

**FUNGICIDAS PROTETIVOS: AVANÇOS E DESAFIOS NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA - UMA REVISÃO ATUALIZADA**

João Henrique Castaldo<sup>1</sup>, Luis Otávio da Silva Chicarelli<sup>1</sup>, Antonio Nolla<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agrônômicas, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: castaldojh@gmail.com, ra113586@uem.br, anolla@uem.br

**RESUMO:** A ferrugem asiática da soja é uma doença fúngica de grande impacto na produção de soja no Brasil e no mundo. O controle eficiente da doença é fundamental para garantir produtividade e rentabilidade da cultura. Os fungicidas curativos e mesostêmicos são eficazes no controle da ferrugem asiática, mas seu uso indiscriminado pode levar ao desenvolvimento de resistência dos fungos. Uma alternativa é o uso de fungicidas protetivos, como o Mancozebe, que formam uma película protetora na superfície das folhas, impedindo a penetração do fungo na planta. Entretanto, é importante ressaltar que o manejo integrado de doenças é a abordagem mais indicada para o controle da ferrugem asiática da soja. Isso inclui a utilização de diferentes táticas, como o uso de variedades resistentes e rotação de culturas, além do uso criterioso e responsável de fungicidas. É então necessário um planejamento adequado e a adoção de medidas preventivas, como a observação constante das condições climáticas e o monitoramento regular da lavoura. Assim, o controle da ferrugem asiática da soja é um desafio constante para os produtores, mas pode ser eficientemente controlada com a adoção de um manejo integrado de doenças, incluindo o uso de fungicidas curativos e mesostêmicos associados aos fungicidas protetivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mancozebe, *Phakopsora pachyrhizi*, Resistência.

**PROTECTIVE FUNGICIDES: ADVANCES AND CHALLENGES IN CONTROLLING ASIAN SOYBEAN RUST - AN UPDATED REVIEW**

**ABSTRACT:** Asian soybean rust is a fungal disease that has a significant impact on soybean production in Brazil and worldwide. Efficient disease control is essential to ensure crop productivity and profitability. Curative and mesostemic fungicides are effective in controlling Asian soybean rust, but their indiscriminate use can lead to the development of fungal resistance. An alternative is the use of protective fungicides, such as Mancozeb, which form a protective film on the surface of leaves, preventing fungal penetration into the plant. However, it is important to emphasize that integrated disease management is the most appropriate approach to control Asian soybean rust. This includes the use of different tactics, such as the use of resistant varieties and crop rotation, in addition to the careful and responsible use of fungicides. Adequate planning and adoption of preventive measures, such as constant observation of weather conditions and regular monitoring of the crop, are then necessary. Therefore, the control of Asian soybean rust is a constant challenge for producers, but it can be efficiently controlled by adopting integrated disease management, including the use of curative and mesostemic fungicides associated with protective fungicides.

**KEY WORDS:** Mancozeb, *Phakopsora pachyrhizi*, Resistance.

## INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo cultivada em diversas regiões e países, incluindo o Brasil. No entanto, a produção de soja pode ser afetada por diversas doenças, dentre elas a ferrugem asiática da soja (Khan et al., 2019; Savary et al., 2019). A ferrugem asiática da soja é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* e pode levar à perda significativa de produtividade em lavouras de soja (Sikora et al., 2014; Dalla Lana et al., 2018).

O controle da ferrugem asiática da soja no Brasil envolve a utilização de diversas estratégias, incluindo o uso de fungicidas (Netto et al., 2020). Os fungicidas são produtos químicos que têm como objetivo proteger as plantas contra doenças fúngicas, incluindo a ferrugem asiática da soja (McGrath, 2006). No entanto, a utilização de fungicidas pode apresentar alguns desafios, como a resistência do fungo aos produtos químicos utilizados.

Entre os fungicidas utilizados para o controle da ferrugem asiática da soja no Brasil, destacam-se os fungicidas curativos e mesostêmicos (Godoy et al., 2022). Os fungicidas curativos têm como objetivo controlar a doença após a sua manifestação, enquanto os mesostêmicos atuam como uma barreira contra o fungo, impedindo a sua disseminação (McGrath, 2016; Netto et al., 2020).

No entanto, o uso excessivo de fungicidas curativos e mesostêmicos pode levar ao desenvolvimento de resistência por parte do fungo, tornando-se cada vez mais difícil controlar a doença. Como alternativa aos fungicidas curativos e mesostêmicos, os fungicidas protetivos têm sido cada vez mais estudados e utilizados no controle da ferrugem asiática da soja (Duhatscheck et al., 2018; Godoy et al., 2022).

Os fungicidas protetivos têm como objetivo prevenir a infecção do fungo, atuando como uma barreira protetora contra a doença. Dentre os fungicidas protetivos utilizados no controle da ferrugem asiática da soja no Brasil, destaca-se o Mancozebe (Viegas Neto et al., 2021). O Mancozebe é um exemplo de fungicida protetivo amplamente utilizado na cultura da soja, devido à sua eficácia e longa duração de ação.

O Mancozebe é um fungicida protetor comumente utilizado na cultura da soja devido à sua eficácia e longa duração de ação. Sua ação protetora ocorre pela formação de uma película protetora na superfície da folha, impedindo a penetração do fungo na planta. Estudos têm demonstrado que a ação protetora do Mancozebe pode durar por até 14 dias após a aplicação, permitindo que seja utilizado com menor frequência do que outros tipos de fungicidas (Singh et al., 2008; Rashid et al., 2014; Lal et al., 2017).

