



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOPATOLOGIA

**Manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com fungicidas sítio-específico associados a fungicidas multi-sítio**

**Vítor Augusto Carvalho Baldo**

**Brasília - DF**

**2020**

**Vítor Augusto Carvalho Baldo**

**Manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com fungicidas sítio-específico associados a fungicidas multi-sítio**

Dissertação apresentada à  
Universidade de Brasília como  
requisito parcial para a obtenção  
do título de Mestre em  
Fitopatologia pelo Programa de  
Pós Graduação em Fitopatologia

**Orientador**

Prof. Luiz Eduardo Bassay Blum, PhD

**BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL  
BRASIL  
2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Baldo, Vítor Augusto Carvalho.

Manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com fungicidas sítio-específico associados a fungicidas multi-sítio

Brasília, 2020.

(76)p.il.

Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, Universidade de Brasília, Brasília.

1. *Phakopsora pachyrhizi* - controle de doenças em soja.

I. Universidade de Brasília. PPG/FIT.

II. Manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com fungicidas sítio-específico associados a fungicidas multi-sítio.

*Deslumbre seus jardins pelas flores, não pelas folhas caídas.*

*Desconhecido/Adaptado: Vitor Augusto*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pois permitiu seguir com minhas metas e sonhos.

Aos meus pais Nelson e Joice, irmã Luíza e falecido avô Agustinho, pela lealdade de sempre, formando o real sentido de uma família.

À Brasília, por ser essa cidade excepcional e rodeada de inúmeras possibilidades.

À Universidade de Brasília, por me proporcionar o estudo e realização do trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido através da bolsa.

Aos professores do Departamento de Fitopatologia da Universidade de Brasília, pelo conhecimento propagado.

Ao professor orientador Dr. Luiz Eduardo Bassay Blum, pela disponibilidade, dedicação e ensinamentos transmitidos, com ressalva a subárea “Controle de Doenças de Plantas”, uma das mais importantes da fitopatologia.

Ao coordenador-geral do Instituto Phytus, Dr. Nédio Rodrigo Tormen, pela disponibilização de tempo, conhecimento e estrutura da estação experimental para a realização dos ensaios.

A todos os colaboradores do Instituto Phytus, em especial a equipe da fitopatologia, pela pronta-entrega e acompanhamento na realização das tarefas diárias, concretizando com tal dissertação.

Por fim, a todos que contribuíram de forma positiva.

Trabalho realizado junto ao Departamento de Fitopatologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob orientação do professor Luiz Eduardo Bassay Blum, com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Instituto Phytus.

## **Manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com fungicidas sítio-específico associados a fungicidas multi-sítio**

**Vítor Augusto Carvalho Baldo**

DISSERTAÇÃO APROVADA em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_ por:

Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar

Examinador externo PPG-FAV (UnB)

Dra. Thaís Ribeiro Santiago

Examinadora interna PPG-FIT (UnB)

Ph.D. Luiz Eduardo Bassay Blum

Orientador/Presidente PPG-FIT (UnB)

Dr. Maurício Rossato

Examinador interno PPG-FIT (UnB) - suplente

BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL

BRASIL

**2020**

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMO GERAL .....	v
GENERAL ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Geral .....	4
2.2 Específicos.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
3.1. Origem, importância econômica e fatores de produtividade da soja.....	5
3.2. <i>Phakopsora pachyrhizi</i> .....	6
3.2.1. Importância.....	6
3.2.2. Etiologia.....	6
3.2.3 Epidemiologia .....	8
3.2.4. Sintomatologia .....	10
3.2.5 Controle.....	12
3.2.5.1 Controle cultural.....	12
3.2.5.2 Controle genético .....	12
3.2.5.3 Controle químico.....	16
3.2.6 Fungicidas para controle da ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ).....	17
3.2.7 Redução da sensibilidade de <i>P. pachyrhizi</i> a fungicidas .....	22
4. MÉTODOS E MATERIAIS .....	24
4.1 Caracterização do local.....	24
4.2 Semeadura e manejo da soja.....	24
4.3 Condições ambientais durante a condução do experimento .....	25
4.4 Aplicação dos tratamentos fungicidas .....	27
4.5 Variáveis mensuradas .....	27
4.5.1 Severidade da ferrugem asiática .....	27
4.5.2 Produtividade e massa de mil grãos (MMG) .....	28
4.6 Delineamento experimental e tratamentos .....	29

4.7 Análise de dados.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5.1 Área abaixo da curva do progresso da ferrugem asiática (AACPD).....	32
5.2 Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) .....	38
5.3 Massa de mil grãos (MMG).....	44
6. CONCLUSÕES.....	50
7. LITERATURA CITADA.....	51
8. ANEXOS.....	61
8.1 Características agrônômicas da cultivar (Brasmax Bônus IPRO®).....	61
8.2 Reação da cultivar (Brasmax Bônus IPRO®) a patógenos .....	61
8.3 Descrição da escala fenológica BBCH.....	62
8.4 Datas, estádios fenológicos da cultura, e condições ambientais das aplicações do ensaio “Eficiência dos fungicidas multi-sítio” .....	63
8.5 Datas, estádios fenológicos da cultura, e condições ambientais das aplicações do ensaio “Aplicação associada ou sequencial dos fungicidas multi-sítio com o fungicida sítio específico” .....	63
8.6 Datas, estádios fenológicos da cultura, e condições ambientais das aplicações do ensaio “Estádio fenológico dos fungicidas de ação multi-sítio. ....	64
8.7 Escala diagramática de severidade da ferrugem asiática.....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Acessos de soja com os respectivos genes de resistência e cromossomos de localização.....	14
<b>Tabela 2.</b> Dados climatológicos no local da realização dos experimentos .....	26
<b>Tabela 3.</b> Fungicidas utilizados (nomes comerciais, princípios ativos, concentrações de ingrediente ativo e doses).....	29
<b>Tabela 4.</b> Tratamentos do ensaio “Eficiência” .....	29
<b>Tabela 5.</b> Tratamentos do ensaio “Aplicação associada ou sequencial” .....	30
<b>Tabela 6.</b> Tratamentos do ensaio “Estádio fenológico” .....	31
<b>Tabela 7.</b> Relações entre a área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD) e a produtividade da soja.....	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Télios e teliósporos de <i>Phakopsora meibomiae</i> e <i>P. pachyrhizi</i> .....	7
<b>Figura 2.</b> Processo infeccioso de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> .....	10
<b>Figura 3.</b> Sintomas da ferrugem asiática .....	11
<b>Figura 4.</b> Desfolha em parcela testemunha contrastando a parcelas pulverizadas com fungicidas. ....	12
<b>Figura 5.</b> Lesões RB-Redish Brown e TAN.....	16
<b>Figura 6.</b> Arranjos moleculares dos fungicidas empregados .....	21
<b>Figura 7.</b> Decréscimo da eficiência de triazóis, estrobilurinas e carboxamidas,.....	24
<b>Figura 8.</b> Diagrama (produtividade e massa de mil grãos - MMG). ....	28
<b>Figura 9.</b> Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD) (Ensaio: Eficiência); .....	34
<b>Figura 10.</b> Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD) (Ensaio: Aplicação associada ou sequencial) .....	35
<b>Figura 11.</b> Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD) (Ensaio: Estádio fenológico) .....	36
<b>Figura 12.</b> Produtividade da soja (Ensaio: Eficiência).....	40
<b>Figura 13.</b> Produtividade da soja (Ensaio: Aplicação associada ou sequencial).....	41
<b>Figura 14.</b> Produtividade da soja (Ensaio: Estádio fenológico).....	43
<b>Figura 15.</b> Massa de mil grãos (g). Ensaio: Eficiência. ....	45
<b>Figura 16.</b> Massa de mil grãos (g). Ensaio: Aplicação associada ou sequencial. ....	47
<b>Figura 17.</b> Massa de mil grãos (g). Ensaio: Estádio fenológico.....	49

## RESUMO GERAL

BALDO, Vítor Augusto Carvalho. **Manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com fungicidas sítio-específico associados a fungicidas multi-sítio**. 2020. (76) p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas do país. Um dos principais problemas da cultura é a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), a qual provoca perdas de produtividade entre 10 e 90%. Neste trabalho, objetivou-se analisar a incidência e controle da ferrugem asiática (FAS) em função da utilização de fungicidas de ação multi-sítio em associação com fungicida de ação sítio-específico. Para tal, foram instalados três ensaios em campo em 5/1/2019, na localidade de Planaltina (DF), considerando os seguintes aspectos: eficiência das associações de fungicidas específicos e multi-sítio; aplicação associada dos fungicidas específicos e multi-sítio ou sequencial (aplicação dos multi-sítio sete dias após o fungicida específico), e; estádios fenológicos das associações. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A área das parcelas foi de 18 m<sup>2</sup>, sendo a útil de 8 m<sup>2</sup>. A cultivar utilizada foi a Brasmax Bonus IPRO®, com ciclo semi-precoce (117 dias) e suscetível à doença. Os fungicidas utilizados foram: Fox Xpro® [Trifloxistrobina / Estrobilurina + Protiocanazol / Triazol + Bixafem / Carboxamida (150+175+125 g i.a. ha<sup>-1</sup>)], Versatilis® [Fenpropimorfe / Morfolina (750 g i.a. ha<sup>-1</sup>)], Difere® [Oxicloreto de cobre/Inorgânicos (588 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]; Cypress® [Difenoconazol / Triazol + Ciproconazol / Triazol (250+150 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]; Unizeb Gold® [Ditiocarbamato / Mancozebe (750 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]; Previnil® [Isoftalonitrila / Clorotalonil (720 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]. As variáveis mensuradas foram: severidade da doença, produtividade e massa de mil grãos (MMG). As associações empregadas reduziram a AACPD em relação ao fungicida específico utilizado isoladamente, proporcionando maior produtividade da soja. As associações com os fungicidas fenpropimorfe e difenoconazol/ciproconazol apresentaram as maiores eficiências de controle da doença. Quanto a associação de fungicidas, evidenciou-se que os tratamentos com aplicações sequenciais no intervalo de sete dias, mostraram maior controle da FAS. Quanto ao estágio fenológico, cada associação demonstrou especificidades nos estádios de aplicações, porém em praticamente todos os tratamentos, a primeira aplicação posicionada entre Vn (vegetativo - enésimo nó) e R1 (início de floração) obteve as maiores porcentagens de controle.

**Palavras chave:** *Glycine max*; controle químico; fungicida; manejo de resistência.

---

Orientador: Dr. Luiz Eduardo Bassay Blum (PhD.) - Universidade de Brasília

## GENERAL ABSTRACT

BALDO, Vitor Augusto Carvalho. **Management of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with site-specific fungicides associated with multi-site fungicides.** 2020. (76) p. Dissertation (Master in Phytopathology) - University of Brasilia, Brasília, DF.

