



**INSTITUTO FEDERAL**  
**GOIANO**  
**Câmpus Rio Verde**

**BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA  
NA CULTURA DA SOJA**

**JOÃO PAULO DE OLIVEIRA MARTINS**

**Rio Verde, GO**

**2023**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA NA  
CULTURA DA SOJA**

**JOÃO PAULO DE OLIVEIRA MARTINS**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Higino de Lima e Silva  
Coorientadora: Ana Paula Cardoso Gomide

Rio Verde – GO  
Março, 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

MM386e

MARTINS, JOAO PAULO DE OLIVEIRA

Estratégias de Controle da Ferrugem Asiática na Soja / JOAO PAULO DE OLIVEIRA MARTINS; orientadora Fernando Higino de Lima e Silva ; co-orientadora Ana Paula Cardoso Gomide . -- Rio Verde, 2023.

24 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Phakopsora pachyrhizi. 2. Manejo integrado. 3. Glycine Max. 4. Controle químico. 5. Controle genético . I. , Fernando Higino de Lima e Silva, orient. II. , Ana Paula Cardoso Gomide, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- Tese  Artigo Científico  
 Dissertação  Capítulo de Livro  
 Monografia – Especialização  Livro  
 TCC - Graduação  Trabalho Apresentado em Evento  
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome Completo do Autor: Joao Paulo de Oliveira Martins  
Matrícula: 2016102200240086  
Título do Trabalho: Estratégias de Controle da Ferrugem Asiática da soja

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: \_\_/\_\_/\_\_

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não  
O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local: Rio Verde, Data 21/03/2023.

*João Paulo de Oliveira Martins*

21/03/2023

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Documento assinado digitalmente

Ciente e de acordo:



FERNANDO HIGINO DE LIMA E SILVA  
Data: 21/03/2023 16:33:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 6/2023 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos sete dias do mês de março de 2023, às 16 horas, reuniu-se, via Plataforma Google Meet, a banca examinadora composta pelos membros: Profa. Dra. Ana Paula Cardoso Gomide (IF Goiano - Campus Rio Verde) e a Enga. Agrônoma Ana Cristina Lourenço de Souza (BASF Xarvio) e Prof. Dr. Fernando Higino de Lima e Silva (orientador), para examinar o Trabalho de Curso intitulado **"ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA"** do discente João Paulo de Oliveira Martins, Matrícula nº 2016102200240086 do Curso de Bacharelado em Agronomia do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros docentes, e pelo orientador em nome da membro externo à Instituição, a Enga. Agrônoma Ana Cristina Lourenço de Souza.

*(Assinado Eletronicamente)*

Fernando Higino de Lima e Silva  
Orientador

*(Assinado Eletronicamente)*

Ana Paula Cardoso Gomide  
Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

Ana Cristina Lourenço de Souza  
Membro

**Observação:**

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Ana Paula Cardoso Gomide, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/03/2023 17:33:04.
- Fernando Higinio de Lima e Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/03/2023 17:31:51.

Este documento foi emitido pelo SIJAP em 07/03/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse [http://sijap.ifgoiano.edu.br/autenticar\\_documento/](http://sijap.ifgoiano.edu.br/autenticar_documento/) e forneça os dados abaixo.

Código Verificador: 474197  
Código de Autenticação: 8ed9edc520



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000

# **JOÃO PAULO DE OLIVEIRA MARTINS**

## **ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Curso defendido e aprovado, em 7 de março de 2023, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

Nome do membro

Instituição

---

Nome do membro

Instituição

---

Presidente da banca

Instituição

Rio verde – Go

Março - 2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar ao auxílio que minha família proporcionou durante todo esse processo para que eu hoje pudesse alcançar os meus objetivos, sem eles nada disso seria possível, também agradeço a todo o corpo de funcionários do Instituto Federal Goiano que sempre fizeram tudo ao seu alcance para fornecer um ensino de qualidade aos discentes, agradeço ainda ao meu orientador e ex-professor Fernando Higino por todo o apoio e boa vontade em auxiliar. Agradeço a todos os meus amigos e colegas que tornaram este trajeto muito mais suave e prazeroso, amigos estes que se tornaram irmãos, os quais levarei para a vida.



## RESUMO

MARTINS, João Paulo de Oliveira. **Estratégias de controle da ferrugem asiática na cultura da soja**. 2023. 28p Monografia (Curso Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2023.

O Brasil é um dos maiores produtores de soja do mundo, mas diversos fatores têm dificultado sua produção, principalmente doenças causadas por fungos que podem causar perdas de até 90% na produtividade. Dentre elas, destaca-se, a ferrugem asiática causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, que é de difícil controle, uma vez que o patógeno forma ureódios que são de fácil disseminação contaminando as plantas de soja durante o período da safra, e a redução de sensibilidade do fungo aos fungicidas tem levado aos produtores adotarem o método de manejo integrado para o seu controle. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma síntese das estratégias de manejo para o controle da ferrugem asiática na cultura da soja, como o manejo cultural, químico e o controle genético. A redução de sensibilidade do fungo aos fungicidas tem levado pesquisadores a selecionar fontes de resistência para desenvolvimento de novas cultivares resistentes à doença, bem como a utilização do controle químico visando controlar a doença na lavoura e evitar perdas de até 90% da safra. O manejo cultural com espécies não hospedeiras da ferrugem asiática é uma alternativa para o seu controle.

**Palavras-chave:** *Phakopsora pachyrhizi*; manejo integrado; *Glycine max*; controle químico; controle genético.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                            | 11 |
| 2. CULTURA DA SOJA.....                       | 12 |
| 3. FERRUGEM ASIÁTICA.....                     | 13 |
| 3.1. Taxonomia, etiologia e sintomologia..... | 13 |
| 3.2. Epidemiologia.....                       | 15 |
| 4. A FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....           | 16 |
| 5. MANEJO DA DOENÇA.....                      | 19 |
| 5.1. Controle Químico.....                    | 19 |
| 5.2. Controle Cultural.....                   | 21 |
| 5.3. Controle genético.....                   | 22 |
| 5.4. Controle genético cenário atual.....     | 24 |
| 5.5. CONSIDERACOES FINAIS.....                | 25 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....            | 25 |

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa originária da Ásia que apresenta uma grande importância para a economia mundial. Os primeiros cultivos extensivos de soja no Brasil se deram a partir da década de 70, impulsionadas pela grande demanda que surgia no mercado internacional, desde então o Brasil ano a ano tem incrementado sua produção tanto em área quanto em tecnologia se tornando assim uma importante peça no cenário da sojicultura mundial, apresentando um rendimento em torno de 134,3 milhões de toneladas na safra de 21/22 (IBGE, 2022).

Dentre os diversos fatores que podem limitar a produtividade das lavouras, destaca-se a presença de doenças que podem causar sérios prejuízos econômicos. No Centro-Oeste, a soja é uma importante cultura utilizada na época da safra, como em outras partes do Brasil. Mas há muitas doenças que afetam a soja e dificultam o alcance de altos níveis de produtividade. As doenças fúngicas são um dos principais fatores que limitam a obtenção de altas produtividades nas lavouras de soja e que causam danos irreparáveis à produção, além de sérios prejuízos aos produtores. Como resultado desses ataques, a perda anual de produção fica entre 15% e 20% aproximadamente, em alguns casos, a perda é de quase 100%.

