de esteróis. In. Triazoles. **Revisão anual de patologia de plantas**, v. 2, p. 335-355, 1994.

FORCELINI, C. A.; GOELLNER, C. I.; MAY-DE MIO, L. L. Resistência de fungos a fungicidas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 9, n. 1, 2001.

FORSTER, W. A.; KIMBERLEY, M. O. Statistical analysis to determine the relative importance of variables involved in foliar translocation. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 1, p. 19-26, 2008.

FORSTER, W. et al. Cuticular uptake of xenobiotics into living plants. Part 2: Influence of the xenobiotic dose on the uptake of bentazone, epoxiconazole and pyraclostrobin, applied in the presence of various surfactants, into Chenopodium album, Sinapis alba and Triticum aestivum leaves. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 62, n. 7, p. 664-672, 2006.

FUNGICIDE RESISTANT ACTION COMMITTEE - FRAC. Frac code list. Disponível em: https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2021--final.pdf?sfvrsn=f7ec499a_2. Acesso: 01 nov 2021

GARCIA, A. Fungicidas I: Utilização no Controle Químico de Doenças e sua Ação contra os Fitopatógenos; **Embrapa Rondônia - Documentos (INFOTECA-E)**: Porto Velho, Brasil, 1999; p. 34.

GLÄTTLI, A. et al. Mutations in the target proteins of succinate-dehydrogenase inhibitors (SDHI) and 14α-demethylase inhibitors (DMI) conferring changes in the sensitivity-structural insights from molecular modelling. In: **Association Française de Protection des Plantes, 9ème conférence international sur les maladies des plantes, Tours, France, 8 et 9 Décembre 2009**. Association Française de Protection des Plantes (AFPP), p. 670-681, 2009

GODOY, C. V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/2017: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina, PR: **Embrapa Soja**. Retrieved on May, v. 10, 2017.

GODOY, C. V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, Phakopsora pachyrhizi, na safra 2020/2021: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2021.

GODOY, C. V. et al. Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. **Embrapa Soja-Documentos** (INFOTECA-E), 2020.

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

GODOY, C. V.; MEYER, M. C. Resistência a fungicidas na cultura da soja. **Embrapa Soja** - Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014

GODOY, C. V.; BUENO, A. F.; GAZZIERO, D. L. P. Brazilian soybean pest management and threats to its sustainability. **Outlooks on Pest management**, v. 26, n. 3, p. 113-117, 2015.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 63-68, 2006.

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

GODWIN, J. R.; BARTLETT, D. W.; HEANEY, S. P. Azoxystrobin: implications of biochemical mode of action, pharmacokinetics and resistance management for spray programmes against Septoria diseases of wheat. Septoria on cereals: a study of pathosystems. **CABI Publishing**, Wallingford, UK, p. 299-315, 1999.

GOELLNER, K. et al. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust: pathogen profile. **Molecular Plant Pathology**, v. 11, p. 169–177, 2010.

GOULART, A. C. P.; FURLAN, S. H.; FUJINO, M. T. Controle integrado da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) com o fungicida fluquinconazole aplicado nas sementes em associação com outros fungicidas pulverizados na parte aérea da cultura. **Summa phytopathologica**, Botucatu, v. 37, p. 113-118, 2011.

GUICHERIT, E. H. et al. Solatenol – The Second Generation Benzonorbornene SDHI Carboxamide with Outstanding Performance against Key Crop Diseases. *In*: DEHNE, H. W.; DEISING, H. B.; FRAAIJE, B.; GISI, U.; HERMANN, D.; MEHL, A.; OERKE, E. C.; STAMMLER, G.; KUCK, K. H.; LYR, H. (Eds.) **Modern Fungicides and Antifungal Compounds VII**. Braunschweig, Germany: Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, 2014. p.67-72.

HÄGERHÄLL, C. Succinate: quinone oxidoreductases: variations on a conserved theme. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1320, n. 2, p. 107-141, 1997.

HARTMAN, G. L. et al (Ed.). Compendium of soybean diseases and pests. 5th ed. Saint Paul: **APS Press**, p. 56-59, 2015

HISLOP, E. C.; COX, T. W. Local redistribution of fungicides on leaves by water. **Annals of Applied Biology**, v. 66, n. 1, p. 89-101, 1970.