Soybean (*Glycine max*) is currently the main Brazilian agricultural commodity. The Asian rust (*Phakopsora pachyrhizi*) is one of the main soybean problems, and might cause yield losses from 10 to 90%. The aim of this study was to evaluate the occurrence and control of Asian rust (FAS) using multi-site fungicides in association with site-specific-action fungicides. Therefore, three field trials were set in 1/5/2019, in Planaltina (DF), following the characteristics: efficiency of associated or isolated fungicide application, phenological positioning. The experiments were set as randomized blocks with four replications. The total area of the plot was 18 m<sup>2</sup>, being the useful area of 8 m<sup>2</sup>. The cultivar used was Brasmax Bonus IPRO®, with a semi-precocious cycle (117 days) and susceptible to the pathogen. The fungicides used with their respective leaflet doses were: Fox Xpro® [Trifloxystrobin / Strobilurin + Prothioconazole / Triazol + Bixafem / Carboxamide (150 + 175 + 125 g ai ha<sup>-1</sup>)], Versatilis® [Fenpropimorph / Morpholine (750 g ai ha<sup>-1</sup>)], Difere® [Copper / Inorganic Oxychloride (588 g ai ha<sup>-1</sup>)]; Cypress® [Diphenconazole / Triazole + Cyproconazole / Triazole (250 + 150 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]; Unizeb Gold® [Dithiocarbamate / Mancozebe (750 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]; Previnil® [Isophthalonitrile / Chlorotalonil (720 g i.a. ha<sup>-1</sup>)]. The variables measured were disease severity, yield and mass of one thousand grains (TGM). FAS was the main factor responsible for the yield variation on treatments, allowing the comparative viability of the trials. All fungicides employed reduced AACPD and provided a higher soybean yield. Fenpropimorph (morpholine) presented the best efficiency in disease control. Regarding the association of fungicides, it was evidenced that the treatments with sequential applications in the interval of 7 days, showed greater control of the FAS. Regarding the phenological positioning, each association showed specificities in the application stages, but in practically all treatments, the first application, positioned between Vn and R1 obtained the highest control percentages.

**Keywords:** *Glycine max*; chemical control; fungicide; resistance management.

Advisor: Luiz Eduardo Bassay Blum (Ph.D.) – Universidade de Brasília.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A expansão da sojicultura no Brasil ocorreu na década de 70, devido a quebras de safras mundiais, pela suspensão das exportações norte-americanas, bem como pela alternância de safras com o hemisfério norte (Burnquist et al., 1994). A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] possui notoriedade na agricultura brasileira e mundial, contendo ampla possibilidade de usos, com importante especificidade nutricional na alimentação humana e animal (Klaholdet et al., 2016). Atualmente o país está entre os três países com maior produção e exportação de soja, favorecendo o desenvolvimento da economia brasileira. A produção é liderada pelo estado do Mato Grosso, seguido pelo Paraná e Rio Grande do Sul (Conab, 2019).

A cultura é afetada por cerca de 50 doenças, em sua maioria causada por fungos. Entre tantas, a ferrugem asiática (FAS), causada por *Phakopsora pachyrhizi* (H. Sydow & Sydow) é considerada o principal problema sanitário da cultura no Brasil (Yorinori, 2007). No Brasil, a doença foi identificada pela primeira vez na safra 2000-2001, no Oeste do estado do Paraná (Yorinori et al., 2002) e a partir daí se disseminou rapidamente por todo território brasileiro.

A FAS causa desfolha precoce, impedindo o completo desenvolvimento das vagens, gerando perdas na produtividade e a qualidade dos grãos (Yang, 2016). Tal doença é severa e os sintomas iniciais são pequenas lesões foliares com coloração castanha a marrom-escura. Geralmente, na face abaxial foliar observa-se maior presença das uredínias, as quais posteriormente liberam os urediniósporos. O amarelecimento e queda prematura das folhas prejudica o enchimento dos grãos, reduzindo a qualidade e acarretando perdas de produtividade de 90%, limitando o potencial produtivo da soja (Silva & Neto, 2019).

As medidas para controle da FAS são variadas e complementares, e entre elas se encontram: semeadura na época recomendada; utilizar cultivares de ciclo precoce; aplicar de

fungicidas; utilizar cultivares resistentes quando disponíveis; eliminar plantas de soja voluntárias; vazio sanitário na entressafra com o uso de plantas não hospedeiras do patógeno (Yorinori, 2002; Goulart et al., 2011). O uso de fungicidas é a única tática altamente efetiva (Reis et al., 2017). Dentre os principais fungicidas recomendados para controle da doença, estão os grupos dos Inibidores da Desmetilação - IDM (triazóis), Inibidores da Quinona externa - IQe (estrobilurinas) e Inibidores da Succinato Desidrogenase - ISD (carboxamidas). O número limitado de diferentes mecanismos de ação específica de fungicidas disponíveis, associado a populações menos sensíveis de fungos já observadas no campo, dificultam a utilização de estratégias de manejo de resistência (Godoy, 2017).

Diante do cenário de resistência fúngica, uma das medidas para evitar a perda de eficiência de triazóis, estrobilurinas e carboxamidas é a associação com produtos protetores de ação multi-sítio. O objetivo é principalmente ampliar o espectro de controle do patógeno e proteger as moléculas com mecanismo de ação sítio-específico contra a resistência (Ballardin, 2017). A utilização de associações de fungicidas específicos com multi-sítio ocorre desde a safra 2013/14, onde foi empregado principalmente o mancozebe nas combinações. Porém, cada safra possui especificidades em relação a FAS, determinadas por fatores como: vazio sanitário; período de semeadura; extensão de área cultivada; quantidade de aplicações por ciclo da cultura; esporulação e variabilidade genética do patógeno. Portanto, a cada ano agrícola, novas estratégias são definidas para o controle químico da doença, como estádios fenológicos ideais dos fungicidas e interações entre princípios ativos recém-introduzidos. E dentre essas, no presente trabalho, são empregados princípios ativos recentes no referente patossistema, como as moléculas fenpropimorfe e bixafem, lançadas em 2017 e 2019, respectivamente.

Pressuposto das considerações, compreender a eficiência das associações entre fungicidas sítio-específico e multi-sítio, proporcionará maior tecnicidade nas aplicações,

contribuindo com maior poder assertivo de tomada de decisões para o controle da FAS.  
Contudo, podendo definir estratégias para o controle integrado da ferrugem asiática.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- ✓ Avaliar o controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com associações de fungicidas de ação sítio-específico e de ação multi-sítio.

### **2.2 Específicos**

- ✓ Avaliar a eficiência das associações dos fungicidas.
- ✓ Avaliar as aplicações em associação ou sequencial dos fungicidas.
- ✓ Avaliar o estágio fenológico das associações.
- ✓ Avaliar o efeito dos fungicidas sobre a produtividade da soja.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Origem, importância econômica e fatores de produtividade da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é cultivada mundialmente. Sua evolução ocorreu a por meio de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem, sendo domesticadas e melhoradas por cientistas chineses (Tecnologias, 2003). Apesar da tradicionalidade como grão sagrado e explorada intensamente na dieta alimentar oriental há cinco milênios, o ocidente ignorou o seu cultivo até meados do século 20, quando os Estados Unidos (EUA) iniciaram sua exploração comercial, a utilizando inicialmente como forrageira e adiante, como grão. Em 1940, no auge do cultivo como forrageira, foram cultivados dois milhões de hectares com tal finalidade. Na década de 70, a área cultivada para a produção de grãos cresceu, não apenas nos EUA, mas também na Argentina e Brasil. (Tecnologias, 2003).

O desenvolvimento da soja no Brasil iniciou-se no Estado da Bahia (BA) em 1882. O germoplasma proveniente dos EUA, não era adaptado às condições de baixa latitude da Bahia (12°S) e conseqüentemente não obteve sucesso na região. Em 1891, novos materiais foram testados para as condições do Estado de São Paulo (SP) (latitude = 23°S), obtendo relativo êxito na produção de feno e grãos. Em 1900, a cultura foi experimentada no Rio Grande do Sul (RS), o mais setentrional dos estados brasileiros (latitudes = 28°S a 34°S), onde as condições climáticas são semelhantes àquelas às do sul dos EUA (Tecnologias, 2003).

O sucesso da soja no Brasil é devido a vários fatores, dentre eles, os mais significantes são: ampla adaptação e alta carga produtiva da planta; dimensão territorial continental; condições ambientais favoráveis; programas nacionais de melhoramento genético, gerando aporte humano e tecnológico para a expansão da cultura em regiões tropicais de baixa latitude (Kiihl et al., 2003; Agnol et al. 2007). Na safra 2018/19, a cultura alcançou 35.877.800 ha de área cultivada, gerando uma produção de 115.072.500 toneladas (Conab, 2019).

O não alcance do teto produtivo ( $\sim 11 \text{ t ha}^{-1}$ ) é devido a variados fatores, porém os problemas fitossanitários constituem o principal. Dentre as doenças presentes, a ferrugem

asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) é a que vem provocando maiores níveis de danos à cultura, devido a sua rápida disseminação e virulência (Yorinori, 2002).

### **3.2. *Phakopsora pachyrhizi***

#### **3.2.1. Importância**

Existem cerca de 50 doenças catalogadas afetando a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] no Brasil, dentre essas, a ferrugem asiática causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow é considerada a doença mais destrutiva da cultura (Yorinori, 2002).

*Phakopsora pachyrhizi* possui alta capacidade de disseminação pelo vento e rápida multiplicação, ocasionando desfolha precoce, impedindo a completa formação de grãos e reduzindo a produtividade em 10 - 90% (Yorinori et al., 2004; Rocha et al., 2009). No Brasil, existem relatos de 100% de perda, como em um cultivo em Chapadão do Sul (MS) (Andrade & Andrade, 2002). Desde o seu surgimento em 2001, a doença gerou perda de rendimento equivalente a 10 bilhões de dólares, aos produtores de soja no Brasil (Langenbach et al., 2016).

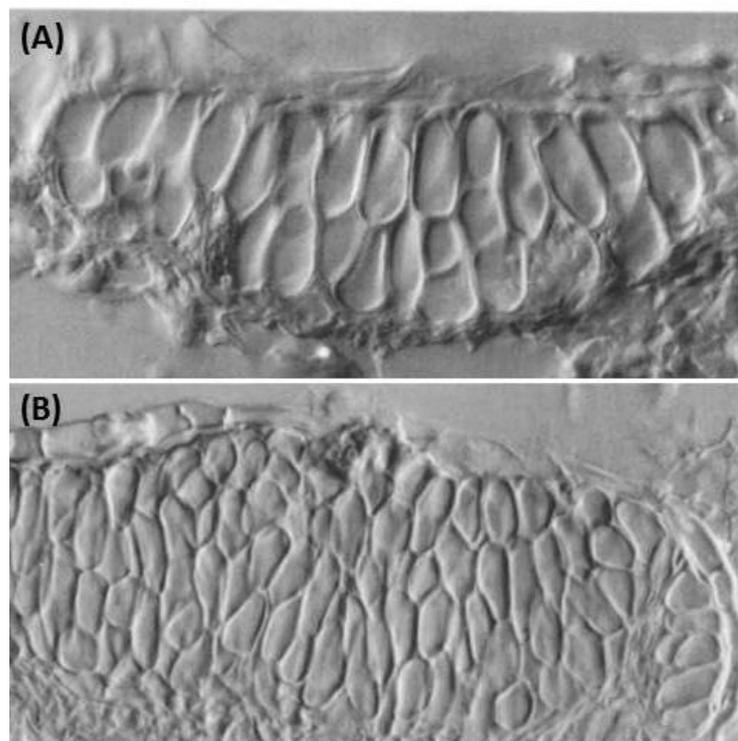
#### **3.2.2. Etiologia**

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] pode ser infectada por duas espécies de *Phakopsora*, causadoras de ferrugem: *P. meibomiae* (Arth.) Arth. (fase anamorfica: *Malupa vignae*) e *P. pachyrhizi* Sydow & P. Sydow (fase anamorfica: *Malupa sojae*). A ferrugem americana (*P. meibomiae*) raramente causa perdas, possui baixa capacidade de esporulação e é predominante em condições de temperatura amena (abaixo de 25 °C). A ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) geralmente causa perdas, possui alta capacidade de esporulação e predomina em faixa mais variável de temperatura (15 - 30 °C) (Ono et al., 1992; Yorinori, 2004).