No entanto, assim como outros fungicidas, o uso do Mancozebe também apresenta desafios. Em anos com elevada incidência de chuvas, a durabilidade do produto pode ser reduzida, uma vez que a película protetora formada pode ser removida pelas precipitações. Além disso, é fundamental garantir uma aplicação homogênea do produto na superfície das folhas e tomar cuidado com as condições climáticas no momento da aplicação, evitando chuvas que possam lavar o produto antes de sua absorção pela planta (Prior et al., 2017; McDonald et al., 2018).

Considerando o aumento da incidência da ferrugem asiática da soja e a relevância dessa cultura para a economia brasileira, é importante avaliar e aprimorar as estratégias de controle da doença, visando reduzir os prejuízos na produção. Nesse sentido, a utilização de fungicidas curativos e mesostêmicos ainda é uma das principais ferramentas disponíveis para o manejo da ferrugem asiática da soja. No entanto, é importante destacar que esses fungicidas apresentam limitações quanto ao seu espectro de ação, além de questões relacionadas à resistência do fungo e à toxicidade para o meio ambiente e para a saúde humana.

Por outro lado, os fungicidas protetivos, como o Mancozebe, apresentam algumas vantagens, tais como a menor frequência de aplicação, a menor toxicidade para o meio ambiente e a possibilidade de rotação com outros tipos de fungicidas, o que pode contribuir para a redução da pressão de seleção de fungos resistentes. Dessa forma, é importante que os produtores e pesquisadores busquem aprimorar o conhecimento sobre esses fungicidas e avaliar sua eficácia em diferentes condições de cultivo, buscando encontrar alternativas mais sustentáveis e eficientes para o controle da ferrugem asiática da soja.

Diante disto, o presente artigo trás atualizações e informações pertinentes ao uso de fungicidas protetivos, curativos e mesostêmicos para o controle da ferrugem asiática da soja no Brasil.

## DESENVOLVIMENTO

A cultura da soja (*Glycine max*) é de grande importância para a economia brasileira, sendo a cultura com a maior área cultivada no país (CONAB, 2022) e contribuindo significativamente para o PIB nacional (Bezerra et al., 2022). No entanto, a obtenção de elevados rendimentos é frequentemente limitada por fatores bióticos e abióticos, especialmente durante a fase reprodutiva (Khan et al., 2019; Savary et al., 2019).

Entre os fatores bióticos, as doenças foliares destacam-se como um dos principais determinantes da produtividade de grãos da soja em todo o mundo, acarretando em perdas que variam de 15 a 80%, dependendo da severidade e da ocorrência das doenças (Sikora et al., 2014;

Dalla Lana et al., 2018). Dentre as doenças fúngicas que afetam a cultura da soja, destaca-se a ferrugem-asiática (Sinclair et al., 1999; Balardin, 2002), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*.

#### *A ferrugem asiática da soja*

A ferrugem-asiática é uma doença que ataca a cultura da soja a partir do florescimento, provocando danos nas folhas, vagens e grãos, podendo resultar em perdas de 10 a 80% da produção (Godoy et al., 2006). A doença manifesta-se preferencialmente em temperaturas médias abaixo de 26°C e alta umidade, e os sintomas iniciais são pequenas lesões foliares de coloração castanha a marrom-escura. O início precoce da doença é crítico para a obtenção de altas produtividades, pois as perdas podem se iniciar já no surgimento das lesões e agravam-se com o desfolhamento da planta (Anahosur e Waller, 1976).

As condições climáticas favoráveis para a instalação e desenvolvimento da ferrugem-asiática da soja são temperaturas moderadas (entre 15 e 26°C) e alta umidade relativa do ar, sendo que a doença pode ocorrer em qualquer fase do desenvolvimento da cultura (Netto et al., 2020). A suscetibilidade das variedades cultivadas é outro fator determinante, uma vez que algumas variedades são mais resistentes que outras à infecção pelo patógeno. Por isso, é fundamental que os produtores de soja escolham as variedades mais adaptadas à sua região e que apresentem maior resistência à ferrugem-asiática.

Além disso, a densidade populacional do patógeno na região também é um fator importante, uma vez que quanto maior for a quantidade de esporos do fungo presente no ambiente, maior será o risco de infecção das plantas (Chang et al., 2020). Por isso, é fundamental que os produtores adotem medidas de manejo integrado de pragas e doenças, incluindo o monitoramento constante das lavouras, a escolha de variedades resistentes e o uso de fungicidas protetivos e curativos, de acordo com as recomendações técnicas e as legislações vigentes.

A escolha do momento adequado para o controle da ferrugem-asiática é crucial para garantir a eficácia das medidas adotadas e evitar prejuízos à produtividade das lavouras. A utilização de fungicidas protetivos deve ser realizada preventivamente, antes da instalação da doença, nas primeiras pulverizações (Niuniu et al., 2020). Já os fungicidas curativos devem ser utilizados quando a doença já se encontra instalada na cultura, para controlar a disseminação do patógeno e minimizar os danos às plantas (Netto et al., 2020).

Além disso, é importante que os produtores adotem outras práticas de manejo integrado, como o controle biológico, o manejo da cobertura vegetal e a rotação de culturas, que

contribuem para o aumento da resistência das plantas à infecção pelo patógeno e redução da densidade populacional do fungo na região (Li et al., 2019; Mohammed et al., 2020).

A ferrugem-asiática da soja é uma doença que pode causar prejuízos significativos às lavouras de soja, comprometendo a produtividade e a qualidade dos grãos. Por isso, é fundamental que os produtores adotem medidas preventivas e de manejo integrado, escolhendo as variedades mais adaptadas à sua região, monitorando constantemente as lavouras, realizando pulverizações e manejando o seu sistema produtivo.