HORSEFIELD, R. et al. Structural and computational analysis of the quinone-binding site of complex II (succinate-ubiquinone oxidoreductase): a mechanism of electron transfer and proton conduction during ubiquinone reduction. **Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 11, p. 7309-7316, 2006.

HUANG, L. et al. 3-nitropropionic acid is a suicide inhibitor of mitochondrial respiration that, upon oxidation by complex II, forms a covalent adduct with a catalytic base arginine in the active site of the enzyme. **Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 9, p. 5965-5972, 2006.

HUANG, X. et al. Favorable bioactivity of the SDHI fungicide benzovindiflupyr against Sclerotinia sclerotiorum mycelial growth, sclerotial production, and myceliogenic and carpogenic germination of sclerotia. **Plant disease**, v. 103, n. 7, p. 1613-1620, 2019.

ISARD, S. A. et al. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. **Plant Disease**, v. 90, n. 7, p. 941-945, 2006.

JACOB, F.; NEUMANN, S. T. Principles of uptake and systemic transport of fungicides within the plant. *In*: LYR, H. **Modern selective fungicides**: properties, applications, mechanisms of action. New York: Gustav Fischer Verlag, 1987, p. 51-73.

JORGE, V. R. et al. The origin and genetic diversity of the causal agent of Asian soybean rust, *Phakopsora pachyrhizi*, in South America. **Plant Pathology**, v. 64, n. 3, p. 729-737, 2015.

JULIATTI, F. C. et al. Sensitivity of two isolates of *Phakopsora pachyrhizi* to dithiocarmamate, chloronitril, triazoles, strobilurins, and carboxamides fungicides. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, 2017a.

JULIATTI, F. C. et al. Strategies of chemical protection for controlling soybean rust. *In*: KASAI, M. **Soybean:** The Basis of Yield Biomass and Productivity. Rijeka, Croácia: IntechOpen, 2017b, cap. 3, p. 35-62.

KADAM, V. A. **Studies on epidemiology and integrated management of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* (Syd.)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências - Agricultura) - College of Agriculture, Latur, 2013.

KATAGI, T. Surfactant effects on environmental behavior of pesticides. **Reviews of environmental contamination and toxicology**, p. 71-177, 2008.

KAWASHIMA, C. G. et al. A pigeonpea gene confers resistance to Asian soybean rust in soybean. **Nature Biotechnology**, v. 34, n. 6, p. 661-665, 2016.

KAWUKI, R. S. et al. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. **Journal of Phytopathology**, v. 151, n. 1, p. 7-12, 2003.

KEMMITT, G. M. et al. Systemic properties of myclobutanil in soybean plants, affecting control of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 64, n. 12, p. 1285-1293, 2008.

KEON, J. P R.; WHITE, G. A.; HARGREAVES, J. A. Isolation, characterization and sequence of a gene conferring resistance to the systemic fungicide carboxin from the maize smut pathogen, *Ustilago maydis*. **Current Genetics**, v. 19, p. 475-481, 1991.

KERSTIENS, G. Signalling across the divide: a wider perspective of cuticular structure - function relationships. **Trends in plant science**, v. 1, n. 4, p. 125-129, 1996.

KHANDELWAL, A. et al. Degradation of kresoxim-methyl in soil: Impact of varying moisture, organic matter, soil sterilization, soil type, light and atmospheric CO2 level. **Chemosphere**, v. 111, p. 209-217, 2014.

KIMATI, H. Controle químico. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. v.1, 704p

KIRKWOOD, R. C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. **Pesticide Science**, v. 55, n. 1, p. 69-77, 1999.

KLITTICH, C. J. Fungicide mobility and the influence of physical properties. *In*: MYUNG, K.; SATCHIVI, N. M.; KINGSTON, C. K. **Retention, Uptake, and Translocation of Agrochemicals in Plants**. Washington, DC American Chemical Society, 2014. cap.5, p. 95-109.

KLITTICH, C. J.; RAY, S. L. Effects of physical properties on the translaminar activity of fungicides. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 107, n. 3, p. 351-359, 2013.

KLITTICH, C. JR et al. Assessment of fungicide systemicity in wheat using LC-MS/MS. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 64, n. 12, p. 1267-1277, 2008.

KOCH, E.; EBRAHIM-NESBAT, F.; HOPPE, H. H. Light and electron microscopic studies on the development of soybean rust (Phakopsora pachyrhizi Syd.) in susceptible soybean leaves. **Journal of Phytopathology**, v. 106, n. 4, p. 302-320, 1983.