A diferenciação entre estas espécies é feita por meio da morfometria dos télios e teliósporos, e análise de DNA (Ono et al., 1992). *Phakopsora pachyrhizi* forma teliosporos de paredes finas, cor clara, irregularmente dispostos em várias camadas no télio (Figura 1). Já, *P.*

*meibomiae*, forma teliosporos de paredes relativamente espessas, moderadamente pigmentadas, dispostos em poucas camadas verticais no t lio (Ono et al., 1992). Na técnica de PCR, o par de primers específicos para *P. pachyhrizi*   Ppm1 / Ppa2 (GCAGAATTCA GTGAATCATC AAG / GCAACACTCA AAATCCAACA AT), enquanto para *P. meibomiae*   Ppm1/Pme2 (GCAGAATTCA GTGAATCATC AAG / GCACTCAAAA TCCAACATGC) (Frederick et al., 2002; Haudenshield & Hartman, 2011).

O fungo causador da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyhrizi* Sydow & Sydow - filo *Basidiomycota*, classe *Basidiomycetes*, ordem *Uredinales* e família *Phakopsoraceae*) foi registrado pela primeira vez em 1902, no Japão, sendo referido como *Uredo sojae* Henn [Henning (1903) citado por Goellner et al., 2010]. Em 1914, foi descrito na Annual Micology (1914) e denominado de *P. pachyhrizi* por Hans e Paul Sidow. (Reis et al., 2017). A nomenclatura foi baseada em um isolado obtido da planta *Pachyrhizus erosus* (L.) Urb. em Taiwan [Sydow & Sydow (1914) citado por Goellner et al., 2010].



**Figura 1.** T lio e teliósporos de *Phakopsora meibomiae* (A); T lio e teliósporos de *Phakopsora pachyhrizi* (B) (Reproduzido de Ono et al., 1992).

### 3.2.3 Epidemiologia

Os ciclos de vida dos fungos causadores de ferrugem são complexos, envolvendo variados tipos de esporos e frequente especialização com hospedeiros. A reprodução sexual das ferrugens dicarióticas envolve a formação de teliósporos, cariogamia e meiose, formando quatro basidiósporos haplóides, infectando o hospedeiro em questão ou hospedeiros alternativos, sendo denominados como patógenos heterocíclicos [Bromfield (1984) citado por Fiallos, 2011]. Embora os teliósporos de *P. pachyrhizi* tenham sido relatados na Ásia em vários hospedeiros, incluindo a soja, sua germinação nunca foi relatada em condições de laboratório. Consequente, em condições naturais, restringe a reprodução assexual por urediniósporos [Bromfield (1984) citado por Fiallos, 2011].

O agente causal da FAS é uma parasita obrigatório, portanto no período entressafra, sobrevive em hospedeiras vivas, consequentemente as fontes de inóculo primário são: plantas de soja de cultivo sequeiro e irrigado; plantas voluntárias; plantas daninhas e nativas, como kudzu (*Pueraria lobata*) e soja perene [*Neonotonia wightii* (Wight & Arn)] (Reis et al., 2017)

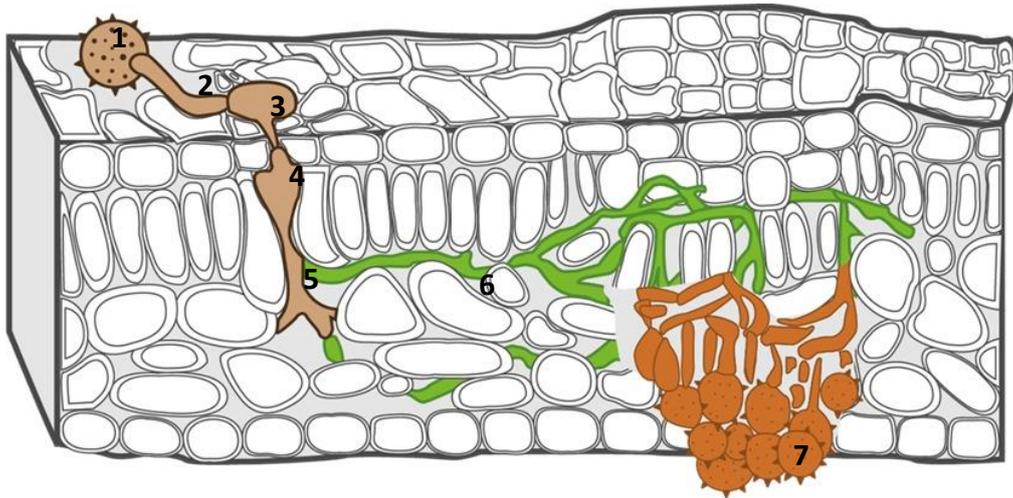
Os urediniósporos são esporos assexuais pequenos, secos e leves (Maude, 1996). São liberados pelas uredínias através do ostíolo, e em sequência, removidos durante o dia, quando as folhas infectadas estão com a superfície seca. Posteriormente, são transportados pelo vento, podendo ser depositados em plantas distantes do inóculo inicial (Reis et al., 2017). Por serem esporos secos e leves, a dispersão por correntes aéreas continentais é provável, ressaltando a chegada do inóculo proveniente da África do Sul à América (Caldwell & Laing, 2002)

Os urediniósporos transportados pelo ar são depositados comumente nas superfícies foliares, por vento ou sedimentação em ar parado, no cosequinte aguardo a estímulos ideais para germinação (Figura 2). Sob condições apropriadas de molhamento e temperatura (6-10 horas; 17-28 °C), respectivamente, os urediniósporos germinam com um único tubo germinativo, com comprimento variável de 5 a 400µm. (Koch & Hoppe, 1988; Madalosso et al., 2015). A iluminação unilateral leva ao surgimento do tubo germinativo no lado

sombreado e ao crescimento distante da luz (Koch & Hoppe, 1987). O crescimento do tubo germinativo é terminal com a formação de um apressório globular, não ornamentado, contendo aproximadamente o mesmo tamanho do uredinósporo. (Koch & Hoppe, 1988).

Em contraste a outros causadores de ferrugem, *P. pachyrhizi* penetra diretamente na cutícula (Heath, 1997; Mellersh & Heath, 2001). O processo inicia com a formação de estrutura micélica denominada de cone apressorial, e posterior penetração do mesmo na parede celular da epiderme. A hifa de penetração atinge o espaço intercelular do parênquima palissádico ou lacunoso, dependendo da localização da penetração, face adaxial ou adaxial, respectivamente. (Reis et al., 2017). Há a formação de um septo, gerando separação entre hifas de penetração e de infecção [Bromfield (1984) citado por Fiallos, 2011]. As hifas de infecção se ramificam, gerando hifas secundárias. A constituição de haustórios é precedida pela formação de célula-mãe de haustório, delimitada por um septo, separando do restante micelial proveniente das hifas secundárias de infecção. Como consequência, ocorre intensa colonização do tecido mesofílico e os espaços intercelulares das folhas são preenchidos com micélio fúngico. A formação do primeiro haustório foi relatada entre 24 e 48 horas após o contato inicial entre os uredinósporos e um hospedeiro suscetível. (Koch et al., 1983).

O ciclo de reprodução assexuada é finalizado quando a uredínia formada produz uredinósporos, cerca de 5 a 8 dias após deposição do uredinósporo na cutícula vegetal (Koch et al., 1983). A uredosporogênese ocorre por gemação ou brotação, através do primeiro septo, produzindo o esporo. No segundo septo, o uredinósporo é separado por um pedicelo proximal e um distal, torando-o maduro (Reis et al., 2017)



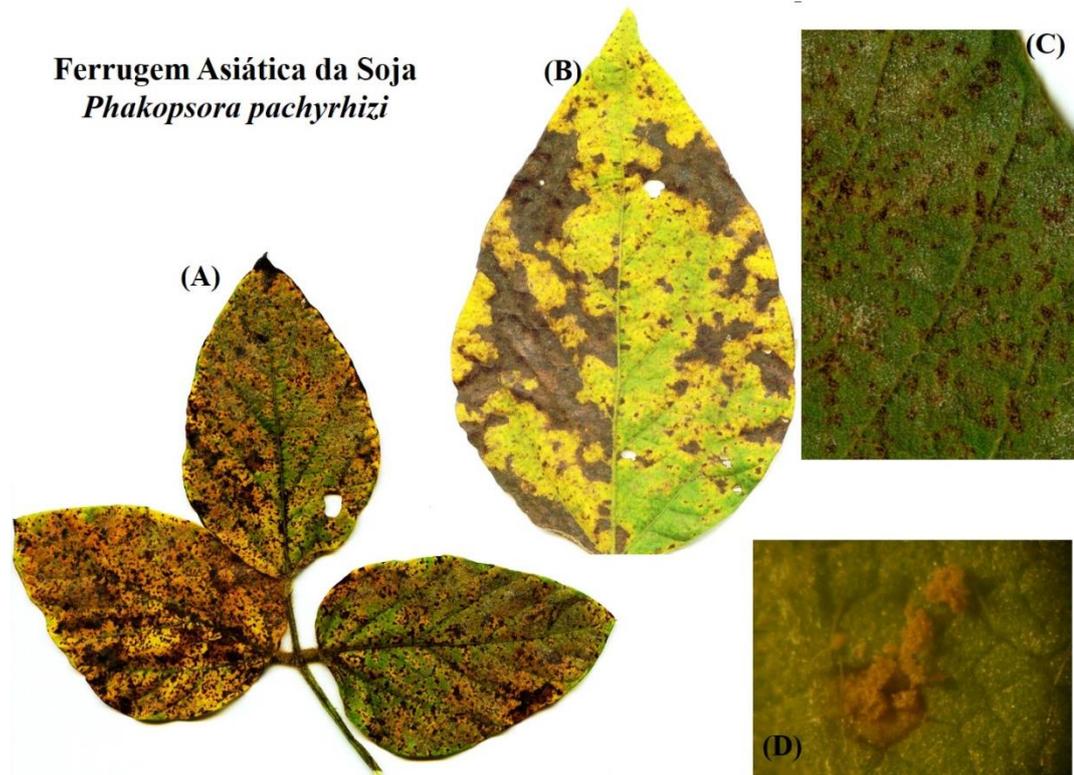
**Figura 2.** *Phakopsora pachyrhizi*. 1: urediniósporo na cutícula foliar; 2: formação de tubo germinativo; 3: apressório; 4: cone apressorial e hifa inicial de penetração; 5: hifa de infecção; 6: haustório; 7: uredínia com urediniósporos (Fonte: Instituto Phytus, 2019).

### 3.2.4. Sintomatologia

Os sintomas ocorrem na parte aérea da planta, como caules, pecíolos, cotilédones e principalmente folhas, em qualquer estágio fenológico da cultura. Os sintomas iniciais da doença ocorrem no terço inferior do dossel da planta, em qualquer estágio fenológico, porém mais frequente no início da floração (Almeida et al., 2005). As pústulas com uredínias de cor castanho-claro (Figura 3) a castanho-escuro, abrem-se em um minúsculo poro, expelindo os urediniósporos. Os urediniósporos, inicialmente de coloração hialina, tornam-se bege e acumulam-se ao redor dos poros ou são carregados pelo vento. O número de uredínias por lesão é variável de um a seis. À medida que prossegue a esporulação, o tecido da folha ao redor das primeiras uredínias, adquire cor castanho-claro (lesão "TAN") a castanho avermelhada (lesão "RB": "reddish-brown") [Bromfield (1984) citado por Fiallos, 2011]. As lesões tendem para o formato angular e podem atingir 2 a 5 mm de diâmetro (Sinclair & Hartman, 1999).