#### *Controle da ferrugem asiática da soja no Brasil.*

O controle da ferrugem asiática da soja no Brasil é realizado principalmente através do uso de fungicidas, que podem ser aplicados de forma preventiva ou curativa. Os fungicidas preventivos são utilizados nas primeiras fases do desenvolvimento da cultura, antes da ocorrência da doença, com o objetivo de proteger as plantas e evitar que o fungo se instale nas folhas (Niuniu et al., 2020). Já os fungicidas curativos são aplicados após a manifestação da doença, com o objetivo de controlar a disseminação do fungo e minimizar os danos causados às plantas (Netto et al., 2020).

Atualmente, existem diversas opções de fungicidas disponíveis no mercado brasileiro, com diferentes modos de ação e espectros de controle. Os fungicidas multi-sítio, que atuam em diferentes estágios do desenvolvimento do fungo, são amplamente utilizados no Brasil como medida de controle da ferrugem asiática da soja (Pereira et al., 2019; Mello et al., 2021). Além disso, existem também os fungicidas de ação específica, que atuam de forma mais seletiva, visando controlar um determinado estágio do desenvolvimento do fungo (Netto et al., 2020).

Outra medida de controle importante é a utilização de cultivares de soja resistentes à ferrugem asiática. As cultivares resistentes apresentam um menor risco de infecção pelo fungo e, conseqüentemente, menor necessidade de aplicação de fungicidas. No Brasil, diversas empresas têm investido em pesquisa e desenvolvimento de cultivares resistentes à ferrugem asiática da soja (Souza et al., 2022).

Além do controle químico e genético, outras práticas culturais também podem ser adotadas para minimizar a ocorrência e disseminação da ferrugem asiática da soja. Entre elas, destaca-se a rotação de culturas, que consiste em alternar a cultura da soja com outras culturas, como milho, feijão, trigo, entre outras. A rotação de culturas contribui para a redução da quantidade de inóculo do fungo no solo, reduzindo o risco de infecção da cultura da soja (Netto et al. 2022).

A adoção de medidas de manejo integrado da ferrugem asiática da soja é fundamental para o controle efetivo da doença. O manejo integrado consiste na utilização de diferentes estratégias de controle, com o objetivo de reduzir a pressão de seleção sobre o fungo e minimizar o risco de desenvolvimento de resistência aos fungicidas. Dessa forma, o manejo integrado contribui para a sustentabilidade da cultura da soja e para a redução dos custos de produção.

#### *Os fungicidas curativos*

Os fungicidas curativos atuam no controle da doença após sua instalação, ou seja, quando os sintomas da doença já estão presentes na cultura. Diferentemente dos fungicidas protetivos, que são aplicados preventivamente, os fungicidas curativos são aplicados quando já há a presença da doença na lavoura (McGrath, 2016; Netto et al., 2020).

No Brasil, os fungicidas curativos são utilizados em conjunto com os fungicidas protetivos, em programas de manejo integrado de doenças (MID), com o objetivo de minimizar os danos causados pela ferrugem asiática. Os fungicidas curativos são aplicados em momentos específicos, dependendo do estágio de desenvolvimento da doença na lavoura.

A escolha do fungicida curativo a ser utilizado deve levar em consideração sua eficiência em controlar a ferrugem asiática, bem como sua compatibilidade com outros fungicidas, caso seja necessário realizar a aplicação em conjunto com outros produtos. É importante ressaltar que o uso inadequado de fungicidas curativos pode levar ao surgimento de resistência dos fungos, tornando os produtos ineficazes no controle da doença.

Os principais grupos químicos utilizados como fungicidas curativos no controle da ferrugem asiática da soja são os triazóis e estrobilurinas (McGrath, 2016). O uso desses grupos químicos tem sido bastante difundido no Brasil, principalmente pela sua eficiência e amplo espectro de ação. No entanto, é importante ressaltar a importância do uso responsável desses produtos, para evitar a seleção de fungos resistentes.

#### *Os triazóis e as estrobilurinas no manejo da ferrugem asiática da soja*

Os triazóis, como o tebuconazol, prothioconazol e epoxiconazol, agem inibindo a síntese de ergosterol, componente essencial na formação da membrana celular dos fungos (Costa et al., 2020). Esses fungicidas haviam demonstrado excelente atividade contra a ferrugem asiática, além de apresentarem um efeito residual prolongado, o que significa que a proteção das plantas pode durar por um período mais longo após a aplicação (Godoy et al., 2022). No estudo conduzido por Godoy et al. (2022), os triazóis apresentaram uma redução da severidade da

doença em comparação com a testemunha, mas a eficiência de controle destes grupos de fungicidas vem sendo reduzida ao longo dos anos, como constatado pela equipe produtora do estudo, ao longo de diversos anos.

As estrobilurinas, como o azoxistrobina, picoxistrobina e trifloxistrobina, agem interferindo na respiração celular dos fungos. Esses fungicidas apresentam um excelente efeito preventivo, sendo capazes de inibir a germinação dos esporos do fungo antes que estes se estabeleçam nas plantas (McGrath, 2006). Estudos têm mostrado que o uso de estrobilurinas no manejo da ferrugem asiática da soja tem sido bastante eficiente, reduzindo significativamente a incidência e severidade da doença em lavouras comerciais, quando utilizados em associação com fungicidas curativos, como os triazóis ou as carboxamidas (Godoy et al., 2022). Além disso, os fungicidas estrobilurinas têm a vantagem de possuírem uma boa performance em condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da doença, como temperaturas mais elevadas e umidade relativa do ar acima de 70% (Bandara et al., 2020).

O uso combinado de triazóis e estrobilurinas tem se mostrado uma opção bastante eficiente no controle da ferrugem asiática da soja (Godoy et al., 2022). Essa estratégia de manejo, conhecida como mistura de fungicidas, permite a ampliação do espectro de ação e o aumento da eficácia do controle da doença, além de minimizar o risco de resistência dos fungos aos fungicidas. Estudos da equipe de Godoy et al. (2022), têm mostrado que a combinação de triazóis e estrobilurinas tem apresentado bons resultados ao longo dos anos, no controle da ferrugem asiática da soja em diferentes regiões produtoras do Brasil.