KUMUDINI, S. et al. Role of host-plant resistance and disease development stage on leaf photosynthetic competence of soybean rust infected leaves. **Crop science**, v. 50, n. 6, p. 2533-2542, 2010.

LACERDA, V. S. **Estimativa do índice de severidade de ferrugem asiática na cultura da soja por meio de imagens obtidas com aeronave remotamente**

pilotada. 2016. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

LANGENBACH, C. et al. Fighting Asian soybean rust. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 797, 2016.

LASS-FLÖRL, C. Triazole antifungal agents in invasive fungal infections. **Drugs**, v. 71, n. 18, p. 2405-2419, 2011.

LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in southern Africa. **Plant Disease**, v. 89, p. 669-674, 2005.

LI, X. et al. The uniqueness of soybean rust pathosystem: an improved understanding of the risk in different regions of the word. **Plant Disease**, v. 94, p. 796-806, 2010.

LIU, P. et al. Evaluation of fungicides enestroburin and SYP1620 on their inhibitory activities to fungi and oomycetes and systemic translocation in plants. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 112, p. 19-25, 2014.

MAGNANI, E. B. Z. et al. Events of pre-penetration, penetration and colonization processes by *Phakopsora pachyrhizi* in soybean leaflets. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 156-160, 2007.

MAHESHWARI, Ramesh. A scourge of mankind: From ancient times into the genomics era. **Current Science**, p. 1249-1256, 2007.

MARCHETTI, M. A.; UECKER, F. A.; BROMFIELD, K. R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology** v. 65, p. 822-823,1975

MATSSON, M.; HEDERSTEDT, L. The carboxin-binding site on Paracoccus denitrificans succinate: quinone reductase identified by mutations. **Journal of bioenergetics and biomembranes**, v. 33, n. 2, p. 99-105, 2001.

McGRATH, M. T. What are fungicides? **The Plant Health Instructor**, 2004. DOI: 10.1094/ PHI-I-2004-0825-01.

MELCHING, J. S. et al. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, n. 2, p. 117-122, 1989.

MILES, M. R. et al. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. **Plant Disease**, v. 95, n. 5, p. 577-581, 2011.

MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. Soybean rust: Is the US soybean crop at risk. **APS net**, 2003.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (Agrofit). Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acesso em 28 out. 2021

MIYASAKA S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. , Campinas, SP**: I**nstituto Agronômico de Campinas. p. 17-64, 1981.

MONTEIRO, C. M. et al. Control of foliar diseases by the axillary application of systemic fungicides in Brazilian coconut palms. **Crop Protection**, v. 52, p. 78-83, 2013.

MOREL, W.; YORINORI, J. T. Situación de la roya de la soja en el Paraguay. Boletin de Divulgación No. 44. **Centro Regional de Investigaci'on Agricola-CRIA**, Capitan Miranda, 2002

MUELLER, D. S. **Fungicides**: Triazoles**.** Iowa: Iowa State University, 2006. Disponível em: https://lib.dr.iastate.edu/cropnews/1274

MÜLLER, M. A.; STAMMLER, G.; DE MIO, L. L. M. Multiple resistance to DMI, QoI and SDHI fungicides in field isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. **Crop Protection**, v. 145, p. 105618, 2021.

MURITHI, H. M. et al. Soybean production in eastern and southern Africa and threat of yield loss due to soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant pathology**, v. 65, n. 2, p. 176-188, 2016.

NOGUEIRA JÚNIOR, A. F. et al. *Phakopsora euvitis* causes unusual damage to leaves and modifies carbohydrate metabolism in grapevine. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1675, 2017.

NUNES, C. D. M.; DA SILVA MARTINS, J. F.; DEL PONTE, E. M. Validação de modelo de previsão de ocorrência da ferrugem asiática da soja com base em precipitação pluviométrica. **Embrapa Clima Temperado - Circular Técnica (INFOTECA-E)**, p. 1-13, 2018.

OLIVEIRA Jr, R. S.; BACARIN, M. A. Absorção e Translocação de Herbicidas. *In.* OLIVEIRA Jr, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 215-241.

ONO, Y. et al. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. **Mycological Research**, v. 96, p .825-850, 1992

ONO, Yoshitaka. The diversity of nuclear cycle in microcyclic rust fungi (Uredinales) and its ecological and evolutionary implications. **Mycoscience**, [s.l.], v. 43, n. 5, p. 421-439, 2002.