Plantas severamente infectadas apresentam amarelecimento foliar e desfolha precoce (Figura 4), comprometendo a formação e o enchimento de vagens e peso final do grão. Quanto mais cedo ocorrer a desfolha, menor será o tamanho do grão e maior a perda de

rendimento e de qualidade (Yang et al., 1991). Perdas de 80% a 90% de rendimento já foram registradas [Bromfield (1984) citado por Fiallos, 2011]. O aumento da severidade da doença ao longo do ciclo da cultura está relacionado ao ambiente (temperatura e umidade), ao hospedeiro (estádio fenológico) e ao patógeno (concentração de inóculo viável) (Reis et al., 2006).



**Figura 3.** Sintomas da ferrugem asiática da soja (A e B) causada por *Phakopsora pachyrhizi*. Presença de pústulas (uredínias) de coloração castanho claro (C e D) (Fotos: Luiz E.B. Blum).



**Figura 4.** Desfolha em parcela testemunha contrastando a parcelas pulverizadas com fungicidas, evidenciando a severidade da doença (Foto: Vítor A.C. Baldo).

### **3.2.5 Controle**

#### **3.2.5.1 Controle cultural**

*Phakopsora pachyrhizi* é um patógeno biotrófico, sobrevivendo em plantas voluntárias no período sem cultivo da soja, portanto a remoção destas plantas é sugerida (Reis et al., 2006). Outros métodos culturais relevantes são a escolha da época adequada de semeadura e a utilização de cultivares precoces, reduzindo a exposição das plantas ao patógeno (Reis et al., 2006; Yorinori, 2004).

Maior densidade populacional pode agravar a doença (Ferreira, 2009; Ramos et al., 2009). Maior espaçamento entre linhas resulta em menor severidade da ferrugem, além de permitir melhor distribuição e consequente penetração dos fungicidas durante as aplicações (Zambolim, 2006). A utilização de rotação de culturas com milho, sorgo e arroz, é uma medida válida, por não serem plantas não hospedeiras (Yorinori, 2004; Zambolim, 2006).

#### **3.2.5.2 Controle genético**

É complexo encontrar materiais resistentes às ferrugens, pois os poucos catalogados como resistentes, possuem resistência vertical ou monogênica/raça-específica, carecendo de

resistência horizontal ou poligênica, devido à alta variabilidade e esporulação das ferrugens. (Van der Plank, 1968; Gururani et al., 2012; Lopes & Boiteux, 2012).

As principais fontes de resistência a *P. pachyrhizi* são oriundas da própria soja, conferindo cisgenia, sendo elas: Rpp1 (Cheng & Chan, 1968; Mclean & Byth, 1980; Hartwig & Bromfield, 1983); Rpp2 (Hidayat & Somaatmadja, 1977); Rpp3 (Bromfield e Hartwig, 1980; Van de Mortel, et al., 2007); Rpp4 (Hartwig, 1986) e Rpp5 (Garcia et al., 2008). Associadas, as análises genéticas e moleculares sugerem vários alelos ou genes estreitamente ligados, governando resistência a ferrugem da soja (Garcia et al., 2008).

**Tabela 1.** Acessos de soja (*Glycine max*) com os respectivos genes de resistência e cromossomos de localização (Adaptado de Rosa, 2015)

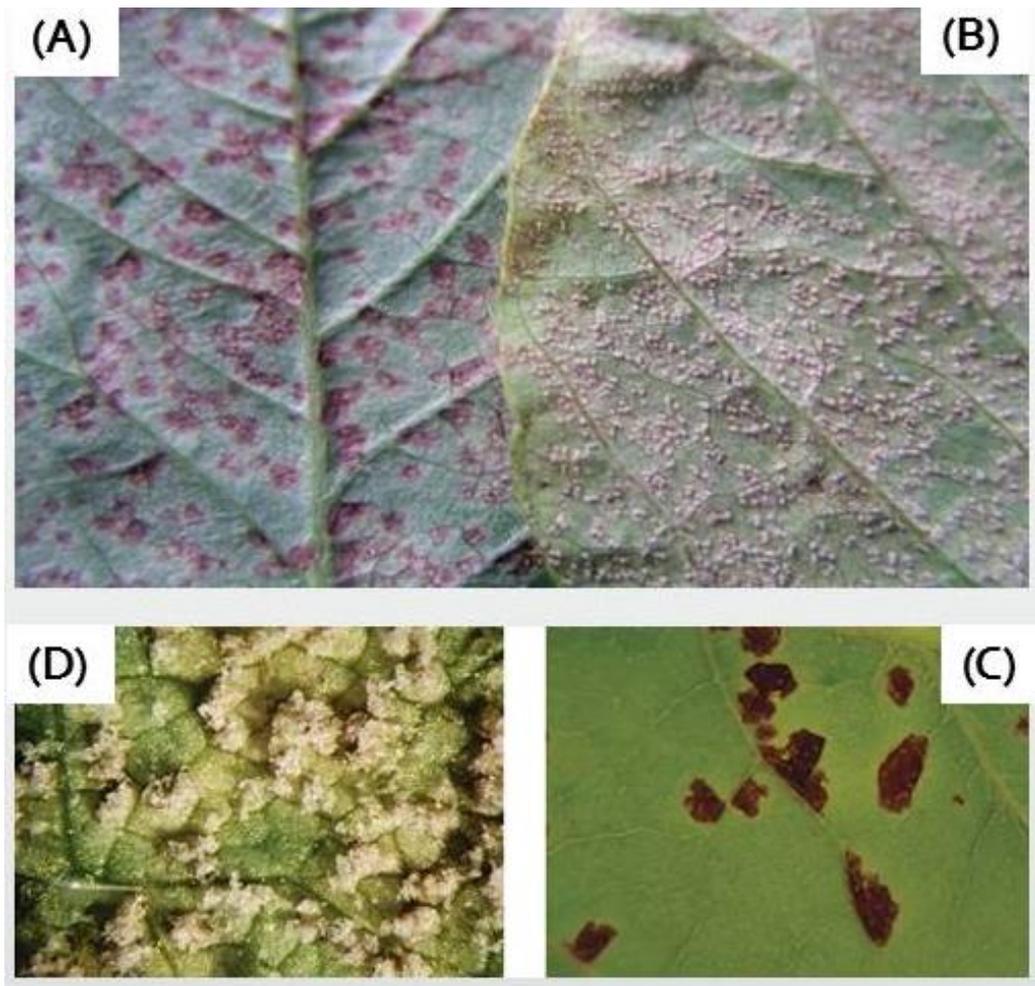
Acesso (PI's)	Genes de resistência	Cromossomo (Localização)	Marcadores moleculares	Referências
PI 200492	Rpp1	18 (G)	Satt 191 - Satt 064	McLean & Byth, 1980; Hyten et al., 2007
PI 587866	Rpp1	18 (G)	Satt 191 - Satt 064	Ray et al., 2009
PI 587880 A	Rpp1	18 (G)	Satt 191 - Satt 372	Ray et al., 2009.
PI 561356	Rpp1	18 (G)	SSSR50 - SSSR1859	Kim et al., 2012
PI 587905	Rpp1	18 (G)	Sat064 - SSR66	Hossain et al., 2014
PI 594760 B	Rpp1	18 (G)	Satt 117 - Sct187	Garcia et al., 2011
PI 594767 A	Rpp1	18 (G)	Satt 064 - Satt 191	Hossain et al., 2014
PI 594538 A	Rpp1 – b	18 (G)	Satt 064 - Satt 372	Chakraborty et al., 2009
PI 230970	Rpp2	16 (J)	Satt 255 - Satt 620	Hartwig & Bromfield, 1980; Silva et al., 2008
PI 224270	Rpp2	16 (J)	Satt215 - Satt 361	Garcia et al., 2008
PI 462312	Rpp3	6 (C2)	Satt460 - Satt 263	Hartwig & Bromfield, 1983; Hyten et al., 2009
PI 416764	Rpp3	6 (C2)	Sat263 - Satt 307	Hossain et al., 2014
PI 567099	Rpp3	6 (C2)	Satt460 - Staga 001	Ray et al., 2011
PI 506764	Rpp3/Rpp5	6/3 (C2/N)	Satt 460 - Satt 263/Satt 275 - Sat280	Monteros et al., 2007; Kendrick et al., 2011
PI 200487	Rpp3/Rpp5	6/3 (C2/N)	Satt 460 - Satt 263/Satt 275 - Satt 280	Garcia et al., 2008; Kendrick et al., 2011
PI 471904	Rpp3/Rpp5	6/3 (C2/N)	Satt 460 - Satt 263/Satt 275 - Satt 280	Kendrick et al., 2011
PI 459025	Rpp4	18 (G)	Satt 288 - AF162283	Hartwig, 1986; Silva et al., 2008
PI 200456	Rpp5	3 (N)	Satt 275 - Satt 280	Garcia et al., 2008
PI 200526	Rpp5	3 (N)	Satt 275 - Satt 280	Garcia et al., 2008
PI 567102B	Rpp6	18 (G)	Satt 324 - Satt 394	Li et al., 2012

Em PI 230970 e PI 459025 foram relatadas baixa germinação de urediniosporos e de formação de apressórios. A formação de apressório iniciou seis horas após a inoculação, sendo o comum ocorrer quatro horas após a inoculação, em cultivares susceptíveis. Os PI's mencionados apresentam os genes Rpp2 e Rpp4, respectivamente (Hartwig & Bromfield,

1983; Hartwig, 1986; Zambenedetti et al., 2007). Segundo Pham et al. (2009), os genótipos PI 200492 (Rpp1) e PI 462312 (Rpp3) apresentaram respostas diferenciais, enquanto PI 230970 (Rpp2) e PI 459025B (Rpp4) evidenciaram lesões de susceptibilidade (Figura 6).

Em 2009/10 foram disponibilizadas as cultivares TMG 801-INOX® e TMG 803-INOX® com resistência a ferrugem asiática (Fundação MT, 2009). As variedades que apresentam genes de resistência, conferem reação de Hiper-sensibilidade (RH), provocando lesões denominadas RB (Redish Brown) (Figura 6), onde ocorre a morte celular programada em torno do sítio de penetração e infecção, no intuito de bloquear o avanço da colonização micelial nos tecidos adjacentes (Reis et al., 2017).

Além de genes encontrados em genótipos de soja, em acessos de feijão guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] relatou-se a existência do gene CcRpp1, o qual também confere resistência do tipo RB. As linhas homozigotas contendo o gene CcRpp1 exibiram altos níveis de resistência, apresentando redução de 60 a 71% na contagem de lesões por cm<sup>2</sup>. As plantas sem o referido gene de resistência, continham lesões de cor castanha (denominadas TAN) e alta esporulação, típica de uma reação suscetível a *P. Pachyrhizi* (Kawashima et al., 2016).



**Figura 5.** Lesões RB-Redish Brown com coloração castanho escuro, característica de cultivares com resistência (A e C); lesões TAN com coloração castanho claro, característica de cultivares suscetíveis (B e D). As lesões RB apresentam menor índice de área foliar afetada pelo patógeno, em consequência da Reação de Hipersensibilidade (RH). (Extraído de: Morel, 2014; Tropical Melhoramento & Genética, 2019).

### 3.2.5.3 Controle químico

Com o surgimento da FAS, a utilização de fungicidas na cultura aumentou, sendo a estratégia de manejo mais eficiente atualmente, evitando-se reduções na produtividade. O conhecimento técnico dos fungicidas para controle da doença é cada vez mais fundamental para a utilização correta no campo (Godoy et al., 2007). O manejo químico atual utilizado é feito com fungicidas de ação sítio-específico (único sítio metabólico da célula fúngica), e ação multi-sítio (mais de um sítio metabólico da célula fúngica) (McGrath, 2004).