*O caso dos mesostêmicos: Carboxamida como “última opção” dos produtores.*

Os fungicidas mesostêmicos são aqueles que possuem mobilidade limitada dentro da planta, apresentando translocação em um alcance intermediário entre os fungicidas de contato e os sistêmicos. Esses fungicidas são absorvidos pelas partes aplicadas, com translocação limitada dentro da planta, atingindo um alcance de até algumas camadas celulares ao redor da aplicação (McGrath, 2006). Dessa forma, o controle da doença é mais localizado, atuando nas áreas de maior infecção.

Os principais fungicidas mesostêmicos utilizados no controle da ferrugem asiática da soja no Brasil são os triazóis e os carboxamidas. As carboxamidas, também conhecidas como inibidores da succinato desidrogenase (SDHI), são um grupo de fungicidas que atuam inibindo a respiração celular dos fungos, comprometendo a produção de energia e, conseqüentemente, a sobrevivência dos mesmos. Esses fungicidas possuem ação mesostêmica e são absorvidos pelas folhas, atuando na prevenção e cura da doença (McGrath, 2006).

Os fungicidas carboxamidas também têm demonstrado eficácia no controle da ferrugem asiática da soja em diversas regiões do Brasil. Os resultados da rede de ensaios cooperativos, indicaram que os fungicidas com base nos princípios ativos fluxapiroxade e picoxistrobina apresentaram bons resultados no controle da ferrugem asiática, com redução da severidade da doença em até 80% e promoveram controle de até 77% da doença.

As carboxamidas são uma classe de fungicidas que atuam inibindo a respiração celular dos fungos, impedindo o crescimento e a reprodução desses organismos (McGrath, 2006). Essa classe de fungicidas foi introduzida no mercado brasileiro em 2001, com o lançamento do produto boscalida, sendo posteriormente seguido pelo lançamento de outros produtos, como fluxapiroxade, isopyrazam e penthiopyrad. Desde então, o uso de carboxamidas tem se tornado cada vez mais comum no controle de diversas doenças em diversas culturas, incluindo a ferrugem asiática da soja.

O uso de carboxamidas no Brasil tem sido crescente nos últimos anos, especialmente no controle da ferrugem asiática da soja, que é uma das doenças mais importantes da cultura da soja. O uso de fungicidas é responsável por cerca de 7% do custo total de produção da soja no país, sendo que as carboxamidas estão entre as classes de fungicidas mais utilizadas na cultura (IMEA, 2023).

As carboxamidas são consideradas uma alternativa importante aos fungicidas triazóis e estrobilurinas, que são as classes de fungicidas mais utilizadas no controle da ferrugem asiática da soja no Brasil. Isso ocorre porque as carboxamidas apresentam baixo risco de seleção de fungos resistentes, além de terem um amplo espectro de ação, sendo eficazes contra diversos patógenos, incluindo o fungo causador da ferrugem asiática da soja e outras doenças da cultura (Mello et al., 2021).

*Os fungicidas protetores: Aumentando a eficiência dos mesostêmicos e curativos.*

Os fungicidas protetores são uma classe de moléculas químicas que têm sido amplamente utilizados na agricultura para o controle de doenças fúngicas em plantas cultivadas. Esses compostos agem impedindo a germinação de esporos fúngicos e atuando em diversos sítios de ação, sendo denominados fungicidas multi-sítio (McGrath, 2016).

O uso de fungicidas protetores tem se mostrado uma estratégia eficaz para a proteção das plantas contra doenças fúngicas, especialmente quando combinado com fungicidas curativos ou em alternância com eles. O uso de fungicidas protetores na fase inicial do desenvolvimento das plantas, de maneira preventiva, tem sido recomendado para melhorar a

eficácia do controle de doenças e aumentar a produtividade das lavouras (Duhatscheck et al., 2018).

Além de proteger as plantas contra doenças fúngicas, os fungicidas protetores têm trazido outros benefícios para a agricultura brasileira. Eles têm sido eficazes na redução da incidência de formas resistentes de fungos, o que é uma preocupação crescente na agricultura moderna. Além disso, esses compostos têm melhorado a qualidade da proteção oferecida às plantas, aumentando a sanidade das lavouras e conseqüentemente, melhorando a qualidade dos produtos agrícolas colhidos (Juliatti, 2015).

A associação entre fungicidas protetivos, mesostêmicos e curativos tem sido amplamente estudada como uma estratégia para maximizar o controle da ferrugem asiática da soja. A combinação desses produtos pode oferecer vantagens significativas em relação ao uso individual de cada tipo de fungicida. Por exemplo, a aplicação de fungicidas protetivos pode prevenir a infecção inicial pelo fungo, enquanto a aplicação de fungicidas mesostêmicos e curativos pode controlar a disseminação da doença em tecidos infectados e em outras partes da cultura (Netto et al., 2020; Godoi et al., 2022; Mello et al., 2022).

A associação desses diferentes tipos de fungicidas é vantajosa porque, além de ampliar o espectro de ação, possibilita o uso de doses menores de cada um deles, reduzindo a pressão de seleção de fungos resistentes. Além disso, essa combinação de fungicidas pode resultar em uma ação sinérgica, isto é, em uma potencialização do efeito de cada um deles.

Diversos estudos têm mostrado que a associação de fungicidas protetivos, mesostêmicos e curativos pode ser muito eficiente no controle da ferrugem asiática da soja. Os ensaios cooperativos demonstram que os fungicidas que adotaram o mancozebe em sua formulação, apresentam a melhor eficiência geral e combinada no tratamento da ferrugem asiática da soja (Godoy et al., 2022).