Nas lavouras brasileiras de soja, a principal doença é a ferrugem asiática da soja, essa doença é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, parasita obrigatório e biotrófico que pode causar até 80% de perda em condições ideais (CRUZ et al., 2012). No Brasil, a ferrugem da soja tem causado aumento dos custos de produção devido à necessidade de fungicidas, redução da produtividade e conseqüente queda nos lucros (ARAUJO & VELLO, 2010).

É muito difícil erradicar *P. pachyrhizi* da área afetada quando este se instala. Entretanto, diversos métodos de cultivo estão disponíveis para constituir o manejo integrado da doença, permitindo a recuperação da produtividade das culturas reduzindo assim sua importância. Para minimizar os danos da ferrugem asiática no cultivo da soja, uma série de medidas devem ser tomadas, como respeitar o vazio sanitário, tratamento de sementes, tempo, densidade e intervalo de semeadura, monitoramento de focos da doença, rotação de culturas, uso de agentes de controle químico, uso de cultivares resistentes ou tolerantes (GÖRGEN et al., 2010; SILVA et al., 2019; ZENG et al., 2012).

Portanto objetivou-se com esta revisão demonstrar estratégias de controle da ferrugem asiática na cultura da soja.

## 2. CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine Max L. Merrill*) é uma leguminosa da família das fabáceas que se desenvolveu às margens do rio YanTze, sendo domesticada e melhorada desde então, a mesma é cultivada por pelo menos 5 mil anos, tendo sua descrição mais antiga datada de 2207 A.C fazendo-a assim uma das culturas mais antigas e mais importantes que se tem registro, ocupando a quarta posição na produção e consumo mundial (FAOSTAT, 2021). Seu local de origem exato é incerto, existindo teorias de que ela tenha se originado no leste da China, este local seria a parte central da China. O que se sabe é que ela se espalhou por todo o leste asiático, indo da Coreia ao Japão, se tornando um dos principais alimentos a compor a dieta daqueles povos há milênios. Os primeiros registros que se tem do cultivo da soja no Brasil datam de 1882, em experimentos realizados com cultivares na Bahia, abrindo assim os caminhos para adaptação desta ao clima brasileiro. (BONATO, 1987). O cultivo da soja teve início em 1914 na cidade de Santa Rosa no RS (SANTOS, 1988), onde foi fundada a primeira indústria para seu processamento em 1941. Em 1949, o Brasil, com uma produção de 25.000 toneladas, foi reconhecido como produtor de soja nas estatísticas internacionais pela primeira vez (VIDOR et al., 2004).

Os primeiros plantios comerciais no Brasil ocorreram a partir da década de 40, mas foi somente após os anos de 1970 que houve uma demanda internacional, consequentemente levando ao aumentando a área plantada em todo o país. A popularização da soja a partir daí foi impulsionada tanto pelo aumento da demanda por proteínas na alimentação dos crescentes rebanhos, como pela necessidade de obtenção de óleos vegetais na substituição das gorduras de origem animal (BOREM, 2004). Suas características como alto teor de ácidos graxos e proteínas, chegando a 20% e 40% respectivamente, fizeram da soja uma peça fundamental na estruturação da agropecuária mundial.

Hoje o Brasil se destaca como o principal produtor e exportador de soja do mundo, ultrapassando recentemente os Estados Unidos os antigos detentores do posto, somente na última safra foram produzidas segundo estimativas da Conab em torno de 120,3 milhões de toneladas do grão, um crescimento de 4,6% no volume em relação à safra 2018/19. Segundo estimativas da mesma, no ano de 2020/21, a produção de soja deve ficar em 133,7 milhões de toneladas, se mantendo assim como uma peça fundamental no setor (CONAB 2020)

Fatores bióticos e abióticos afetam diretamente a produtividade da soja. A Ferrugem Asiática é um dos fatores bióticos mais importantes que pode afetar negativamente a

produtividade da soja brasileira (HIRAKURI, 2014). Portanto, medidas devem ser tomadas para manejo e controle da doença, a fim de minimizar os danos à produção.

### **3. FERRUGEM ASIÁTICA**

#### **3.1. Taxonomia, etiologia e sintomologia**

A ferrugem da soja na Ásia é uma doença foliar causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (estágio tereomorfo, forma completa), um patógeno que produz teriósporos marrom-amarelos pálidos distribuídos nas camadas 2-7, anamórficos em estágio (incompleto, clone), a forma de Malupa soja (CARVALHO JUNIOR & FEGUEIREDO, 2000). Depois de danificar a planta, o fungo produz urédias. Esta é a estrutura envolvida na formação e liberação de uredósporos. A uredia varia de marrom claro a marrom escuro e, uma vez acumulada, emite uredósporos claros ou beges.

A classificação da ferrugem é explicada da seguinte forma: *Phakopsora pachyrhizi* Syd., Domínio Eucarioto, Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Ordem Uredinales, Classe Urediniomycetes, Família Phakopsoraceae e Gênero *Phakopsora* (GOELLNER et al., 2010).

Em 1994, a perda econômica devido à ferrugem foi registrada apenas na China e na Indonésia, chegando a US\$ 253.700,00 por ano (WRATHER et al., 1997). Na campanha de 2013/14, estima-se que a ferrugem tenha custado US\$ 2,2 bilhões em fungicidas somente no Brasil (GODOY et al., 2016). Esses dados mostram o rápido desenvolvimento da doença e sua importância econômica e social no mundo devido ao aumento dos custos de produção e à redução na produção de alimentos.

O processo de infecção depende da umidade das folhas, mas leva no mínimo 6 horas, idealmente entre 10-12 horas. A inserção do fungo ocorre diretamente através da cutícula pelo apressório a uma temperatura favorável de 15-29°C (ALMEIDA et al., 2011). Os esporos uretrais se formam dentro de 5 a 8 dias após a infecção, e o número de ciclos da doença depende do estágio da infecção do hospedeiro (GOELLNER et al., 2010).

O sinal inicial é uma pequena lesão marrom limitada pelas veias no terço médio inferior da planta. Após 5-8 dias, pústulas enferrujadas (urédias) podem ser vistas, que logo mudam de coloração marrom claro para marrom escuro, abrindo-se em pequenos poros expelindo os urediósporos (GOELLNER et al., 2010). A urédias, que já esporulou, difere das pústulas bacterianas por ser visivelmente transparente e aberta. A dispersão é realizada principalmente pelo vento. A perda de produtividade devido à ferrugem é devido à queda prematura de folhas, aborto espontâneo de flores e vagens e falta de grãos. Quanto mais rápido as folhas caem, menor

o tamanho do grão, o que se traduz em menor produtividade e qualidade dos grãos (ALMEIDA et al., 2011).

Apesar da alta diversidade genética da ferrugem da soja, não há relatos de esporos naturais na literatura. Esporos do tipo urédias assexuados são o único meio de transmissão e dispersão de doenças, e esporos semelhantes a teliósporos raramente são encontrados (HARTMAN et al., 2011). Essa diversidade pode estar relacionada à sua origem (FREIRE & OLIVEIRA, 2008), que surgiu em múltiplos eventos independentes de dispersão à distância no Brasil, e seu genoma, que ainda não foi totalmente sequenciado, mas supõe-se que o menor haplótipo tenha 500 mega pares de base (LOEHRER et al., 2014). O grande genoma de um eucarioto unicelular tem a vantagem de ter DNA extra, oferecendo oportunidades para inovação genética, como mutações em grandes íntrons, especiação de genes duplicados e evolução de sequências regulatórias (HARTL & CLARCK, 2010).