De acordo com o mecanismo de ação, os principais fungicidas sítio-específico utilizados são: os inibidores da desmetilação/síntese de ergosterol (IDM - triazóis), os inibidores da quinona externa (IQe - estrobilurinas) e os inibidores da succinato desidrogenase (ISDH - carboxamidas). A primeira aplicação de fungicidas deve ser realizada nos sintomas iniciais ou preventivamente seguindo critérios regionais, considerando as condições climáticas favoráveis e estágio fenológico da planta (Godoy et al., 2017). Para detecção antecipada ao desenvolvimento da doença é necessário, constantemente coletar e analisar folhas do terço inferior e/ou médio do dossel das plantas, principalmente em locais da lavoura com acúmulo de umidade, verificando sintomas e sinais do patógeno (Godoy et al., 2017).

A detecção do patógeno nos estádios iniciais de desenvolvimento da doença é essencial para o controle eficiente, e a menor exposição das moléculas sítio-específico à pressão de seleção direcional (Reis et al., 2017). Populações de *P. pachyrhizi* já apresentam menor sensibilidade aos produtos de ação sítio-específico, comumente utilizados atualmente. (Klosowski et al., 2015; Schmitz et al., 2013; Simões et al., 2017; Frac, 2019). Portanto, se deve evitar aplicações antecipadas, calendarizadas, ou sequenciais com os mesmos grupos químicos (Godoy et al., 2017). O uso de fungicidas de ação multi-sítio, objetiva a ampliação do espectro de controle do patógeno e proteger as moléculas sítio-específico (Ballardin, 2017).

### **3.2.6 Fungicidas para controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*)**

#### **Bixafem / Carboxamida (Fox Xpro®)**

As carboxamidas são fungicidas que interferem na cadeia respiratória, inibindo a enzima succinato desidrogenase (ISDH), a qual é responsável pela transferência de elétrons no complexo II da membrana mitocondrial externa, resultando em paralisação da produção de ATP e déficit energético da célula fúngica e consequente ação letal do fungo. Os principais fungicidas ISDH / carboxamidas utilizados na cultura da soja são benzovindipluir,

fluxapiroxada e bixafem. O bixafem é de nova geração, possuindo ação mesostêmica (translaminar) e sistêmica. A utilização deve ser realizada preventivamente (pré-infeccional), nas primeiras aplicações do ciclo da planta (Reis et al., 2017; Bayer, 2019; Frac, 2019)

### **Ciproconazol, difenoconazol, protioconazol / Triazóis (Cypress®; Fox Xpro®)**

Os fungicidas que atuam na inibição de esteróis são divididos em dois subgrupos: inibidores da desmetilação do C-14 (triazóis); inibidores de D<sup>8,7</sup> isomerase e D<sup>14</sup> redutase. (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019). No contato das moléculas com as células fúngicas, há acúmulo de esteróis, inibindo a passagem de lanosterol (composto intermediário da síntese de ergosterol) para 24-metilenodihidrolanosterol, posteriormente ocorre a desmetilação na posição C-14, gerando inibição do citocromo P-450. Portanto, ao invés da formação de ergosterol e outros esteróis, são formados compostos metilados. Os mesmos não conseguem manter funções específicas na célula fúngica, gerando desequilíbrio de lipídeos das membranas, com inibição de fosfolipídeos e acúmulo de ácidos graxos livres, chegando a níveis tóxicos e morte dos fungos. Ciproconazol, difenoconazol, protioconazol e os outros triazóis, atuam como protetores e erradicantes. Como protetores, apresentam ação tóxica sobre a germinação de esporos, formação de tubo germinativo e de apressório, porém a proteção é parcial, podendo ocorrer penetração do patógeno. Como curativos, geralmente apresentam elevada fungitoxicidade, rápida penetração, translocação acropetal nos tecidos vegetais e elevado efeito residual, atuando na inibição do desenvolvimento micelial e de haustórios (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019).

### **Clorotalonil / isoftalonitrila (Previnil®)**

O princípio ativo clorotalonil, pertencente ao grupo químico das isoftalonitrila, possui modo de ação através da união aos grupos sulfidril e mercapto. A conjugação com as sulfidrilas, na germinação de células fúngicas, gera interrupção da glicólise, através da inativação da enzima gliceraldeído-3-fosfato de hidrogenase. Na desativação da mesma, o ciclo de Krebs não é finalizado e o ATP não produzido, ocasionando decréscimo de energia

ao fungo. (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019). O clorotalonil é um dos principais fungicidas não-sistêmico, de ação protetora e amplo espectro, controlando grande quantidade de espécies fúngicas. É recomendado para uso isolado ou associado a moléculas de ação sítio-específico. (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019).

#### **Fenpropimorfe / Morfolina (Versatilis®)**

O princípio ativo fenpropimorfe é pertencente ao grupo químico das morfolinas e possui atuação em vários sítios da biossíntese de ergosterol. Os principais sítios de inibição são as enzimas  $\Delta^{8,7}$  isomerase e  $\Delta^{14}$  redutase, os quais são referentes ao fenpropimorfe, o mesmo é 100 vezes mais ativo que o princípio ativo tridemorfe, quando atuante na  $\Delta^{14}$  redutase. Entretanto, as morfolinas são distintas dos triazóis, por não atuarem na posição C - 14 da desmetilação. (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019). Em adição, a morfolina interfere na biossíntese proteica, lipídica e de carboidratos em fungos. O efeito é principalmente após a germinação de esporos, formação de tubos germinativos e formação de haustórios, gerando inibição de infecção. O fenpropimorfe aplicado por pulverização, é absorvido e translocado para as extremidades foliares, tendo sistemicidade limitada, com ação erradicativa e parcialmente protetora. O princípio ou ingrediente ativo (pa ou ia) foi desenvolvido, inicialmente para controle de oídio em cereais, tendo o primeiro fungicida comercialmente nomeado Corbel® [Fenpropimorfe/Morfolina (750 g ia ha<sup>-1</sup>)] (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019).

#### **Mancozebe / Ditiocarbamatos (Unizeb Gold®)**

O princípio ativo mancozebe (Etileno bisditiocarbamato de Mn e Zn), derivado do ácido ditiocarbâmico, está inserido no subgrupo etilenobisditio carbamato metálico, do grupo químico ditiocarbamatos. Os fungicidas ditiocarbamatos comumente interferem na produção de energia, podendo ser considerados inibidores específicos ou não específicos de ação múltipla. São potentes agentes quelantes, que privam a célula das necessidades de metais (complexação a metais e proteínas). Os bisditiocarbamatos reagem inespecificamente com

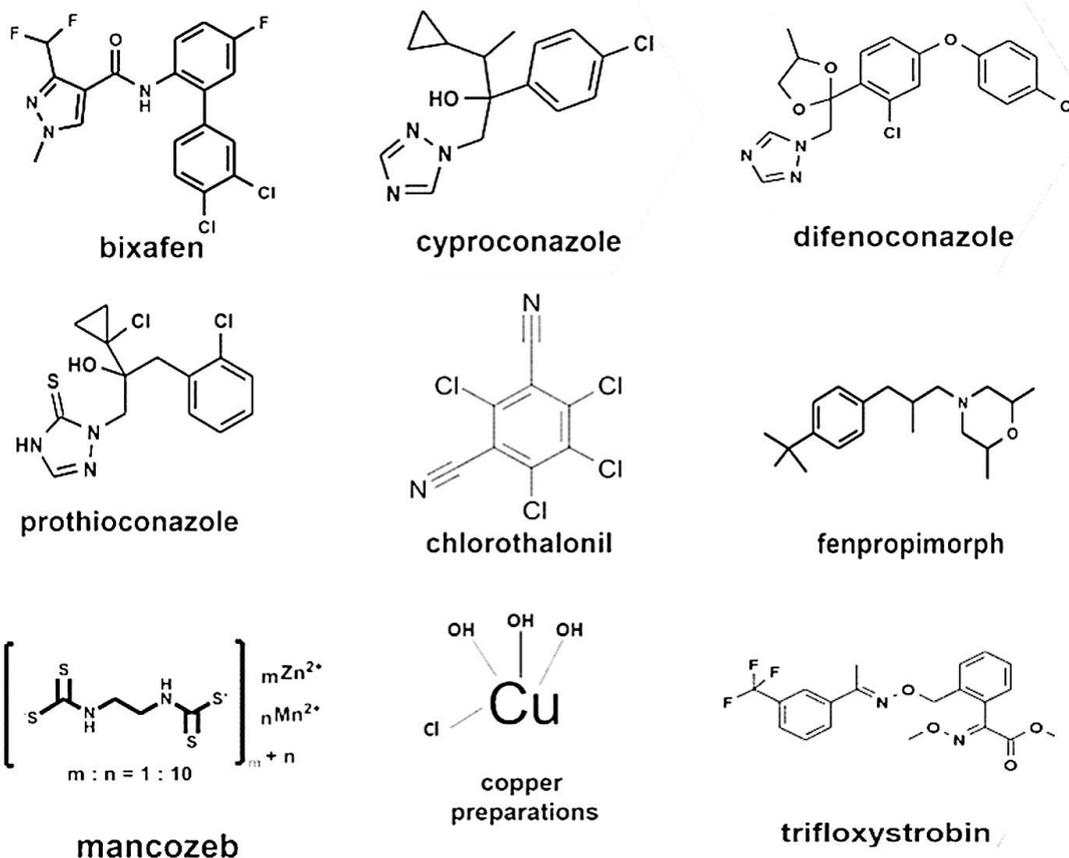
enzimas sulfídricas envolvidas na respiração, esses compostos são presentes em várias organelas fúngicas, gerando atuação do fungicida em vários processos metabólicos do fungo. Os fungicidas do grupo ditiocarbamatos são protetores de amplo espectro utilizados no tratamento foliar, solo e de sementes (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019).

#### **Oxicloreto de cobre / Cúpricos / Inorgânicos (Difere®)**

Os fungicidas cúpricos, dispendo da forma elementar  $\text{Cu}^{2+}$  são acumulados nas células fúngicas, gerando complexação com enzimas dos grupos sulfidríla, hidroxila, amino ou carboxila. As enzimas são inibidas, gerando desorganização metabólica e consequente rompimento da célula. O oxicloreto de cobre é um fungicida protetor, portanto formando uma camada de cobertura na cutícula do tecido vegetal, oferecendo defesa a planta contra os estádios iniciais de desenvolvimento do fungo, principalmente impedição da germinação dos esporos depositados na camada protetora. O fungicida apresenta baixa solubilidade em água, evitando fitotoxicidade do íon cobre. (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019).

#### **Trifloxistrobina/Estrobilurina (Fox Xpro®)**

As estrobilurinas são inibidoras da quinona externa (IQe), por serem moléculas fúngicas atuantes na cadeia respiratória, inibindo a coenzima Q-citocromo c-redutase (sítio bioquímico: quinona oxidase), enzima inibida possui função de transferência de elétrons no complexo III da membrana mitocondrial externa, o que resulta em paralisação da produção de ATP e déficit energético da célula fúngica e consequente ação letal no fungo. As estrobilurinas comumente usadas são: azoxistrobina, picoxistrobina, piraclostrobina e trifloxistrobina. A trifloxistrobina possui ação translaminar e preventiva, portanto, as aplicações devem ser realizadas preferencialmente em estágio pré-infeccional (Zambolim, 2007; Reis et al., 2017; Frac, 2019).