Além disso, outros estudos têm mostrado que a associação de fungicidas pode afetar positivamente a fisiologia das plantas, contribuindo para a eficiência do controle da doença. Por exemplo, estudos têm demonstrado que os fungicidas mesostêmicos e curativos podem melhorar a eficiência fotossintética das plantas, reduzir o estresse oxidativo e aumentar a expressão de genes relacionados à resposta de defesa das plantas (Friedrich et al., 2001; Mohamed e Akladious, 2017).

Além disso, a associação de fungicidas protetivos com mesostêmicos e curativos pode aumentar a resistência das plantas ao estresse abiótico, como a seca e o excesso de radiação UV, e melhorar a qualidade dos grãos (Khan et al., 2020). Isso ocorre porque os fungicidas podem

atuar como promotores de crescimento, estimulando o desenvolvimento radicular e aumentando a absorção de nutrientes pelas plantas (Mohamed e Akladious, 2017).

Em suma, a associação de fungicidas protetivos, mesostêmicos e curativos é uma estratégia eficiente para o controle da ferrugem asiática da soja. Essa associação permite o uso de doses menores de fungicidas e pode resultar em uma ação sinérgica, potencializando o efeito de cada um deles. Além disso, a associação de fungicidas com diferentes modos de ação pode aumentar a eficiência do controle da ferrugem asiática da soja. Os fungicidas protetivos, mesostêmicos e curativos possuem diferentes modos de ação e, portanto, atuam em diferentes estágios de desenvolvimento do patógeno.

Os fungicidas protetivos, como mencionado anteriormente, atuam na superfície da planta e formam uma barreira física contra o patógeno, impedindo sua penetração. Esses fungicidas geralmente apresentam uma ação mais lenta e prolongada, mas não têm efeito sobre o patógeno já estabelecido na planta (Mohamed e Akladious, 2017; Omrane et al., 2017). Já os fungicidas mesostêmicos apresentam ação translaminar, ou seja, penetram nas folhas e atuam no interior da planta. Eles são absorvidos pelas células da planta e distribuídos por toda a folha, sendo eficazes no controle de patógenos que já penetraram na planta (Ilodibia et al., 2015; Claassen et al., 2021). Por fim, os fungicidas curativos têm ação sistêmica, ou seja, são absorvidos pelas raízes e distribuídos para toda a planta, incluindo tecidos não tratados (Mohamed e Akladious, 2017). Esses fungicidas são eficazes no controle de patógenos que já se espalharam pela planta e estão em estágios mais avançados de desenvolvimento.

A associação de diferentes modos de ação pode reduzir a possibilidade de surgimento de resistência do patógeno aos fungicidas. O uso contínuo de um único fungicida com o mesmo modo de ação pode selecionar populações de patógenos resistentes a esse fungicida (Kitchen et al., 2016; Elderfield et al., 2018; He et al., 2019). A associação de diferentes fungicidas com diferentes modos de ação pode dificultar o surgimento de resistência do patógeno, uma vez que é menos provável que o patógeno desenvolva resistência a vários modos de ação simultaneamente.

O Mancozebe é um exemplo de fungicida protetor amplamente utilizado na cultura da soja, devido à sua eficácia e longa duração de ação. Sua ação protetora ocorre pela formação de uma película protetora na superfície da folha, o que impede a penetração do fungo na planta (Viegas Neto et al., 2021).

Além disso, uma das principais vantagens do uso de fungicidas protetores, incluindo o Mancozebe, é a sua longa duração de eficiência. Estudos têm mostrado que a ação protetora do Mancozebe pode durar por até 14 dias após a aplicação, o que permite que seja utilizado com

menor frequência do que outros tipos de fungicidas (Singh et al., 2008; Rashid et al., 2014; Lal et al., 2017). Essa característica é particularmente importante para o manejo da ferrugem asiática da soja, uma vez que a aplicação frequente de fungicidas pode levar ao desenvolvimento de resistência do fungo.

No entanto, é importante ressaltar que a eficácia dos fungicidas protetores pode ser afetada por diversos fatores, como as condições climáticas, a densidade populacional do patógeno e a suscetibilidade da variedade cultivada. Por exemplo, em anos com elevada incidência de chuvas, a durabilidade do Mancozebe pode ser reduzida, uma vez que a película protetora formada pode ser removida pelas precipitações.

Outro aspecto importante a ser considerado no uso de fungicidas protetores, como o Mancozebe, é a forma de aplicação e os cuidados no momento da aplicação. É fundamental que o produto seja aplicado de forma homogênea na superfície das folhas, garantindo uma boa cobertura das plantas (Prior et al., 2017; McDonald et al., 2018). A aplicação deve ser realizada em momentos estratégicos, como no início do aparecimento da doença ou em períodos de maior suscetibilidade das plantas, como durante a fase de desenvolvimento vegetativo (Mohamed e Akladios, 2017).

A aplicação de fungicidas protetores deve ser realizada de acordo com as recomendações técnicas de cada produto, considerando fatores como o estágio fenológico da cultura, a incidência da doença na região, as condições climáticas e as características da formulação do produto. Em relação ao Mancozebe, a dosagem recomendada pode variar de acordo com a cultura, a doença a ser controlada e a época de aplicação. De modo geral, recomenda-se a utilização de uma dose de 1,5 a 2,0 kg/ha de Mancozebe para o controle da ferrugem asiática da soja, atualmente associados aos fungicidas curativos e mesostêmicos (Godoy et al., 2022). É importante salientar que essas dosagens devem ser ajustadas de acordo com as recomendações de cada fabricante e de acordo com as condições locais.