PAPAEVANGELOU, V. A. et al. Treatment of agricultural equipment rinsing water containing a fungicide in pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Ecological engineering**, v. 101, p. 193-200, 2017.

PATIL, P. V. et al. Viability of uredospores of Phakopsora pachyrhizi Syd. at different storage conditions. **Journal of Maharashtra Agricultural Universities**, v. 22, n. 2, p. 261-262, 1997.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, v. 88, p. 523-529, 2004.

PRIMIANO, I. V. et al. Asian grapevine leaf rust caused by *Phakopsora euvitis*: an important disease in Brazil. **Plant Pathology**, v. 66, n. 5, p. 691-701, 2017.

REIS M. E,; REIS A. C.; FORCELINI, A. C. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 5. ed., rev. e ampl. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2007.

REIS, E. M. Critério: Preventivo. *In*: REIS, E. M. **Indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 2 ed. Passo Fundo: Berthier, 2014. p. 67-76.

REIS, E. M.; CARREGAL, L. H.; ZANATTA, M. Comparação da eficácia de fungicidas IQes, isolados ou em mistura com triazóis, no controle da ferrugem asiática da soja, safra 2016/17. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 1, p. 28-32, 2019.

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: UPF, 2010. 226 p.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; ZANATTA, M.. Reflexo econômico e desenvolvimento da resistência de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas em função do número de aplicações. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 44, n. 3, p. 289-292, 2018.

REUVENI, M. Activity of trifloxystrobin against powdery and downy mildew diseases of grapevines. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 23, n. 1, p. 52-59, 2001.

RIEDERER, M.; FRIEDMANN, A. Transport of lipophilic non-electrolytes across the cuticle. **Annual plant reviews**, v. 23, p. 250-279, 2008.

RODRIGUES, E. T.; LOPES, I.; PARDAL, M. A. Occurrence, fate and effects of azoxystrobin in aquatic ecosystems: a review. **Environment international**, v. 53, p. 18-28, 2013.

ROEHRIG, R. et al. Use of surfactant with different volumes of fungicide application in soybean culture. **Engenharia agrícola**, v. 38, p. 577-589, 2018.

SAKSIRIRAT, W.; HOPPE, H.H. Teliospore germination of soybean rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.). **Journal of Phytopathology**, v. 132, n. 4, p. 339-342, 1991.

SANTOS, F. H. dos; SANTOS, L. A; FARIA, C. M. D. R. Translocação de triazóis e estrobilurinas no controle do oídio da soja. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.1, p.87-92, 2018.

SANTOS, P. S. J. **Estudo da sistemicidade e tenacidade de epoxiconazol, piraclostrobina e fluxapiroxade em plantas de soja e videira**. 2015. Tese

(Doutorado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SATCHIVI, N. M. Modeling xenobiotic uptake and movement: A review. *In*: SATCHIVI, N. M. et al. **Retention, uptake, and translocation of agrochemicals in plants**. Washington, DC: American Chemical Society, 2014, p. 41-74.

SAUTER, H.; STEGLICH, W.; ANKE, T. Strobilurins: evolution of a new class of active substances. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 38, n. 10, p. 1328-1349, 1999.

SCAPIN-BUFFARA, C. R. et al. Seasonal progression of leaf rust in 'Niagara Rosada' grapevine in a biannual crop system in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 152, n. 3, p. 589-597, 2018.

SCHERM, H. et al. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v. 28, n. 9, p. 774-782, 2009.

SCHNEIDER, R. W. et al. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the continental United States. **Plant disease**, v. 89, n. 7, p. 774-774, 2005.

SEIXAS, C. D. S.; GODOY, C. V. **Vazio Sanitário**: panorama nacional e medidas de monitoramento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA, 2007, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 2007, p. 23-33. (Embrapa Soja. Documentos, 281).

SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SILVA, T. S. **Flutriafol e azoxistrobina: uma combinação eficiente para o controle de doenças foliares fúngicas na cultura do milho**. 2018. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2018.

SLAMINKO, T. L. et al. Multi-year evaluation of commercial soybean cultivars for resistance to Phytophthora sojae. **Plant disease**, v. 94, n. 3, p. 368-371, 2010.

SLAMINKO, T. L. et al. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. **Plant Disease**, v. 92, p. 767-771, 2008.