**Figura 6.** Arranjos moleculares dos fungicidas empregados (Zambolim, 2007; Frac, 2019). **Bixafen:** N-(3',4'-Dichloro-5-fluoro-[1,1'-biphenyl]-2-yl)-3-(difluoromethyl)-1-methyl-1H-pyrazole-4-carboxamide; **Ciproconazol:** [C<sub>15</sub> H<sub>18</sub> Cl<sub>1</sub> N<sub>3</sub> O] – 1- [2RS, 3RS, 2RS,3SR)-2-(4-chlorophenyl)-3-cyclopropyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol]; **Difenoconazol:** [C<sub>19</sub> H<sub>17</sub> Cl<sub>2</sub> N<sub>3</sub> O<sub>3</sub>]-cis-trans-3chloro-4-[4-methyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)-1,3-dioxolan-2-yl]phenyl(4-chlorophenyl) ether; **Protioconazol:** [C<sub>14</sub>H<sub>15</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>3</sub>OS]-(2-chlorophenyl)-2-hydroxypropyl]-1,2-dihydro-3H-1,2,4-triazole-3-thione; **Clorotalonil:** [C<sub>8</sub> Cl<sub>4</sub> N<sub>2</sub> - tetrachloroisophthalonitrile]; **Fenpropimorfe:** [C<sub>20</sub> H<sub>33</sub> NO] - (RS) - cis - 4 - [3 - (4-tert-butylphenyl) - 2 - methylpropyl] - 2,6 - dimethylmorpholine; **Mancozebe:** C<sub>8</sub> H<sub>19</sub> O<sub>2</sub> PS<sub>3</sub> - Etileno bisditiocarbamato de Mn e Zn ; **Oxicloreto de cobre:** [Cu<sub>2</sub> Cl (OH)<sub>3</sub>]; **Trifloxistrobina:** [C<sub>20</sub> H<sub>19</sub> F<sub>3</sub> N<sub>2</sub> O<sub>4</sub>] methyl(E)-methoxyimino-{(E)-α-[1-(α,α,α-trifluoro-m-tolyl)ethylideneaminoxy]-o-tolyl} acetate.

### 3.2.7 Redução da sensibilidade de *P. pachyrhizi* a fungicidas

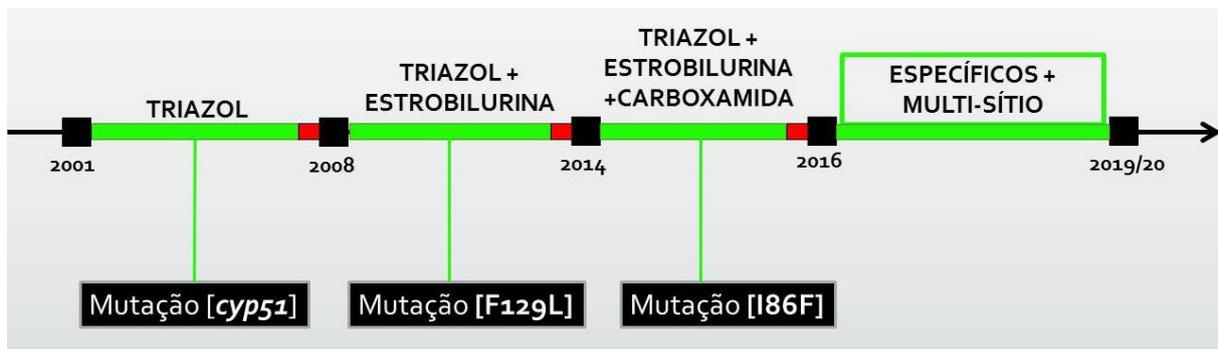
A sensibilidade de um fungo a toxicidade de determinada molécula é medida pela  $CI_{50}$  (concentração inibitória do ia, para controle de 50% da população fúngica), na unidade de  $mg L^{-1}$  (ppm). A  $CI_{50}$  pode ser determinada por: crescimento micelial (mm); germinação de esporos (%); comprimento do tubo germinativo ( $\mu m$ ); severidade da doença (uredínia  $cm^{-2}$ ) (Reis et al., 2017). Ao decorrer das safras, a redução da sensibilidade fúngica a fungicidas sítio-específico (Figura 7), geralmente ocorre devido aos fatores: extensão de área tratada, mecanismo de ação, quantidade de aplicações por ciclo da cultura, potencial de esporulação do patógeno e variabilidade genética do patógeno (Reis et al., 2017).

Em 2006, houve redução no controle da FAS em Goiás, com a utilização dos princípios ativos cicproconazol, flutriafol e tebuconazol (Fundação MT, 2009). A redução na sensibilidade de populações de *Phakopsora* à tebuconazol e ciproconazol, resultou no controle de apenas 38 - 42% da doença, em 2010/11 (Godoy & Palaver, 2011). As mutações fúngicas relatadas são nas posições: F - 120L; Y - 131F, K - 142R, I - 145F e I - 475T do gene *cyp51*. As mutações pontuais geradas provocam super-expressão do gene *cyp51*, responsável pela produção da C4-desmetilase (biossíntese de ergosterol), principal constituinte das membranas plasmática, mitocondrial e nuclear das células fúngicas (Schmitz et al., 2014). A partir de 2013/14, houve redução no controle da FAS por azoxistrobina (estrobilurina - IQeS), promovendo controle de 79%, quando já fora de 95%. Ao longo dos anos, o controle foi decaindo, resultando em 22-24% em 2015/16. Entretanto, em análise de populações de diversas regiões sojicultoras do Brasil, por meio de PCR, foi evidenciada mutação fúngica na posição FI29L no gene *cyt-b* (produção da proteína citocromo-b), onde o aminoácido isoleucina é substituído pela leucina. Tal mutação gera super-produção da proteína citocromo b, responsável pelo transporte de elétrons no complexo III da respiração mitocondrial (Klosowski et al., 2016).

O primeiro relato de perda de sensibilidade fúngica aos ISDH ocorreu em 2015/16 no Paraná e Mato Grosso, por meio de estudos de 41 populações sobreviventes em folhas tratadas com concentrações ideais de ingrediente ativo. Utilizando q-PCR e sequenciamento Sanger, foram sequenciados os genes SdhB, SdhC e SdhD, havendo a confirmação de que a mutação ocorre na posição C-I86F do gene SdhC (produção da enzima succinato-desidrogenase), existindo a substituição do aminoácido isoleucina por fenilalanina. Tal mutação gera super-produção de succinato desidrogenase, responsável pelo transporte de elétrons no complexo II da respiração mitocondrial (Schmitz et al., 2014; Klosowski et al., 2016; Reis et al., 2017).

Diante da resistência fúngica múltipla, foi notado que não houve perda total e abrupta da eficácia dos fungicidas (sítio-específico), portanto continuam necessários nas estratégias de manejo químico (Schmitz et al. 2014; Godoy et al. 2015; Klosowski et al. 2016; Frac 2019). Para a manutenção da eficiência dos fungicidas específicos, é necessário a utilização de estratégias de anti-resistência, como: evitar aplicação preventiva com zero de severidade da doença, contribuindo intrinsecamente com a seleção estabilizadora, diminuindo a pressão de seleção direcional (seleção dos indivíduos menos sensíveis e suas conseqüentes gerações populacionais resistentes) (Xavier et al., 2015; Reis et al., 2017). É indispensável ressaltar que tal medida deve ser restritamente utilizada, quando a pressão inicial de inóculo for insignificante, pois adversamente, o alto potencial de esporulação do patógeno, gerará condições de mutabilidade populacional, contribuindo com o inverso da medida abordada. Diminuir a quantidade de aplicações em estádios avançados da cultura e em condições de alta quantidade de inóculo; utilização de misturas prontas, contendo mais de um grupo químico de ação sítio-específico (Xavier et al., 2015; Reis et al., 2017); rotação de princípios ativos do mesmo grupo químico, eles podendo ser diferentes, apresentando  $CI_{50}$  e estrutura química distinta, evitando a resistência cruzada (Xavier et al., 2015; Reis et al., 2017); adição de

fungicidas protetores multi-sítio nas associações, os mesmos além de atuação em vários sítios bioquímicos do fungo, possuem risco de resistência baixo (Frac, 2019).



**Figura 7.** Decréscimo da eficiência de triazóis, estrobilurinas e carboxamidas, com consequente adição de fungicidas multi-sítio, objetivando o manejo de resistência (Cortesia: N. R. Tormen).

## 4. METÓDOS E MATERIAIS

### 4.1 Caracterização do local

Os ensaios foram conduzidos em campo, na área experimental do Instituto Phytus em Planaltina (DF), na safra 2018/19. As coordenadas geográficas da localidade são: 15°39'57.70" S; 47°20'4.66" O. A altitude média da área é de 875 metros.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, usufruído pela atividade agrícola desde a década de 1980, possuindo as seguintes propriedades químicas: pH (CaCl<sub>2</sub>): 5,3; M.O.: 3,0%; V: 63,4%; K: 160 mg dm<sup>-3</sup>; S: 5,0 mg dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich 1): 34,16 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 5,1 Cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg: 2,1 Cmolc dm<sup>-3</sup>; Al: 0,02 Cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al: 4,4 Cmolc dm<sup>-3</sup>. As proporções granulométricas são: 491 g kg<sup>-1</sup> de argila; 300 g kg<sup>-1</sup> de silte; 209 g kg<sup>-1</sup> de areia.

### 4.2 Semeadura e manejo da soja

A semeadura dos ensaios foi em 5 de janeiro de 2019, utilizando a cultivar Brasmax Bonus IPRO®. O plantio foi realizado com a semeadora Stara SHM - 1113, em sistema de semeadura direta. A densidade populacional foi de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>, conferindo espaçamento entre linhas de 0,50 m, e 10 sementes m<sup>-1</sup>. A área dos ensaios instalados foi

cultivada com a cultura do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) na entressafra e soja na safra anterior. A fertilização foi realizada com N-P-K (09-48-44), na dosagem de 130 kg/ha. A colheita dos ensaios foi realizada em 13/5/2019. As práticas de manejo da cultura empregadas nos ensaios, como controle de plantas daninhas e de pragas, foram executadas seguindo as indicações técnicas para a cultura da soja na região Centro-Oeste (Tecnologias, 2011).

#### **4.3 Condições ambientais durante a condução do experimento**

O clima é caracterizado como tropical sazonal, com estação seca e chuvosa definidas, com precipitação anual média de 1446 mm, concentrada entre outubro e maio. As temperaturas médias anuais estão entre 16,8 e 28,6 °C. Os dados são provenientes da estação meteorológica da unidade experimental do Instituto Phytus (Planaltina - DF).

Durante a condução dos ensaios, as médias da umidade relativa do ar se mantiveram entre 81,4 a 83,5%. O somatório mensal das precipitações variou de 61,4 a 228, 4 mm. Quanto a temperatura, as variações médias foram de 21,9 °C a 24,15 °C. Os dados climatológicos estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2.** Dados climatológicos no local da realização dos experimentos. Dados diários (1 a 31 dias) médios entre janeiro e abril de 2019.