Além da dosagem, é fundamental que a aplicação do fungicida seja realizada com equipamentos adequados, que garantam uma boa cobertura das plantas, com a pulverização sendo realizada de forma homogênea na superfície das folhas. O uso de bicos de pulverização específicos para a cultura da soja pode ajudar a garantir uma aplicação mais eficiente.

Além disso, é importante tomar cuidado com as condições climáticas no momento da aplicação. A aplicação de fungicidas protetores deve ser realizada em dias de clima seco, com baixa umidade relativa do ar e sem previsão de chuva nas próximas horas, para evitar a lavagem do produto pelas gotas de chuva antes de sua absorção pela planta. Também é importante evitar

a aplicação em dias com ventos fortes, para evitar a deriva do produto para áreas não desejadas (Mohamed e Akladious, 2017; Byamukama et al., 2019; Pei et al., 2019; Afzaal et al., 2021).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, a ferrugem asiática da soja é uma doença que causa grandes prejuízos à produção de soja no Brasil. Diversas medidas podem ser adotadas para prevenção e controle da doença, como o manejo integrado de doenças e o uso de fungicidas.

Os fungicidas curativos e mesostêmicos são uma importante ferramenta no controle da ferrugem asiática da soja. Eles agem diretamente sobre o fungo, inibindo seu crescimento e reprodução. Esses fungicidas são capazes de reduzir significativamente a severidade da doença quando aplicados no momento certo, em doses adequadas e em combinação com outras medidas de manejo integrado de doenças.

Porém, apesar dos benefícios, o uso exclusivo de fungicidas curativos e mesostêmicos pode levar a uma seleção de populações de fungos mais resistentes, o que pode limitar a eficácia desses produtos no longo prazo. Por isso, é fundamental adotar um manejo integrado de doenças, que inclua a diversificação de culturas, rotação de fungicidas e outras práticas culturais que reduzam a pressão de seleção de fungos resistentes.

Os fungicidas protetivos, como o mancozebe, também podem ser uma alternativa eficaz ao uso exclusivo de fungicidas curativos e mesostêmicos. O mancozebe age de forma diferente, formando uma película protetora na superfície da folha que impede a penetração do fungo na planta. Essa ação protetora pode durar por até 14 dias após a aplicação, o que permite uma menor frequência de aplicação em relação aos fungicidas curativos e mesostêmicos.

Além disso, o mancozebe apresenta outros benefícios em relação aos fungicidas curativos e mesostêmicos, como sua baixa toxicidade e menor risco de seleção de fungos resistentes. Isso se deve ao fato de que sua ação protetora não depende da presença do fungo na planta, o que reduz a pressão de seleção de fungos resistentes.

No entanto, é importante ressaltar que o uso exclusivo de fungicidas protetivos pode não ser suficiente para o controle efetivo da ferrugem asiática da soja. Assim como os fungicidas curativos e mesostêmicos, os fungicidas protetivos devem ser utilizados em combinação com outras práticas de manejo integrado de doenças, como a diversificação de culturas, rotação de fungicidas e outras práticas culturais.

Em resumo, o controle efetivo da ferrugem asiática da soja requer uma abordagem integrada que inclua o uso de fungicidas curativos, mesostêmicos e protetivos, bem como outras

práticas culturais que reduzam a pressão de seleção de fungos resistentes. O manejo integrado de doenças é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção de soja a longo prazo, reduzindo a dependência do uso de fungicidas e minimizando os impactos ambientais e econômicos causados pela ferrugem asiática da soja.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFZAAL, H., FAROOQUE, A.A., SCHUMANN, A.W., HUSSAIN, N., MCKENZIE-GOPSILL, A., ESAU, T.J., ABBAS, F., ACHARYA, B. Detection of a Potato Disease (Early Blight) Using Artificial Intelligence. **Remote Sensing**, St. Paul, v.13, n.411, p.1-17, 2021.

ANAHOSUR, K. H.; WALLER, J. M. *Phakopsora pachyrhizi*. **CMI DESCRIPTIONS OF PATHOGENIC FUNGI AND BACTERIA**. v.589, n.9, p.1-9, 1976.

BALARDIN, R. S. **Doenças da cultura da soja**. Santa Maria: UFSM, 2002. 107p.

BANDARA, A.Y., WEERASOORIYA, D.K., CONLEY, S.P., BRADLEY, C.A., ALLEN, T.W., ESKER, P.D. Modeling the relationship between estimated fungicide use and disease-associated yield losses of soybean in the United States I: Foliar fungicides vs foliar diseases. **PLoS ONE**, Cambridge, v.15, n.6, p.1-21, 2020.

BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M. M. Importância econômica. In: SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, R.; CÂMARA, G. **Soja: Do plantio à colheita**. São Paulo: Oficina do texto. 2022. p.8-18.

BYAMUKAMA, E., ALI, S., KLEINJAN, J.L., YABWALO, D.N., GRAHAM, C., CAFFETREML, M., MUELLER, N.D., RICKERTSEN, J.R., BERZONSKY, W.A. Winter Wheat Grain Yield Response to Fungicide Application is Influenced by Cultivar and Rainfall. **The Plant Pathology Journal**, Seoul, v.35, p.63-70, 2019.

CHANG, C., ZHANG, J., TINGTING, L., SONG, K., JINHONG, X., LUO, S., QU, T., ZHANG, J., TIAN, C., & ZHANG, J. Rhizosphere fungal communities of wild and cultivated soybeans grown in three different soil suspensions. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.153, p.1-9, 2020.

CLAASSEN, B.J., WOLFENBARGER, S.N., GENT, D.H. Fungicide Physical Mode of Action: Impacts on Suppression of Hop Powdery Mildew. **Plant disease**, St. Paul, v.106, n.4, p.1244-1252, 2021.