Os fungos *P. Pachyrhizi* são capazes de completar seu ciclo em várias espécies, como foi observado por Ono; Buriticá; Hennen (1992) onde concluíram que o patógeno pode esporular em 31 espécies de 17 gêneros da família das leguminosas. Em experimentos de inoculação realizados em casas de vegetação, Slaminko et al. (2008) verificou que a ferrugem se reproduziu em 65 espécies de 25 gêneros diferentes, dentre as quais 12 não foram relatadas como hospedeiras.

Há relatos na literatura que constataram a existência de 150 espécies em 53 gêneros diferentes. Esses resultados indicam que muitos hospedeiros alternativos podem funcionar como "pontes verdes" quando não há soja na área de plantio. Por isso, no Brasil, desde 2006, houve a implantação do vazio sanitário, que é um período que vai do dia 1º de fevereiro a 1º de outubro em diversas regiões do Brasil, em que o cultivo da soja não é permitido, com o objetivo de interromper o ciclo e evitar novas infestações e seus efeitos do crescimento fúngico e o atraso no início das epidemias na próxima safra (HARTMAN et al., 2011; GODOY et al., 2015).

Atualmente, 70 tipos de fungicidas estão registrados como preventivos de ferrugem (AGROFIT, 2022), mas os 17 fungicidas mais utilizados para controle e alguns ainda sem registro foram testados pela EMBRAPA, onde observou-se que somente 3 produtos apresentaram taxa de controle acima de 70% dentre os quais apenas um deles possui registro cultural para a soja. Esses resultados indicam que o uso de fungicidas é apenas uma das alternativas de manejo e requer outras estratégias de manejo adicionais (GODOY et al., 2016).

### 3.2. Epidemiologia

O entendimento dos fatores envolvidos no desenvolvimento de doenças de plantas está fortemente associado ao conhecimento do patógeno causador da mesma, hospedeiros e propriedades ambientais. Cada um desses componentes é conhecido por desempenhar um papel importante no surto. O desenvolvimento de doenças infecciosas como a ferrugem na asiática é caracterizado por uma série de eventos como disseminação, infecção, colonização e reprodução no hospedeiro. O uredósporo chega à planta, transportado por via aérea ou outro meio de contaminação e após sua germinação a epidemia começa, logo após o que se formam são os tubos de germinação que crescem na superfície das folhas para formar o apressório. Ao contrário de outras ferrugens que penetram nos estômatos, as ferrugens asiáticas também penetram diretamente na epiderme das folhas (GOELLNER et al., 2010).

Os esporos de *P. pachyrhizi* podem germinar em temperaturas entre 8 e 36 °C, com uma faixa ótima de 19-24 °C. Desde que a superfície da folha esteja molhada por pelo menos 6 horas, o fungo pode infectar plantas em temperaturas entre 15 e 28°C (SALVADORI & BACALTCCHUK, 2016). Os surtos ocorrem constantemente devido à variedade de hospedeiros alternativos e contínuos para fungos (BIGOLIN, 2015).

Este patógeno sobrevive fora da época da safra através de hospedeiros voluntários que surgem na área de cultivo e ao se sucederem diversas gerações nesse período essas plantas fornecem o alimento necessário à sobrevivência a *P. pachyrhizi* que é um parasita biotrófico, além deste sobreviver em hospedeiros alternativos como algumas plantas daninhas (REIS & BRESOLIN, 2006). Reis e Bresolin (2006) relata a presença de uredósporos em suspensão no ar atmosférico que são arrastados para o solo pelas gotas da chuva.

Esses uredósporos podem ser disseminados a longas distâncias pela ação do vento e todas as direções em qualquer época do ano, pois este é muito leve o que facilita esse processo. Os esporos são produzidos nas pústulas na superfície seca do hospedeiro que é quando pode ser facilmente disseminado, e assim que a soja é semeada na época de plantio coincide com a deposição dos uredósporos sobre os tecidos verdes das novas plantas e assim ocorre uma nova infecção desde que as condições estejam ideais para esses esporos, desde que a superfície da planta esteja molhada o suficiente para que isto ocorra. O que favorece esse processo são temperaturas entre 15 e 25°C e molhamento de 4 a 8 horas e a infecção ocorrerá em 6 a 8 horas através da epiderme da folha e os ureosporos secundários germinaram entre 7 e 10 dias (WIESE, 1998).

Após o surgimento dos primeiros esporos na planta o ciclo primário da doença se encerra, e a produção de novos esporos ocorre em grande quantidade e logo são disseminados com o vento. Vários ciclos secundários se sucedem, fazendo com que a disseminação seja muito rápida infectando novas folhas, novas plantas e novas áreas de plantio. Logo após a última infecção na área de plantio onde são produzidos os últimos uredósporos a partir desse material vegetal verde, estes são dispersados e encontram novos hospedeiros originados na área de plantio após a colheita da soja, sendo assim que permanecem viáveis durante a entressafra reiniciando o ciclo e a infecção (REIS & BRESOLIN, 2006)

Contudo, a ferrugem asiática é uma importante doença que acomete a cultura da soja, que é de grande importância econômica mundial, a busca por métodos para seu controle se justifica, sendo, a utilização de manejo integrado é uma alternativa viável para esse fim, fazendo-se necessário novas pesquisas sobre o assunto.

#### **4. A FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA**

A ferrugem foi detectada pela primeira vez no Japão em 1902, com o nome de *Uredo sojae*, após sua descoberta não demorou para que a doença se espalhasse pelas plantações de clima tropical e subtropical do sudeste asiático. Demorou certo tempo até que o fungo fosse constatado também em solo africano, tendo seu primeiro relato por volta de 1996 em Uganda, em 1998 no Zimbábue e Zâmbia, e em 2001 na África do Sul, isto é, no mesmo ano em que foi detectado o primeiro foco epidêmico em solos brasileiros, localizado na região oeste do Paraná. (YONORINI 2004; COSTAMILAN; BERTAGNOLLI; YORINORI, 2002; REIS; CASA; MICHEL, 2002; YONORINI 2004; YORINORI et al., 2010).

*P. pachihirrizi* é um fungo do filo Basidiomycota, classe Basidiomycetes, ordem Uredinales e família Phakopsoraceae. O primeiro sintoma da doença é uma pequena lesão foliar cinzenta acastanhada. Uma pequena protuberância marrom então aparece na superfície dorsal da folha (Urédia), liberando pequenos esporos vítreos (GODOY et al., 2016). À medida que as lesões crescem, o tecido foliar ao redor da urédias torna-se marrom e as lesões se formam em ambos os lados da folha. Em situações de alta severidade da doença, ocorre amarelecimento, seguido de abscisão das folhas aderidas. Portanto, a fase final da epidemia de FAS nas lavouras é caracterizada por um amarelecimento geral das folhas com severa desfolha (REIS; BRESOLIN; CARMONA, 2006, p.10).



Devido à sua rápida disseminação e ao potencial de perda severa de produtividade, a ferrugem é a doença foliar mais devastadora da doença da soja. É altamente agressivo e em condições ideais para surtos fúngicos generalizados em todas as regiões produtoras de soja do país, com rendimentos de doenças de até 90% de perda de rendimento (MATSUO et al., 2015).