Dia	jan/19				fev/19				mar/19				abr/19			
	Tmi*	Tma	UR	Ppt	Tmi	Tma	UR	Ppt	Tmi	Tma	UR	Ppt	Tmi	Tma	UR	Ppt
1	19,5	30,9	85,5	0,4	19,6	28,2	89,2	14,6	15,8	31,7	76,6	0,2	17,4	30,1	81,8	0,0
2	19,1	29,9	86,9	8,8	18,5	29,1	86,0	0,2	16,3	32,4	78,9	0,4	18,4	27,3	87,6	0,2
3	19,4	31,1	85,1	1,2	18,1	26,8	91,6	67,0	16,7	32,7	80,5	0,2	16,8	31,1	79,0	0,2
4	19,5	29,0	86,2	11,4	17,2	20,6	96,8	29,6	17,0	34,6	74,1	0,2	19,5	28,8	84,0	0,2
5	19,0	25,0	93,9	18,2	18,2	24,7	90,2	6,4	18,8	31,3	76,9	2,8	18,1	31,0	82,9	0,2
6	18,4	27,3	92,8	12,6	17,7	28,0	86,5	1,6	18,3	31,7	83,7	1,2	18,3	29,4	82,9	15,0
7	18,1	27,6	89,2	5,2	17,1	29,3	82,0	0,2	19,5	33,1	82,7	0,2	18,7	29,0	86,3	1,8
8	17,0	28,6	85,8	10,6	17,1	30,2	85,1	14,6	20,1	29,0	86,0	13,0	19,2	24,6	92,1	9,4
9	16,8	29,4	77,0	0,0	19,7	28,5	85,5	0,2	20,3	30,2	91,0	11,0	17,8	27,7	87,6	4,6
10	15,2	28,9	79,5	0,0	17,9	27,9	86,0	2,2	20,1	26,1	94,3	23,0	17,1	26,1	88,4	1,2
11	17,4	28,9	74,8	0,0	16,2	30,5	78,7	0,2	19,3	27,4	85,9	4,4	16,2	26,8	86,4	16,0
12	14,0	31,5	77,2	0,0	16,1	30,8	76,0	0,2	19,5	29,3	84,3	0,2	15,9	24,0	87,2	1,0
13	14,4	30,7	78,5	0,0	12,9	31,3	72,2	0,2	19,9	31,8	80,4	0,2	16,4	26,0	87,6	0,2
14	16,3	26,2	82,5	0,2	14,3	30,9	72,8	0,0	19,4	30,7	86,4	1,2	17,5	26,1	88,4	9,2
15	16,6	28,2	88,7	0,2	12,9	29,8	76,0	0,2	17,3	29,5	90,3	3,6	18,2	27,5	82,4	0,0
16	15,6	30,1	82,1	0,4	14,9	30,5	76,8	0,2	17,5	32,8	79,2	0,2	18,7	27,5	84,5	0,0
17	14,4	30,3	73,7	0,4	14,8	29,5	79,1	0,8	19,0	30,4	85,8	2,4	17,5	23,4	85,9	0,0
18	14,6	30,4	73,5	0,0	17,0	29,1	83,3	0,0	18,2	30,5	81,4	2,4	16,0	23,3	85,6	0,2
19	13,7	33,1	72,5	0,2	18,3	31,2	89,2	20,0	18,6	29,6	79,9	6,8	13,6	27,6	82,3	0,2
20	13,4	32,9	69,7	0,0	19,6	29,1	86,7	6,8	19,1	30,3	77,9	0,6	13,8	27,2	84,5	0,2
21	14,5	32,9	67,8	0,0	19,4	28,4	92,3	8,2	19,6	32,0	79,2	18,2	13,5	26,7	83,4	0,2
22	13,6	32,8	67,2	0,2	18,7	24,2	92,3	10,6	19,3	31,6	88,3	12,0	14,4	28,4	81,8	0,2
23	11,7	33,5	65,9	0,0	16,5	29,1	84,5	0,4	18,3	29,1	88,5	9,6	16,6	28,8	78,0	0,0
24	16,3	33,0	69,7	0,0	17,5	31,6	83,0	0,2	18,2	26,8	88,4	11,2	16,4	28,6	74,7	0,0
25	18,7	29,2	88,1	14,2	18,1	31,0	84,7	0,2	19,6	27,9	84,0	0,2	13,3	28,3	79,0	0,2
26	18,9	29,8	87,1	6,8	17,5	28,8	88,3	43,2	17,6	28,7	78,5	0,2	12,4	29,4	79,8	0,2
27	17,3	29,5	87,6	12,4	17,5	31,8	83,3	0,2	14,6	29,5	77,0	0,0	13,2	29,6	80,8	0,2
28	18,4	28,5	83,3	11,4	16,4	30,8	79,5	0,2	14,7	28,4	76,8	0,2	13,0	29,3	78,9	0,2
29	19,3	29,9	89,7	2,2	-	-	-	-	13,9	28,6	77,5	0,2	12,4	29,0	78,8	0,2
30	18,1	30,7	82,3	5,0	-	-	-	-	18,2	28,9	80,6	0,0	12,2	28,5	83,8	0,2
31	19,6	28,1	92,2	40,8	-	-	-	-	16,2	28,7	81,9	0,2	-	-	-	-
	----	média	----	Σ	----	média	----	Σ	----	média	----	Σ	----	média	----	Σ
<b>Mensal</b>	<b>16,7</b>	<b>29,9</b>	<b>81,2</b>	<b>162,8</b>	<b>17,1</b>	<b>29,0</b>	<b>84,2</b>	<b>228,4</b>	<b>18,1</b>	<b>30,2</b>	<b>82,5</b>	<b>126,2</b>	<b>16,1</b>	<b>27,7</b>	<b>83,5</b>	<b>61,4</b>

\*Tmi – temperatura mínima (°C); Tma – temperatura máxima; UR – umidade relativa do ar (%); Ppt – precipitação pluviométrica (mm).

#### **4.4 Aplicação dos tratamentos fungicidas**

A pulverização dos fungicidas (Tabela 3) foi realizada com pulverizador de precisão e pressão constante, constituído de barra de pulverização com seis pontas do tipo Teejet XR11001, de jato plano de faixa ampliada, com calibração de volume de calda para 150 L ha<sup>-1</sup>. A pressão de trabalho foi constante (270 kPa) e o ajuste do volume de calda se deu pela velocidade de aplicação. O volume de calda utilizado foi de 150 L ha<sup>-1</sup>.

O pulverizador costal possui dois nanômetros, sendo um na saída do cilindro de CO<sup>2</sup> e outro na barra de pulverização, permitindo monitoramento constante da pressão de trabalho. Ademais, o equipamento trabalha com volume de calda exata para a área a ser aplicada, e portanto, permite a identificação instantânea caso ocorra algum problema na aplicação.

No ensaio 1 (Tabela 4), foram realizadas quatro aplicações (Vn - enésimo nó vegetativo > R1 - início de floração > R1+14 dias > R1+28 dias) do fungicida multi-sítio em associação com fungicida específico, ao decorrer do ciclo da cultura.

No ensaio 2 (Tabela 5), com o propósito de analisar a aplicação isolada ou associada dos fungicidas multi-sítio ao fungicida sítio-específico, foram realizadas oito aplicações de cada fungicida multi-sítio, quatro aplicações (Vn > R1 > R1+14 > R1+28) em associação com fungicida específico, e quatro pulverizações (Vn+7 > R1+7 > R1+21 > R1+35) isoladamente, em caráter sequencial de 7 dias após a aplicação do fungicida de ação sítio específico.

No ensaio 3 (Tabela 6), a propósito de analisar o estágio fenológico da planta e dos fungicidas multi-sítio, foram realizadas duas aplicações, posicionadas em três intervalos fenológicos (Vn > R1; R1 > R1+ 14; R1+14 > R1+28), totalizando seis aplicações para cada fungicida multi-sítio.

#### **4.5 Variáveis mensuradas**

##### **4.5.1 Severidade da ferrugem asiática**

As avaliações de severidade foram realizadas a partir da escala proposta por Godoy et al. (2006). Foram avaliados cinco trifólios (um por planta) das três linhas centrais de cada

parcela, de acordo com o progresso da doença nos terços inferior, médio e superior. As avaliações foram realizadas em pré-pulverização, e dois dias após cada aplicação, constituindo seis avaliações para cada ensaio. As mesmas ocorreram de 28/02 a 17/04/2019. A Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) foi calculada a partir da soma das áreas trapezoidais da curva (Campbell & Madden, 1990).

#### 4.5.2 Produtividade e massa de mil grãos (MMG)

A produtividade da soja foi mensurada, a partir da colheita da área útil da parcela (3 linhas centrais x 4 metros lineares = 8 m<sup>2</sup>). As plantas foram arrancadas manualmente e trilhadas em bateadeira estacionária (Figura 8). A massa de grãos resultante de cada parcela, foi acondicionada em sacos de papel e transportada até o laboratório, realizando a pesagem, determinação de umidade e massa de mil grãos (MMG).



**Figura 8.** Diagrama (produtividade e massa de mil grãos - MMG). Colheita manual da área útil da parcela (A); trilhagem das plantas em bateadeira estacionária (B); pesagem e conseguinte medição de umidade (C); massa de 1000 grãos (D).

#### 4.6 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 6 linhas de soja com 6m de comprimento por 3 m de largura (3 x 6m), totalizando 18 m<sup>2</sup> de área total. A área útil de cada parcela foi composta por 3 linhas centrais de 4 metros de comprimento, excluindo 0,5 m das extremidades referentes as bordaduras, obtendo 11 m<sup>2</sup>. Os fungicidas utilizados, ensaios e respectivos tratamentos estão dispostos nas tabelas 3, 4, 5 e 6.

**Tabela 3.** Fungicidas utilizados, com seus respectivos nomes comerciais, princípios ativos e concentrações de ingrediente ativo e doses.

Princípio ativo	Nome comercial	g ia ha <sup>-1</sup> *	L ou kg ha <sup>-1</sup> **
Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem	Fox Xpro	15 + 175 + 125	0,4
Fenpropimorfe	Versatilis	750	0,3
Mancozebe	Unizeb Gold	750	2,5
Difenoconazol + Ciproconazol	Cypress	250 + 150	0,3
Oxicloreto de cobre	Difere	588	1,5
Clorotalonil	Previnil	720	1,8

\*dose de ingrediente ativo (ia); \*\*dose do produto comercial.

**Tabela 4.** Tratamentos do ensaio “Eficiência”, com aplicação de [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]\* como fungicida base e os fungicidas adicionais (\*).

Tratamentos	Dose (L, kg ha <sup>-1</sup> )	Estádio de aplicação
Testemunha	-	-
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> *	0,4	Vn > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + [Mancozebe]	0,4 + 2,5	Vn > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + [Clorotalonil]	0,4 + 1,8	Vn > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + [Oxicloreto de Cu]	0,4 + 1,5	Vn > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + [Fenpropimorfe]	0,4 + 0,3	Vn > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + [Difenoconazol + Ciproconazol]	0,4 + 0,3	Vn > R1 > R1+14 > R1+28

\*Produtos comerciais: Fox Xpro (Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem); Unizeb Gold (Mancozebe); Previnil (Clorotalonil); Difere (Oxicloreto de Cobre); Versatilis (Fenpropimorfe); Cypress (Difenoconazol + Ciproconazol). <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v). Estádios fenológicos: Vn (enésimo nó vegetativo), R1 (início de floração), R1 + 14 dias, R1 + 28 dias. O símbolo > (maior que) separa os momentos das aplicações.

**Tabela 5.** Tratamentos do ensaio “Aplicação associada ou sequencial”, com aplicação de [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]\* como fungicida base e os fungicidas adicionais.

Tratamentos	Dose (L, kg ha <sup>-1</sup> )	Estádio de aplicação
Testemunha	-	-
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup>	0,4	V <sub>n</sub> > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Mancozebe	0,4 + 2,5	V <sub>n</sub> > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> / Mancozebe	0,4 / 2,5	V <sub>n+7</sub> > R1+7 > R1+21 > R1+35
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Clorotalonil	0,4 + 1,8	V <sub>n</sub> > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> / Clorotalonil	0,4 / 1,8	V <sub>n+7</sub> > R1+7 > R1+21 > R1+35
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu	0,4 + 1,5	V <sub>n</sub> > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> / Oxicloreto de Cu	0,4 / 1,5	V <sub>n+7</sub> > R1+7 > R1+21 > R1+35
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Fenpropimorfe	0,4 + 0,3	V <sub>n</sub> > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> / Fenpropimorfe	0,4 / 0,3	V <sub>n+7</sub> > R1+7 > R1+21 > R1+35
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol	0,4 + 0,3	V <sub>n</sub> > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> / Difenconazol + Ciproconazol	0,4 / 0,3	V <sub>n+7</sub> > R1+7 > R1+21 > R1+35

\*Produtos comerciais: Fox Xpro (Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem); Unizeb Gold (Mancozebe); Previnil (Clorotalonil); Difere (Oxicloreto de Cobre); Versatilis (Fenpropimorfe); Cypress (Difenconazol + Ciproconazol). <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v). O símbolo de adição (+) representa aplicações associadas, enquanto a barra comum (/) aplicações sequenciadas. Nas aplicações sequenciais dos multi-sítio, as pulverizações ocorreram 7 dias após o fungicida específico. Estádios fenológicos: V<sub>n</sub> (enésimo nó vegetativo), R1 (início de floração), R1 + 7 dias, R1 + 14 dias, R1 + 21 dias, R1 + 28 dias. O símbolo > (maior que) separa os momentos das aplicações.