COSTA, A.V., MOREIRA, L.C., PINTO, R.T., ALVES, T.D., SCHWAN, V.I., DE QUEIROZ, V.T., PRAÇA-FONTES, M.M., TEIXEIRA, R.R., MORAIS, P.A., DE JESUS, W. Synthesis of Glycerol-Derived 4-Alkyl-Substituted 1,2,3-Triazoles and Evaluation of Their Fungicidal, Phytotoxic, and Antiproliferative Activities. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.31, n.4, p.821-832, 2020.

DUHATSCHECK, E.; SANTOS, L. A.; FARIA, C. M. D. R. Sensibilidade de isolados de *Phakopsora pachyrhizi* provenientes da região do centro oeste do Paraná a fungicidas. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v.44, n.2, p.193-194, 2018.

ELDERFIELD, J., LÓPEZ-RUIZ, F.J., VAN DEN BOSCH, F.C., & CUNNIFFE, N.J. Using Epidemiological Principles to Explain Fungicide Resistance Management Tactics: Why do Mixtures Outperform Alternations? **Phytopathology**, St. Paul, v.108, n.7, p.803-817, 2018.

FRIEDRICH, L., LAWTON, K.A., DIETRICH, R.A., WILLITS, M.G., CADE, R.M., & RYALS, J.A. NIM1 overexpression in Arabidopsis potentiates plant disease resistance and results in enhanced effectiveness of fungicides. **Molecular plant-microbe interactions : MPMI**, St. Paul, v.14, n.9, p.1114-1124, 2021.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagramatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.31, n.1, p.63-68, 2006.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; TOMEN, A.; MOCHKO, A. C. R.; DIAS, A. R.; MUHL, A.; SCHIPANSKI, C. A.; SERCILOTO, C. M.; CHAGAS, D. F.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; ARAUJO JUNIOR, I. P.; GALDINO, J. V.; ROY, J. M. T.; BONANI, J. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; KUDLAWIEC, K.; NAVARINI, L.; BELUFI, L. M. de R.; SILVA, L. H. C. P. da; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; GOUSSAIN JUNIOR, M. M.; GARBIATE, M. V.; SENGER, M.; MÜLLER, M. A.; DEBORTOLI, M. P.; MARTINS, M. C.; TORMEN, N. R. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2021/2022: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. EMBRAPA SOJA: Londrina, 2022, 28p.

HE, M., WANG, Y., WU, E., SHEN, L., YANG, L., WANG, T., SHANG, L., ZHU, W., ZHAN, J. Constraining Evolution of *Alternaria alternata* Resistance to a Demethylation Inhibitor (DMI) Fungicide Difenoconazole. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v.10, p.1-12, 2019.

ILODIBIA, C.V., UGWU, R.U., NWOKOLO, O.L., CHUKWUMA, M., & AKACHUKWU, E. Phytochemical Screening, Antifungal and Antibacterial Activity of Aqueous and Ethanolic Leaf and Stem Extracts of *Gnetum africanum* Welw. **Research Journal of Medicinal Plant**, Dubai, v.9, p.275-283, 2015.

IMEA – INSTITUTO MATOGROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Custos de produção – Soja – Mensal transgênica, 23/03/2023**. 2023. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em: 26 de abril de 2023.

JULIATTI, F. C. Tendência: Fungicidas protetores voltam às lavouras. **Campo & Negócios**, Uberlândia, v.2015, n.2, p. 54-55, 2015.

KITCHEN, J.L., VAN DEN BOSCH, F.C., PAVELEY, N.D., HELPS, J.C., VAN DEN BERG, F. The Evolution of Fungicide Resistance Resulting from Combinations of Foliar-Acting Systemic Seed Treatments and Foliar-Applied Fungicides: A Modeling Analysis. **PLoS ONE**, Cambridge, v.11, p.1-21, 2016.

KHAN, N., ALI, S., TARIQ, H., LATIF, S., YASMIN, H., MEHMOOD, A., SHAHID, M.A. Water Conservation and Plant Survival Strategies of Rhizobacteria under Drought Stress. **Agronomy**, Basel, v.10, p. 1-23, 2020.

KHAN, S. M.; ALI, S.; NAWAZ, A.; BUKHARI, S. A. H.; EJAZ, S.; AHMAD, S. **Integrated pest and disease Management for better agronomic crop production.** In: **Hasanuzzaman**, Springer: Singapore, 2019. p.1-44.

LAL, M., YADAV, S., SINGH, B.P. Efficacy of New Fungicides against Late Blight of Potato in Subtropical Plains of India. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, Bhopal, v.11, p.599-603, 2017.

LI, Y., WANG, B., CHANG, Y., YANG, Y., YAO, C., HUANG, X., ZHANG, J., CAI, Z.C., & ZHAO, J. Reductive soil disinfestation effectively alleviates the replant failure of *Sanqi ginseng* through allelochemical degradation and pathogen suppression. **Applied Microbiology and Biotechnology**, St. Paul, v.103, p.3581-3595, 2019.

MCDONALD, M.C., RENKIN, M., SPACKMAN, M.E., ORCHARD, B.A., CROLL, D., SOLOMON, P.S., MILGATE, A.W. Rapid Parallel Evolution of Azole Fungicide Resistance in Australian Populations of the Wheat Pathogen *Zymoseptoria tritici*. **Applied and Environmental Microbiology**, St. Paul, v.85, n.4, p.1-14, 2018.

MCGRATH, M. T. What are fungicides? **The plant health instructor**. 2016. 17p.

MELLO, F.E., LOPES-CAITAR, V.S., PRUDENTE, H., XAVIER-VALENCIO, S.A., FRANZENBURG, S., MEHL, A., MARCELINO-GUIMARÃES, F.C., VERREET, J., BALBIPEÑA, M.I., & GODOY, C.V. Sensitivity of *Cercospora* spp. from soybean to quinone outside inhibitors and methyl benzimidazole carbamate fungicides in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, St. Paul, v.46, p.69-80, 2021.