*Phakopsora pachyrhizi* é um parasita essencial que inicia a infecção quando seus esporos denominados uredósporos germinam e liberam tubos de germinação que crescem na superfície das folhas e formam apressórios. Esta ferrugem é única porque tem a capacidade de penetrar diretamente na epiderme, ao contrário de outras ferrugens que penetram nos poros. A urédia se desenvolve 5-8 dias após a infecção e os esporos fúngicos podem se desenvolver por até 3 semanas (AMORIM et al., 2011).

Os principais fatores climáticos que determinam o surgimento da ferrugem asiática na soja são a umidade foliar de longo prazo, a temperatura média nos períodos úmidos e a umidade relativa (SUMIDA, 2018). A infecção bem-sucedida depende da disponibilidade de água na superfície das folhas. Parece que são necessárias pelo menos 6 horas de água livre para que a infecção se inicie. Os fungos podem infectar plantas em temperaturas de 15-28°C, com valores ótimos de 22-24°C (GODOY et al., 2015). Chuvas fortes e frequentes durante o início da doença estão associadas a surtos mais graves.

Os sintomas podem ocorrer em qualquer estágio biofenológico caracterizado por pequenas lesões que variam do marrom ao marrom escuro sob as folhas, com pequenas saliências que caracterizam o início da formação da estrutura de frutificação desse fungo sobre a folha, denominadas de urédias ou pústulas (MATSUO et al., 2015). A coloração amarelada em plantas indica severidade na infecção onde ocorre a queda prematura das folhas e o impedimento do pleno enchimento dos grãos, degradando sua qualidade, causando perda de produtividade de até 90% e da capacidade máxima da cultura (GODOY et al., 2015).

O controle de fungos é economicamente muito importante devido à perda de produtividade causada pela ferrugem. Na safra 2003/2004, estimou-se que 4,6 milhões de toneladas de soja (US\$ 1,22 bilhão) foram perdidas quando pouco se sabia sobre a doença e os danos causados eram desconhecidos. Bilhões (YORINORI et al., 2010). Somente na safra 2006/2007, a perda por ferrugem asiática atingiu cerca de 4,5% da safra brasileira de soja, ou 2,67 milhões de toneladas. O custo total da ferrugem asiática para esta safra foi de US\$ 2,19 bilhões (EMBRAPA, 2022).

Dentre os danos causados pela ferrugem destaca-se o aumento da gravidade e da desfolha severa da planta, o que reduz a região fotossintética ativa. De acordo com Waggoner e Berger (1987) este fato apresenta alta correlação entre produtividade e índice de área foliar.

Como a fotossíntese está mais diretamente relacionada à absorção de luz solar pelas folhas do que à área das folhas, uma variável que leva em consideração a quantidade de luz absorvida pelas folhas deve estar mais relacionada à produtividade. Obviamente, os atrasos de controle afetam esses parâmetros e aumentam ou diminuem os danos. Portanto, para melhor compreender os danos causados pelo controle tardio da ferrugem, é importante observar não só a diminuição da produtividade, mas também o efeito da doença na folhagem do hospedeiro.

O método de controle mais desejável é a resistência introduzida em cultivares por modificação genética. No entanto, a aquisição de variedades resistentes tem sido um grande desafio para os programas de melhoramento de soja (OLIVEIRA et al., 2015). Atualmente, o método de manejo mais eficiente é o tratamento químico com fungicidas que possuem propriedades protetoras e cicatrizantes. No entanto, a dificuldade do diagnóstico precoce dos sintomas pode ser facilmente confundida com sintomas de outras doenças como mancha parda e o crestamento bacteriano, e técnicas de aplicação inadequadas muitas vezes reduzem significativamente a eficácia desse tipo de controle gerando resistência por parte do fitopatógeno (GODOY et al., 2010).

Ao longo dos anos, as práticas de gerenciamento de doenças utilizando controle químico melhoraram à medida que as tecnologias surgiram e são usadas em sistemas de fabricação para ajudar os agricultores a tomar decisões. Inúmeros fungicidas já podem ser encontrados registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e atuando no combate à ferrugem asiática, dentre estes fungicidas os principais utilizados para esta doença são dos grupos: triazóis, estrobilurinas e carboxamidas (SILVA & NETO, 2019). De acordo com Godoy et al. (2010) por mais eficazes que sejam os produtos utilizados no controle de doenças da soja, existem alguns pontos importantes que podem comprometer os resultados, como o momento ideal para iniciar a aplicação.

O gerenciamento integrado de FAS é baseado nos controles cultural, genético e químico. Por ser um fungo biotrófico, as estratégias de manejo cultural incluem a eliminação de plantas de soja espontâneas e hospedeiros secundários, como kudzu (*Pueraria montana* var. *Lobata* Willd.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizando o vazio sanitário e finalizar a safra antes da semeadura das variedades com ciclo de maturação precoce (EMBRAPA SOJA, 2013).

O controle genético é baseado na semeadura de cultivares que utilizam o gene de resistência *Inox*<sup>®</sup>, o que garante resistência vertical ao fungo *P. pachyrhizi*, eliminando a necessidade de pulverizar um ou dois fungicidas por rotação de cultura. E, por fim, o manejo químico baseado na aplicação de fungicidas nos órgãos aéreos das plantas de soja. De todas as estratégias de gerenciamento de FAS mencionadas, o gerenciamento de produtos químicos é

de suma importância para manter a gravidade da doença abaixo do nível de dano econômico (KLOSOWSKI et al., 2016) e, portanto, o manejo mais utilizado desde a detecção da doença no Brasil (YORINORI et al., 2005).

## **5. MANEJO DA DOENÇA**

A utilização de manejo integrado para o controle da ferrugem asiática da soja consiste na adoção de várias práticas em conjunto como: controle químico, uso de cultivares precoces, uma semeadura na época certa, adotar o vazio sanitário, o monitoramento e identificação de focos da doença no início da infecção e utilização de cultivares resistentes (EMBRAPA, 2018).

### **5.1. Controle Químico**

A quimioprofilaxia continua a ser a medida de controle mais utilizada pelos produtores em todo o mundo, sintéticos ou de origem natural, para controlar e proteger as plantas da ferrugem asiática (BIGOLIN, 2015). Segundo Balardin (2002), os critérios para aplicação de fungicidas devem ser estabelecidos levando-se em consideração o surgimento da doença na área, ou mesmo no processo de prevenção da ferrugem e não em relação ao estado fenológico do cultivar.

No Brasil, a aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem asiática está em produtos formulados a partir dos grupos químicos triazol (IDM), estrobilurina (IQe) e uma mistura de fungicidas formada por esses dois grupos. Iniciou com a safra 2002/2003 (REIS et al., 2014). Atualmente, dos 48 fungicidas de controle da FAS registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), 62,5% contém MDI, 62,5% é IQe e 19,0% é uma mistura de carboxamida (ISDH) em mistura com vários ingredientes ativos de diversos grupos químicos. Grupo (AGROFIT, 2018). Os fungicidas usados para controlar a ferrugem são os denominados IQo, "estrobilurina" (inibidor da quinona oxidase), ISDH, "carboxamida" (inibidor da succinato desidrogenase), IDM, "triazol e morfolina" (inibidor da desmetilação), pertence a quatro grupos químicos diferentes (GODOY et al., 2016).