SMITH, S.; DIERS, B.; SPECHT, J.; CARVER, B. F. **Yield gains in major US field crops**. Madson, WI: John Wiley & Sons, 2020.

SOARES, R. M. et al. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34. n. 4. p. 1245-1247, 2004.

SOPA - Soybean Processors Association of India. **World Soybean Production**. Disponível em: http://www.sopa.org/statistics/world-soybean-production. Acesso em 20 set. 2021.

SPECHT, J. E. et al. Soybean. In: **Yield Gains in Major U.S. Field Crops.** Madson, WI: John Wiley & Sons, 2014. p. 311–356.

SUGIYAMA, A. et al. Do soybeans select specific species of *Bradyrhizobium* during growth? **Communicative & Integrative Biology**, v. 8 n. 1, 2015.

SUTY-HEINZE, A. et al. Bixafen – The New Cereal Fungicide with Yield Boosting Effects. *In*: DEHNE, H. W.; DEISING, H. B.; GISI, U.; KUCK, K. H.; RUSSELL, P. E.; LYR, H. (Eds.) **Modern Fungicides and Antifungal Compounds VI**. Braunschweig, Germany: Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, 2011. p.69-74.

TOMLIN, C. D. et al. **The pesticide manual**. 12 ed Farnham, UK: British Crop Production Council, 2000.

TOMLIN, C. D. et al. **The pesticide manual**: A world compendium. 15 ed. Alton: British Crop Production Council, 2009.

TORRES, F. Z. V. **Translocação do inseticida tiametoxam no floema de mamoneira e cafeeiro**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia/Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TRAN, Q. M. et al. The quinone binding site in *Escherichia coli* succinate dehydrogenase is required for electron transfer to the heme b. **Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 43, p. 32310-32317, 2006.

TREMBLAY, A. et al. Analysis of *Phakopsora pachyrhizi* transcript abundance in critical pathways at four time-points during infection of a susceptible soybean cultivar using deep sequencing. **BMC genomics**, v. 14, n. 1, p. 1-17, 2013.

UEBEL, J.D. **Avaliação de fungicidas no controle de doenças foliares, grãos ardidos e efeito no NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) em híbridos de milho.** 2015. 119 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

USDA. United States Department of Agriculture. **Grain**: World Markets and Trade - Relatório mensal: Produção mundial, mercados e comércio - fev/2021. Informativo.

VENÂNCIO, W. S. et al. Novos fungicidas - produtos naturais e derivados sintéticos: estrobilurinas e fenilpirroles. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 7, p. 103-155, 1999.

WANG, C. J.; LIU, Z. Q. Foliar uptake of pesticides—present status and future challenge. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 87, n. 1, p. 1-8, 2007.

WANG, F. et al. Chemical factors affecting uptake and translocation of six pesticides in soil by maize (*Zea mays* L.). *J***ournal of Hazardous Materials**, v. 405, p. 124269, 2021.

WHITE, A. D. et al. Evaluation of methods to quantify herbicide penetration in leaves. **Weed technology**, v. 16, n. 1, p. 37-42, 2002.

WOLTERS, A.; KLEIN, M.; VEREECKEN, H. An improved description of pesticide volatilization: Refinement of the Pesticide Leaching Model (PELMO). J**ournal of environmental quality**, v. 33, n. 5, p. 1629-1637, 2004.

XAVIER, S. A. et al. Older leaf tissues in younger plants are more susceptible to soybean rust. **Acta Scientarium**, v. 39, n.1, p,17-24, 2017.

XIONG, L. et al. Succinate dehydrogenase: an ideal target for fungicide discovery. *In* MAIENFISCH, P.; STEVENSON, T. M. **Discovery and Synthesis of Crop Protection Products**, Washington, DC: ACS Publications, 2015, p. 175-194,

YANG, X. B. et al. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. **Phytopathology**, v. 80, n. 12, p. 1421-1427, 1990.

YANKOVSKAYA, V. et al. Architecture of succinate dehydrogenase and reactive oxygen species generation. **Science**, v. 299, n. 5607, p. 700-704, 2003.

YORINORI, J. T. et al. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, p. 675-677, 2005.

YPEMA, H. L.; GOLD, R. E. Kresoxim-methyl: modification of a naturally occurring compound to produce a new fungicide. **Plant Disease**, v. 83, n. 1, p. 4-19, 1999.

ZABKIEWICZ, J. A. Spray formulation efficacy - holistic and futuristic perspectives. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 312-319, 2007.

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