MOHAMED, H.I., AKLADIOUS, S.A. Changes in antioxidants potential, secondary metabolites and plant hormones induced by different fungicides treatment in cotton plants. **Pesticide biochemistry and physiology**, Frederiksberg, v.142, p.117-122, 2017.

MOHAMMED, Y.A., MATTHEES, H.L., GESCH, R.W., PATEL, S., FORCELLA, F., AASAND, K., STEFFL, N., JOHNSON, B.L., WELLS, M.S., & LENSSEN, A.W. Establishing winter annual cover crops by interseeding into Maize and Soybean. **Agronomy Journal**, Hoboken, v.112, p.719-732, 2020.

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

NIUNIU, S., HONGCHUN, R., LIN, G., YULI, D., XIUJUAN, Y., YIXIN, D., & FURU, C. Evaluating the Sensitivities and Efficacies of Fungicides with Different Modes of Action Against *Phomopsis asparagi*. **Plant Disease**, St. Paul, v.104, p.448-454, 2020.

OMRANE, S., AUDÉON, C., IGNACE, A., DUPLAIX, C., AOUMI, L., KEMA, G.H., WALKER, A., FILLINGER, S. Plasticity of the MFS1 Promoter Leads to Multidrug Resistance in the Wheat Pathogen *Zymoseptoria tritici*. **mSphere**, Houston, v.2, n.5, p.1-18, 2017.

PEI, Y., TAO, Q., ZHENG, X., LI, Y., SUN, X., LI, Z., QI, X., XU, J., ZHANG, M., CHEN, H., CHANG, X.L., TANG, H., SUI, L., GONG, G. Phenotypic and Genetic Characterization of

*Botrytis cinerea* Population from Kiwifruit in Sichuan Province, China. **Plant disease**, St. Paul, v.103, n.4, 748-758, 2019.

PEREIRA, N.G., MARTINS, N.C., LIMA, J.D., BLAINSKI, É., DE OLIVEIRA, M.B., CARDOSO, D.C., DA SILVA, G.J. Evaluation of Fungicides to Control Asian Rust and Anthracnose in Soybean. **Journal of Agricultural Studies**, Las Vegas, v.7, n.4, p.63-74, 2019.

PRIOR, R., MITTELBAACH, M., & BEGEROW, D. Impact of three different fungicides on fungal epi- and endophytic communities of common bean (*Phaseolus vulgaris*) and broad bean (*Vicia faba*). **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, Philadelphia, v.52, p.376-386, 2017.

RASHID, M.H., HOSSAIN, M.A., KASHEM, M.A., KUMAR, S., RAFII, M.Y., LATIF, M.A. Efficacy of Combined Formulations of Fungicides with Different Modes of Action in Controlling Botrytis Gray Mold Disease in Chickpea. **The Scientific World Journal**, London, v.2014, p.1-6, 2014.

SAVARY, S., WILLOCQUET, L., PETHYBRIDGE, S. J. ESKER, P.; MCROBERTS, N.; NELSON, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature ecology & evolution**, London, v.3, p.430–439, 2019.

SIKORA, E. J.; ALLEN, T. W.; WISE, K. A. BERGSTROM, G.; BRADLEY, C. A.; BOND, J.; BROWN-RYTLEWSKI, D.; CHILVERS, M.; DAMICONE, J.; DEWOLF, E.; DORRANCE, A.; DUFAULT, N.; ESKER, P.; FASKE, T. R.; GIESLER, L.; GOLDBERG, N.; GOLOD, J.; GÓMEZ, I. R. G.; GRAU, C.; GRYBAUSKAS, A.; FRANC, G.; HAMMERSCHMIDT, R.; HARTMAN, G. L.; HENN, R. A.; HERSHMAN, D.; HOLLIER, C.; ISAKEIT, T.; ISARD, S.; JACOBSEN, B.; JARDINE, D.; KEMERAIT, R.; KOENNING, S.; LANGHAM, M.; MALVICK, D.; MARKELL, S.; MAROIS, J. J.; MONFORT, S.; MUELLER, D.; MUELLER, J.; MULROONEY, R.; NEWMAN, M.; OSBORNE, L.; PADGETT, G. B.; RUDEN, B. E.; RUPE, J.; SCHNEIDER, R.; SCHWARTZ, H.; SHANER, G.; SINGH, S.; STROMBERG, E.; SWEETS, L.; TENUITA, A.; VAICIUNAS, S.; YANG, X. B.; YOUNG-KELLY, H.; ZIDEK, J. A coordinated effort to manage soybean rust in North America: a success story in soybean disease monitoring. **Plant Disease**, St. Paul, v.9, p.864–875, 2014.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. Saint Paul: APS Press, 1999. p.25-26. SINGH, P.J., KUMAR, R., SIDHU, G.S. Efficacy of fungicides against *Botrytis gladiolorum* of gladiolus. **Plant Disease Research**, New Delhi, v.23, p.19-23, 2008.

SOUZA, P.H., BACCHI, L.M., GAVASSONI, W.L., ANDRADE, W.D. Association of hydrogen peroxide with commercial fungicide formulations in the control of Asian soybean rust. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.52, n.3, p.1-9, 2022.

VIEGAS NETO, A.L., MÁRCIO ALVES DE SOUZA, C., FERNANDES BERTONCELLO, B., DOS SANTOS LIMA JÚNIOR, I., MARIA MARASCHI DA SILVA PILETTI, L., ROBERTO RIGOTTE, M. Fungicide management in the Asian soybean rust. **Revista Agrogeoambiental**, Porto Alegre, v.13, n.1, p.36-46, 2021.