A produção brasileira enfrenta problemas com o uso de fungicidas, incluindo o uso de produtos contendo moléculas isoladas como o tebuconazol, que já se mostrou insensível ao patógeno. Uma alternativa é a associação de princípios ativos que reduzem o risco de resistência futura do patógeno a estes. O estudo colaborativo da Embrapa (GODOY et al., 2016) mostra produtos com diferentes mecanismos de ação. Na mistura tripla de IQo, MDI, ISDH,

piraclostrobina + epoxiconazol + flaxaproxido, bixafen + protioconazol + trifloxistrobina, em comparação com a mistura tripla de IQo, MDI, ditiocarbamato, foi observada uma variação de 69-71% de controle da ferrugem asiática. O aumento da dose da mistura de azoxistrobina + tebuconazol + mancozeb reduziu significativamente a severidade da ferrugem, com controles variando de 55 a 64%. A menor severidade dessas misturas foi observada com picoxistrobina + tebuconazol + mancozebe (SCHMITZ et al., 2014; KLOSOWSKI et al., 2016).

De acordo com Juliatti et al. (2015) A mistura tripla pode realizar uma ampla gama de ações não apenas contra a ferrugem, mas também contra uma ampla gama de doenças e para prevenir a resistência associada a fungicidas sistêmicos.

O fungicida do grupo químico triazólico desenvolvido na década de 1980 foi o primeiro inibidor da desmetilação de esteróis (SDI) (RUSSELL, 2005). IDM inibe a biossíntese de ergosterol por ligação à enzima 14 $\alpha$ -desmetilase (gene CYP51) por ação específica do local e remoção do grupo metil C14 de 24-metileno dihidrolanasterol (XAVIER et al., 2015). Na ausência de ergosterol, a permeabilidade da membrana celular do fungo é prejudicada e o elemento intracelular é perdido. São fungicidas com efeitos cicatrizantes e erradicadores (REIS; REIS; CARMONA, 2010, p.59). Portanto, o aparecimento de mutações gênicas ou superexpressões do gene CYP51, que é caracterizado pela proliferação de proteínas, resulta em suscetibilidade reduzida ao MDI. Além do triazol, os fungicidas do grupo químico são inibidores da desmetilação: piperazina, piridina, pirimidina, imidazol, triazolintiona (KLAPPACH, 2017).

O mecanismo de ação dos grupos químicos da estrobilurina que atuam na cadeia de elétrons do citocromo b (gene CYTB) no complexo III é produzido pela inibição da quinona mitocondrial externa (IQe). Essa inibição bloqueia a transferência de elétrons do citocromo b para o citocromo c1 e paralisa a produção de ATP (GISI; SIEROTZKI, 2008; FERNÁNDEZ-ORTUÑO Oetal., 2010). A estrobilurina é classificada como um grupo de alto risco de desenvolver resistência porque é o único grupo de produtos químicos que exhibe efeitos específicos do local no sítio Qe (FERNÁNDEZ-ORTUÑO Oetal., 2010).

O grupo carboxamida (ISDH), desenvolvido em 1961, atua no complexo mitocondrial da cadeia transportadora de elétrons II (gene SDH) e altera a respiração ao inibir a oxidação da succinato desidrogenase. Devido à estreita faixa de controle no momento da liberação, este grupo foi utilizado pela primeira vez no tratamento de sementes para controle de basidiomicetos (SIEROTZKI; SCALLIET, 2013). Somente em 2003 foi lançada a primeira carboxamida para aplicação em órgãos aéreos de plantas (AVENOT; MICHAILIDES, 2007). Desde então, na última década, surgiram no mercado diversos fungicidas ISDH pertencentes a diferentes grupos

químicos. Eles são fenil-benzamida, feniltiofano amida, piridinil-etil-benzamida, furano caboxamida, N-metoxi-pirazol carboxamida, pirazol carboxamida, oxatin-carboxamida, tiazol carboxamida e piridina carboxamida (KLAPPACH, 2017).

Os controles realizados por fungicidas sítio-específicos como ISDH, IDM e IQe têm maior impacto no desenvolvimento de resistência a fungos fitopatogênicos. Nesse contexto, a aplicação de fungicidas sítio-específico misturados com fungicidas de outros grupos químicos constitui uma estratégia básica no manejo da resistência (SIEROTZKI; SCALLIET, 2013). Além disso, é importante que as recomendações quanto ao uso de fungicidas sigam as orientações adequadas em termos de dosagem, eficácia do produto, número e intervalo de aplicações sazonais para evitar o desenvolvimento de resistência.

A aplicação contínua de fungicidas com um único princípio ativo promove pressão seletiva e permite que cepas resistentes dominem a população de patógenos (BIGOLIN, 2015). Parreira et al (2009) afirmam que, em geral, para evitar a resistência dos fungos aos fungicidas, devem ser adotadas as seguintes estratégias de manejo da doença: Utilizar sempre as doses do produto recomendadas pelo fabricante Limitar o número de tratamentos aplicados a cada safra, no comportamento de aplicação a o produto é misturado com um ou mais ingredientes ativos de diferentes maneiras, somente quando estritamente necessário. O cenário atual exige que essas ações relacionadas ao manejo e à prática estejam integradas ao manejo da doença (BIGOLIN, 2015).

## **5.2. Controle Cultural**

O controle da FAS exige um conjunto de ações integradas num sistema que vise não somente controlar a doença, mas também garantir a redução do inóculo na área, garantindo assim uma menor pressão de doenças para próximas safras. Essas ações incluem, o respeito ao vazão sanitário, utilização de variedades mais precoces semeadas de preferência no início da data recomendada, adensamento de plantio que permita a chegada do defensivo até as folhas inferiores e ao interior do dossel, erradicação das plantas guaxas e ou hospedeiras, e seguir todas as instruções técnicas para a correta aplicação dos mesmos. (FUNDAÇÃO MT,2009)

O manejo adequado é uma série de operações realizadas com o objetivo de reduzir a fonte de inoculação e proporcionar condições favoráveis para a planta. A semeadura tardia ou de longo prazo é afetada pelo crescimento do fungo na primeira planta (ALVES, 2016), pois a época da semeadura é um dos fatores que determinam a severidade da ferrugem na Ásia.

O controle de doenças também deve estar ao alcance dos produtores, a fim de minimizar os danos às lavouras e evitar danos ao meio ambiente, sendo que os objetivos de eficiência e sustentabilidade no manejo de patógenos devem ser alcançados. Outra recomendação importante é o controle de ervas daninhas, que, segundo Hartman e Sinclair (1999), observaram que aproximadamente 61 hospedeiros podem carregar e multiplicar os patógenos. Além disso, de acordo com seu estudo, 34 espécies de leguminosas são naturalmente infectadas em estudos realizados em outros países. Essas plantas hospedeiras, incluindo a presença de plantas voluntárias pós-colheita de soja e outras ervas daninhas como o "beijo-de-boi" (*Desmodium purpureum*), comuns em toda a região agrícola brasileira, são de grande importância quando o assunto é a FAZ, pois estas atuam como multiplicador de inóculo entre culturas (ALVES, 2016).

No final da safra 2004/05, em reunião do Consórcio Nacional de Antiferrugem (CAF), propôs-se elaborar instruções normativas e estabelecer data e horário para evitar o plantio de soja na baixa temporada nas mais diversas áreas de produção. No entanto, alguns produtores não atendem as recomendações. Alguns estados possuem vazios sanitários, ou seja, controles legais que consistem em um período de 60 a 90 dias durante os quais as mudas vivas de soja não podem ser plantadas ou mantidas no campo. No Brasil, 11 estados e territórios federais adotaram essa medida instituída por regulamento (EMBRAPA, 2021).

Um fator interessante nessa doença é que o fungo causador da ferrugem asiática na soja, tem uma relação diferente com o hospedeiro patogênico, pois existem várias espécies de plantas hospedeiras de *P. pachyrhizi*, todas pertencentes à família das leguminosas, aqueles que estão naturalmente infectados ou que podem ser inoculados em condições controladas (ONO et al., 1992; SLAMINKO et al., 2008). Portanto, o manejo dessa doença significa a integração de medidas de cultivo, resistência genética e o uso de fungicidas quando a doença afeta as plantações. A escolha de variedades resistentes ainda é limitada a alguns genes de resistência importantes. Os fungicidas específicos do local perderam sua eficácia devido à resistência do fungo. A integração de medidas de controle é essencial para evitar perdas de produtividade, mas a diversidade do fungo ameaça a estabilidade da produção agrícola (MCGRATH, 2004).

### **5.3. Controle genético**

A forma de controle que se mostra mais interessante do ponto de vista econômico é através do controle genético, que se baseia na inserção e ou seleção de genes de resistência em variedades de alto teto produtivo, para que sejam consideradas resistentes estas plantas devem

promover a redução no número e tamanho das lesões, gerar uma redução na taxa de esporulação, e ou estenderem o período de latência do fungo (YAMANAKA et al., 2013).

O desenvolvimento de genótipos resistentes a FAS que carregam os genes que compõem a resistência vertical tem sido um importante tópico de pesquisa. A dificuldade em identificar variedades resistentes se deve ao fato de que esse patógeno possui diversas variedades com múltiplos alelos patogênicos (MARTINS et al., 2014; MELO et al., 2015).

Basicamente, resistência significa uma quantidade reduzida de estrutura patogênica no tecido hospedeiro em comparação com o genótipo suscetível (PILET-NAYEL et al., 2017). A resistência da soja a *P. pachyrhizi* pode ser qualitativa ou quantitativa. Primeiro, há a presença de um gene potente (resistência ao gene Rpp-P.pachyrhizi) no qual a proteína codificada interage com a proteína efetora do patógeno para causar uma reação de hipersensibilidade (lesão RB). Nesse tipo de resposta, o fenótipo medido segue uma distribuição discreta. A tolerância quantitativa, por outro lado, significa que o fenótipo está continuamente distribuído entre suscetibilidade e tolerância (VALE et al., 2001; PILET-NAYEL et al., 2017). Nesse caso, alguns genes menos eficazes são responsáveis pelo fenótipo observado. Este tipo de resistência está presente em vários níveis em cultivares e em muitos patógenos importantes que os atacam (VALE et al., 2001) e acredita-se que seja mais durável do que aqueles conferidos pelo gene R. (PILET-NAYEL et al., 2017).

O controle genético tem sido uma ferramenta eficiente na mitigação de algumas doenças como a mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) e o cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. meridionalis). No entanto com a FAS o mesmo não é possível, hoje conhecemos em torno de seis loci/genes para resistência qualitativa ao fungo *P.pachyrhizi*, que são Rpp1, Rpp1b, Rpp2, Rpp3, Rpp4, Rpp5 e Rpp6, destes apenas o Rpp2 e Rpp4 não tiveram suas resistências quebradas (YAMANAKA et al., 2013). Devido à grande variabilidade patotípica do fungo aliada a dificuldade de identificação e quantificação dos genes de resistência, a criação e manutenção da resistência vertical se torna um grande desafio, visto que o fungo possui grande agressividade e mutabilidade.

Como resultado de propriedades quantitativas, específicas e facilmente herdadas, a resistência permite que os patógenos infectem o hospedeiro, colonizem e se multipliquem. No entanto, essa planta se assemelha a um hospedeiro saudável e suporta doenças sem comprometer significativamente a produtividade e a qualidade (MELO et al., 2015). Resumindo, uma cultivar tolerante tem sintomas semelhantes aos do cultivar suscetível, mas quando exposto, tem melhor estabilidade de produção contra infecção pelo patógeno. Portanto, esse cultivar pode ser usado como recurso para reduzir o número de aplicações necessárias,

reduzindo a dependência do uso de fungicidas e pesticidas, conseqüentemente os custos de produção (MELO et al., 2015).

O uso de genes de resistência em programas de melhoramento comercial tem sido modesto. No Brasil, pelo menos duas empresas estão desenvolvendo cultivares comerciais, algumas delas portadoras de genes de resistência. Variedades resistentes lançadas pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) são identificadas pela tecnologia Shield® e variedades resistentes desenvolvidas pela TMG (Tropical Melhoramento e Genética) são identificadas pela tecnologia Inox®.

Com relação à resistência quantitativa à ferrugem, vários QTLs foram identificados que explicam uma parte importante da dispersão das características de severidade da doença em copas de genótipos de soja. Harris et al. (2015) identificaram quatro QTLs em diferentes cromossomos que representam entre 5,2 e 17,3% das mutações fenotípicas nesta característica. Os autores sugerem que os QTLs mais eficazes no grupo de ligação Gm15 são bons candidatos para seleção assistida por marcador. Nesta mesma região do genoma, dois QTLs foram relatados para conferir resistência ao míldio [*Sclerotinia sclerotiorum*] (ARAHANA et al., 2001) e podridão da raiz [*Phytophthora soybean*] (WU et al., 2011), sugerindo um mecanismo de defesa comum para vários patógenos. A resistência quantitativa à ferrugem na soja também foi estudada em outras publicações (MILES et al., 2011; PAUL et al., 2011). O uso de tolerância parcial na agricultura de soja pode ser uma importante estratégia de manejo de longo prazo, pois não é uma variedade específica (HARRIS et al., 2015).

Devido a esses fatores a utilização da técnica de manejo integrado para combate a ferrugem asiática é essencial para que uma série de ações sejam eficazes na redução da gravidade da doença. Compreender e escolher práticas agrícolas adequadas para limitar e prevenir as perdas por fungos e outras doenças do solo é essencial para o manejo sustentável dos sistemas de produção (ABAWI & WIDMER, 2000). Portanto, práticas e sistemas de manejo que promovam a recuperação dos componentes biológicos e físicos do solo são cada vez mais valorizados, pois o aumento da diversidade da biota do solo reduz os problemas e danos causados pelos fitopatógenos.

#### **5.4. Controle genético cenário atual**

Os programas de melhoramento visam desenvolver novas variedades e contribuir para o desafio de aumentar a produção global de alimentos. No entanto, novos materiais se esforçam para minimizar os efeitos do aquecimento global através do desenvolvimento de variedades



adaptadas a estresses abióticos como estresses hídricos e biológicos para minimizar o uso de agrotóxicos (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011).

O uso frequente de um pequeno número de genótipos no processo de melhoramento da soja brasileira é um problema que culminou na baixa diversidade genética observada em 77 genótipos de soja do Programa de Melhoramento Vegetal da Universidade Federal Lavras. Dada a vulnerabilidade da agricultura às mudanças climáticas, estamos preocupados com a baixa diversidade de recursos genéticos. Dada a crescente demanda por cultivares transgênicos e precoces no Brasil, as preocupações com a diversidade genética exigem esforços para enriquecimento do *pool* genético da cultura da soja (GWINNER et al., 2017).

Os estudos sobre a identificação da resistência de vários genótipos de soja à ferrugem asiática geralmente são baseados no tipo e cor da lesão, severidade geralmente avaliada em escala e quantificação do número de lesões (MILES et al., 2011; DE LÚCIA et al., 2008). A cor da lesão é provavelmente o parâmetro mais comum para registrar a resistência à esta doença, pois é observável a olho nu. Portanto, a escolha da variável de seleção de força apropriada deve ser baseada na conveniência e confiabilidade em todas as configurações. A melhor estratégia é usar o manejo integrado (CHILDS et al., 2018).

## **5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a realização deste trabalho podemos concluir que a doença causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* é de difícil controle principalmente na cultura da soja que é de grande importância econômica e apresenta apenas algumas cultivares resistentes ao mesmo, sendo assim deve-se adotar o manejo integrado para se evitar perdas por infestação da ferrugem asiática, sendo os mais recomendados o controle químico, manejo cultural e o controle genético.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGROFIT, 2022. Consulta de Produtos Formulados [WWW Document]. MAPA. URL [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons) (acessado 04.2.22).

ALMEIDA, A.M.R., Ferreira, L.P., Yorini, J.T., Silva, J.F.V., Henning, A.A., Godoy, C.V., Costamilan, L.M., Meyer, M.C., 2011. Doenças da Soja, in: Kimati, H., Amorin, L., Rezende, J.A.M., Bergamin Filho, A., Camargo, L.E.A. (Eds.), Manual de Fitopatologia. Agnômica Ceres, 570–588, 2011.

ALVES, V. M. Fungicidas Protetores No Manejo Da Ferrugem Da Soja, Processos Fisiológicos E Produtividade Da Cultura. **Uberlândia Minas Gerais**, 2016.

AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. Manual de Fitopatologia. 4 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, SP. 2011. 704 p.

ARAHANA, V.S., G.L. Graef, J.E. Specht, J.R. Steadman e K.M. Eskridge. 2001. Identification of QTLs for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. *Crop Science* 41(1): 180–188. doi: 10.2135/cropsci2001.411180x.

ARAUJO, M. M., VELLO, N. A. Characterization of soybean genotypes for Asian soybean rust reaction, *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, v.10, n.3, p. 197-203, 2010.

AVENOT, H.; MICHAILIDES, T. J. Resistance to boscalid fungicide in *Alternaria alternata* isolates from pistachio in California. **Plant Disease**, v. 91, n. 10, p. 1345- 1350, 2007.

BALARDIN, R.S. Doenças da soja. Santa Maria, 2002. 107 p.

BIGOLIN, H. L. EFICIÊNCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*). **Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Ijuí – RS 2015.

BLUM, M. M. C. **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2009. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

CARVALHO JUNIOR, A.A. de; FIGUEIREDO, M.B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v.26, p. 197-200, 2000.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. Produtos e informações. Conheça a ferrugem. Custo ferrugem asiática da soja. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net/#!/conteudos/view/5>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; YORINORI, J. P. Perda de rendimento em grãos de soja causada pela ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 100, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Sistemas de Produção, 16, 2013.

CRUZ, M. F. A.; SILVA, L. F.; RODRIGUES, F. A.; ARAUJO, J. M.; BARROS, E. G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 47, n. 1, p. 142–145, 2012.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja em números (safra 2015/2016). **Embrapa Soja**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 19/08/21

EMBRAPA. Tabela de custos da ferrugem asiática da soja. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/doenca.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

FAOSTAT. Data. **Crops and livestock products**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/beta/en/?#data/TP>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

FERNÁNDEZ-ORTUÑO, D.; TORES, J. A.; VICENTE, A.; PÉREZ-GARCÍA, A. The QoI fungicides, the rise and fall of a successful class of agricultural fungicides. In: CARISSE, O. (Org.). **Fungicides**. Intechopen, 2010. p. 203-220.

FREIRE, M., OLIVEIRA, L., 2008. Evolutionary history of *Phakopsora pachyrhizi* (the Asian soybean rust) in Brazil based on nucleotide sequences of the internal transcribed spacer region of the nuclear ribosomal DNA. *Genet. Mol. Biol.* 31, 920–931.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, p. 29-39, 201.

GISI, U.; SIEROTZKI, H. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. **Plant Pathology**, v. 122, p. 157-167, 2008.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P. da; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; VOLF, M. R.; DEBORTOLI, M. P.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. (Circular Técnica 119).

GODOY, C.V.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.; CAMPOS, H.; FORCELINI, C.A; et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/2015: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 6p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 111).

Godoy, C.V., Seixas, C.D., Santos, S.M., Franciscimar, C.M., Costamilan, M. c. ., 2016. Asian soybean rust in Brazil: Past, present, and future. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 51, 407–421.

GODOY, C.; UTIAMADA, C; SILVA, L.H.; SIQUERI, F. Ensaios de fungicida realizados na safra 2009/10 para avaliar a ação de misturas triazóis e estrobilurinas frente à ferrugem asiática da soja. *Revista Cultivar Grandes Culturas*, v. 34, p. 55-56. 2010.

GOELLNER, K., LOEHRER, M., LANGENBACH, C., CONRATH, U., KOCH, E., SCHAFFRATH, U., 2010. *Phakopsora pachyrhizi* , the causal agent of Asian soybean rust. *Mol. Plant Pathol.* 11, 169–177.

GORGEN, C.A.; HIKISHIMA, M.; NETO, A.N.S.; CARNEIRO, L.C.; JUNIOR, M.L. Mofobranco (*Sclerotinia sclerotiorum*). In: ALMEIDA, A.M.R.; SEIXAS, C.D.S. Soja: Doenças Radiculares e de Hastes e Inter-relações com o Manejo do Solo e da Cultura. 1 ed. Londrina:

Embrapa Soja, p.73-104, 2010

HARRIS, D.K., H. Abdel-Haleem, J.W. Buck, D.V. Phillips, Z. Li e H.R. Boerma. 2015. Soybean quantitative trait loci conditioning soybean rust-induced canopy damage. *Crop Science* 55(6): 2589–2597. doi: 10.2135/cropsci2015.01.0058.

HARTMAN, G. L; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C. (Ed.) *Compendium of soybean diseases*. 4 ed. St. Paul.: American **Phytopathological Society**, 1999.

HARTMAN, G.L., Hill, C.B., Twizeyimana, M., Miles, M.R., Bandyopadhyay, R., 2011. Interaction of soybean and *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. *CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 6, 13.

HARTL, D.L., CLARK, A.G., 2010. *Principles of Population Genetics*, 4o. ed. Sinauer Associates. 660p. 2010.

HIRAKURI, M. H. **Avaliação econômica da produção de soja para a safra 2014/15**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. (Circular Técnica, 107).

IBGE, 2022. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32722-prognostico-para-safra-2022-recua-mas-mantem-patamar-recorde-com-277-1-milhoes-de-toneladas#:~:text=O%20volume%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20da,produzidos%20no%20pa%C3%ADs%20em%202022>. Acessado: 04 fev. 2022.

JULIATTI, F.C.; JULIATTI, B.C.M.; FIGUEIRÓ, A. de A. Resistência de fungos aos fungicidas na cultura da soja e do milho: evolução do problema no Brasil, aspectos moleculares e estratégias para o seu manejo correto e seguro. In: Núcleo de Estudos em Fitopatologia (NEFIT). **Avanços da fitopatologia no agronegócio**. Lavras: NEFIT, 2015. 204p.

KLAPPACH, K. **Informação sobre carboxamidas em ferrugem da soja**. Frac International, SDHI – Working group. Informativo 01/2017, 2017.

KLOSOWSKI, A. C; DE MIO, L. L. M.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Manager Science**. v. 72, n. 6, p. 1211-1215, 2016.

LOEHRER, M., VOGEL, A., HUETTEL, B., REINHARDT, R., BENES, V., DUPLESSIS, S., USADEL, B., Schaffrath, U., 2014. On the current status of *Phakopsora pachyrhizi* genome sequencing. *Front. Plant Sci.* 5, 377.

MARTINS, J. A. S.; JULIATTI, F. C. Controle genético da resistência parcial á ferrugem asiática da soja. *Acta Scientiarum - Agronomy*, Maringá, v. 36, n. 1, p. 11–17, 2014.

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

MELO, C. L. P. DE; ROESE, A. D.; GOULART, A. C. P. Tolerância de genótipos de soja à 448 ferrugem-asiática. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1353–1360, 2015.

MCGRATH, M. T. What are fungicides? The Plant Health Instructor, 2004. DOI: 10.1094/PHII-2004-0825-01.

MILES, M.R., M.R. Bonde, S.E. Nester, D.K. Berner, R.D. Frederick e G.L. Hartman. 2011. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. *Plant Disease* 95(5): 577– 581. doi: 10.1094/PDIS-06-10-0450.

MOURA, B.; DEUNER, C. C.; VISINTIN, G. L.; BOLLER, W. Usage of a canopy opener in fungicide applications to improve Asian soybean rust control. **Transactions of the ASABE**, v. 60, n. 6. p. 1819-1925, 2017.

MOURA, B. **Deposição de fungicida em cultivares de soja com diferentes hábitos de crescimento, controle e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

OLIVERIA, A.C.B.; GODOY, C.V.; MARTINS, M.C. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à ferrugem asiática no oeste da Bahia. *Fitopatologia brasileira*, Brasília, v.30, p.658-662, 2015.

ONO, Y.; BURITICÁ, P.; HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. *Mycological Research*, v. 96, n. 10, p. 825-850, 1992

PARREIRA, D. F.; NEVES, W. S.; ZAMBOLIM, L. Resistência de fungos a fungicidas inibidores de quinona. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 3, n. 2, p. 34, 2009.

PAUL, C., C.B. Hill e G.L. Hartman. 2011. Comparisons of visual rust assessments and DNA levels of *Phakopsora pachyrhizi* in soybean genotypes varying in rust resistance. *Plant Disease* 95(8): 1007–1012. doi: 10.1094/PDIS-10-10-0729.

PILET-NAYEL, M.-L., B. Moury, V. Caffier, J. Montarry, M.-C. Kerlan, S. Fournet, C.-E. Durel e R. Delourme. 2017. Quantitative resistance to plant pathogens in pyramiding strategies for durable crop protection. *Frontiers in Plant Science* 8(1838). doi: 10.3389/fpls.2017.01838.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; MICHEL, C. Ocorrência de epidemia de ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 198-199, 2002.

REIS, E. M; BRESOLIN, A. C. R.; CARMONA, M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. 1 ed. Passo Fundo: UPF, 2006.

REIS, E. M; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 6. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2010.

REIS, E. M; SILVA, L. H. C. P.; SIQUEIRA, F. V.; SILVA, J. R. C. Redução de sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégias para recuperar a eficiência de controle. 1 ed. Passo Fundo: Berthier, 2014.

RUSSEL, P. E. **Sensitivity baseline in fungicide resistance research and management**. FRAC. Monograph, Cambridge, 2004.

SALVADORI, J.R.; BACALTCHUK, B. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018. reunião de Pesquisa da Soja da região Sul, 41,:2016, Passo Fundo, RS, n. 1, p.55-112, 2016.

SANTOS, O. S. **A cultura da soja**. 1 ed. Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Editora Globo, 1988.

SIEROTZKI, H.; SCALLIET, G. A. Review of current knowledge of resistance aspects for the next-generation succinate dehydrogenase inhibitor fungicides. **Phytopathology**, v. 103, n. 9, p. 880-887, 2013.

SILVA, L. L.; NETO, N. Análise de eficiência de diferentes fungicidas no controle do fungo *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja. *Ciência & Tecnologia*, Cruz Alta v. 3, n. 1, p. 44- 51, 2019.

SLAMINKO, T. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; BONDE, M. R.; HARTMAN, G. L. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. *Plant Disease*, v. 92, n. 5, p. 767-771, 2008.

SUMIDA, W. H. Detecção da ferrugem asiática da soja por meio de imagens capturadas por drones. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Estadual de Londrina, 2018, 43 p.

VALE, F.X.R.D., J.E. Parlevliet e L. Zambolim. 2001. Concepts in plant disease resistance *Fitopatologia Brasileira* 26(3): 577–589. doi: 10.1590/S0100-41582001000300001.

VIDOR, C.; FONTOURA, J. U. G.; MACEDO; J. NAPOLEÃO, A. B.; MIN, T Tecnologias de produção de soja na região central do Brasil 2004. In: **A soja no Brasil**. Embrapa soja: Sistema de produção n. 1, 2004.

WAGGONER, P. E.; BERGER, R. D. Defoliation, disease and growth. *Phytopathology*, v.77, p.393-398, 1987.

WRATHER, J. a., Anderson, T.R., Arsyad, D.M., Gai, J., Ploper, L.D., Porta-Puglia, a., Ram, H.H., Yorinori, J.T., 1997. Soybean Disease Loss Estimates for the Top 10 Soybean Producing Countries in 1994. *Plant Dis.* 81, 107–110.

WIESE, M. V. *Compendium of wheat diseases*. 2 ed. Saint Paul (USA) Academic Press, 112p, 1998.

WU, X., B. Zhou, J. Zhao, N. Guo, B. Zhang, F. Yang, S. Chen, J. Gai e H. Xing. 2011. Identification of quantitative trait loci for partial resistance to *Phytophthora sojae* in soybean. *Plant Breeding* 130(2): 144–149. doi: 10.1111/j.1439-0523.2010.01799.x.

YAMANAKA, N. et al. Resistance to Asian soybean rust in soybean lines with the pyramided three *Rpp* genes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 13, 465 n. 1, p. 75–82, 2013.

YORINORI. J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.;

BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES-JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, n. 4, p. 675-677, 2005.

YORINORI, J. T.; YUYAMA, M. M.; SIQUERI, F. V. *Doenças da soja*. Boletim de Pesquisa de Soja 2010, vol.1, n.14. Mato Grosso: Fundação Mato Grosso, p. 218-274, 2010.

XAVIER, S. A.; KOGA, L. J.; BARROS, D. C. M.; CANTERI, M. G.; LOPES, I. O. N.; GODOY, C. V. Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 3, p. 191-196, 2015.

ZENG, W, et al. Use of *Coniothyrium minitans* and other microorganisms for reducing *Sclerotinia sclerotiorum*. *Biological Control*, v. 60, n. 2, p. 225–232, 2012.