**Tabela 6.** Tratamentos do ensaio “Estádio fenológico” com aplicação de [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]\* como fungicida base e os fungicidas adicionais.

Tratamentos	Dose (L, kg ha <sup>-1</sup> )	Estádio de aplicação
Testemunha	-	-
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup>	0,4	Vn > R1 > R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Mancozebe	0,4 + 2,5	Vn > R1
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Mancozebe	0,4 + 2,5	R1 > R1+14
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Mancozebe	0,4 + 2,5	R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Clorotalonil	0,4 + 1,8	Vn > R1
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Clorotalonil	0,4 + 1,8	R1 > R1+14
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Clorotalonil	0,4 + 1,8	R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu	0,4 + 1,5	Vn > R1
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu	0,4 + 1,5	R1 > R1+14
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu	0,4 + 1,5	R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Fenpropimorfe	0,4 + 0,3	Vn > R1
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Fenpropimorfe	0,4 + 0,3	R1 > R1+14
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Fenpropimorfe	0,4 + 0,3	R1+14 > R1+28
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol	0,4 + 0,3	Vn > R1
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol	0,4 + 0,3	R1 > R1+14
[Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] <sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol	0,4 + 0,3	R1+14 > R1+28

\*Produtos comerciais: Fox Xpro (Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem); Unizeb Gold (Mancozebe); Previnil (Clorotalonil); Difere (Oxicloreto de Cobre); Versatilis (Fenpropimorfe); Cypress (Difenconazol + Ciproconazol). <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v) Estádios fenológicos: Vn (enésimo nó vegetativo), R1 (início de floração), R1 + 14 dias, R1 + 28 dias. O símbolo > (maior que) separa os momentos das aplicações.

#### **4.7 Análise de dados**

O delineamento experimental utilizado nos ensaios foi blocos ao acaso, cada tratamento contendo quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e quando significativos foram comparados por meio do teste de Skott Knott ( $p \leq 0.05$ ).

A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do programa estatístico AgroEstat® (Barbosa & Maldonado, 2015). Os gráficos e regressões foram gerados no software SigmaPlot® (versão 10.0 para ambiente Windows) e AgroEstat®.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As condições ambientais durante a condução dos experimentos permitiram o desenvolvimento da soja e da doença. A ferrugem asiática ocorreu nos três ensaios e as variáveis AACPD, produtividade e MMG (massa de mil grãos) foram significativamente afetadas pelos fungicidas utilizados. Os tratamentos com associações de fungicidas sítio-específico e multi-sítio apresentaram maior controle da doença em relação ao tratamento contendo apenas fungicidas específicos, e consequentemente conferindo incremento na produtividade. As associações não apresentaram fitotoxicidade, com exceção do tratamento associação [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem] + Fenpropimorfe.

#### **5.1 Área abaixo da curva do progresso da ferrugem asiática (AACPD)**

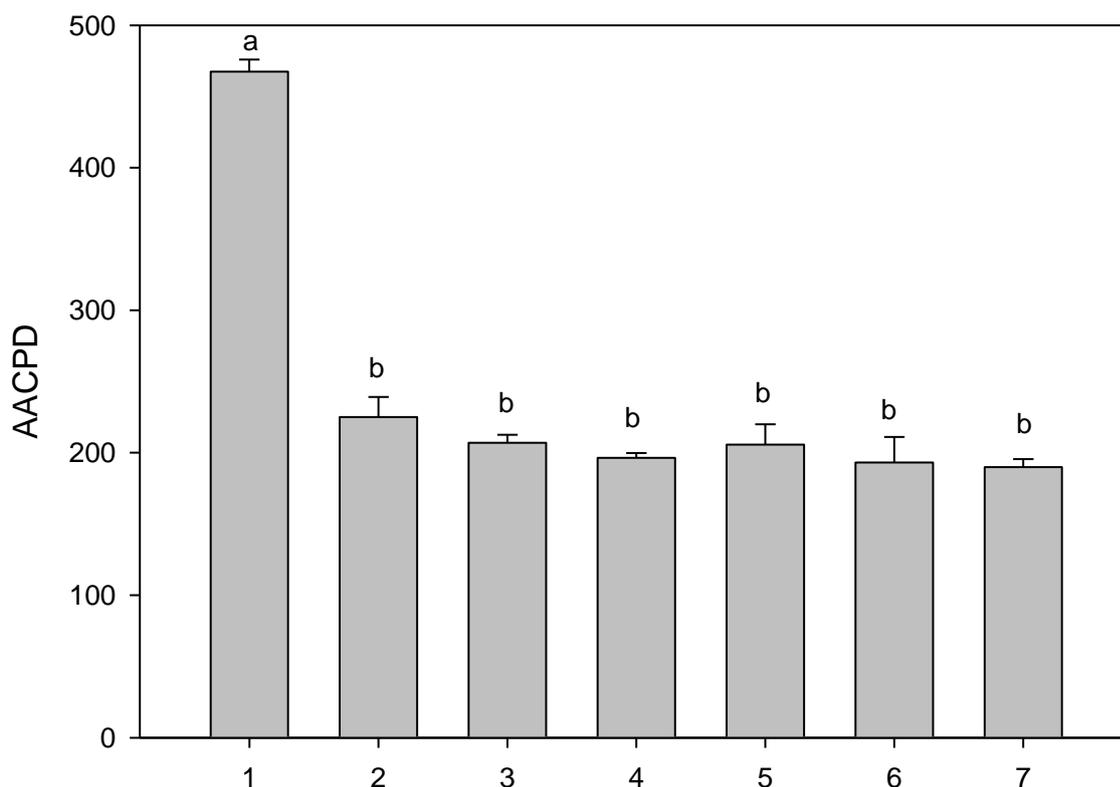
A AACPD foi consideravelmente afetada pelos tratamentos fungicidas. A ferrugem asiática foi reduzida significativamente em resposta à aplicação dos fungicidas, independente do fungicida, em relação ao tratamento testemunha. Os tratamentos associações entre fungicidas multi-sítio (Mancozebe; Clorotalonil; Oxiclureto de cobre; Fenpropimorfe; Difenocanazol + Ciproconazol) e específico base (Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem) apresentaram resultados semelhantes, obtendo maior controle da FAS, comparado com o fungicida sítio-específico isolado (Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem)

(Figura 9). Em estudo semelhante, realizado por Camargo (2017), todos os tratamentos com associação entre fungicidas de ação sítio-específico e multi-sítio, apresentaram melhor eficiência de controle do que o tratamento apenas com o fungicida específico isolado. Os fungicidas multi-sítio em uso com fungicidas específicos tem apresentado variações de 50% a 80% no controle da doença (Camargo, 2017).

Os fungicidas considerados multi-sítio, como mancozebe, clorotalonil e cúpricos atuam generalizadamente em vários sítios metabólicos da célula fúngica, pois são fungicidas de contato, erradicativos e com amplo espectro de ação. Por tais particularidades, o modo de ação dos mesmos contribui para maior eficiência no controle da FAS e no manejo da resistência fúngica (Reis et al., 2007; Zambolim, 2007 Reis et al., 2017;).

As associações com fungicidas inibidores da desmetilação (DMI's), pertencentes aos grupos morfolina (Fenpropimorfe) e triazóis (Difenoconazol + Ciproconazol) mostraram o melhor controle da FAS (Figura 9). Em estudo semelhante, o fenpropimorfe apresentou toxicidade para 9 de 12 isolados provenientes de MT; RS; SC; SP, apresentando CL<sub>50</sub> (50% de urédínias) entre 1 e 10 mg L<sup>-1</sup> (Chechi, 2019).

O fenpropimorfe, por sua recente introdução em tal patossistema, apresenta alta eficiência no controle da doença. Por ser um fungicida inibidor da desmetilação, possui alta fungitoxicidade, elevada penetração e translocação rápida. Ademais atua em enzimas distintas de outros fungicidas DMI's, não ocorrendo a resistência cruzada com os triazóis, por exemplo (Forcellini, 2001; Frac, 2019).

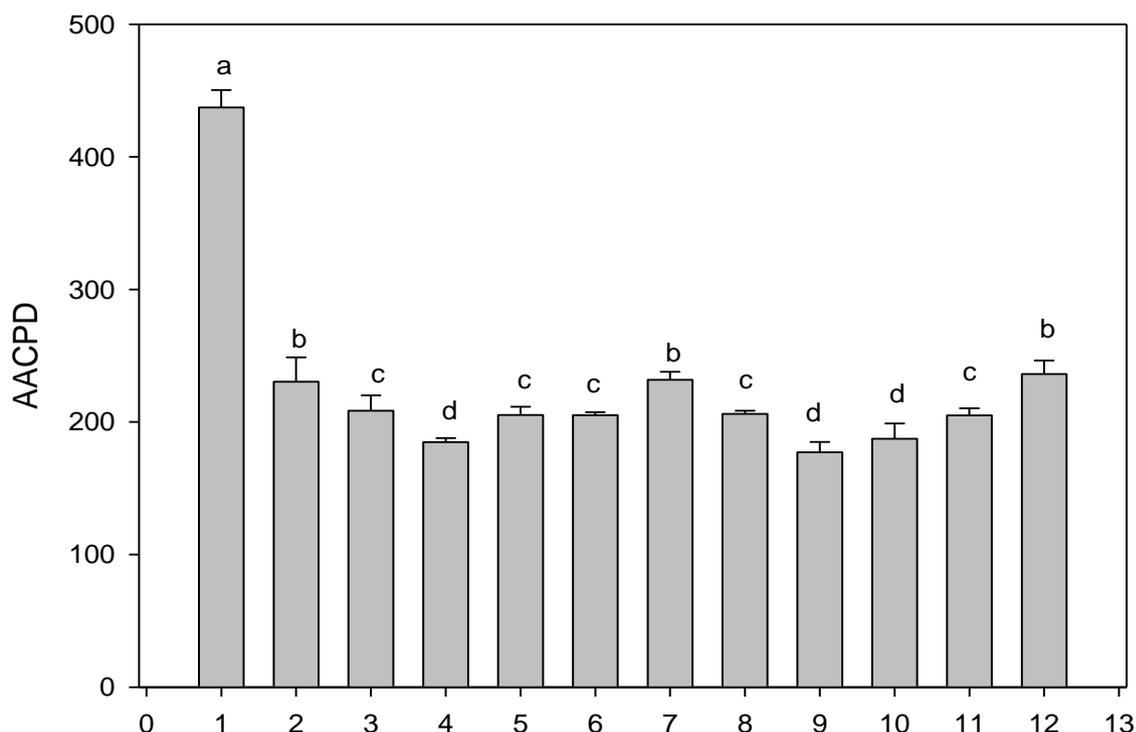


**Figura 9.** Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD), submetido a tratamento com fungicidas; (Ensaio: Eficiência); As barras verticais representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Letras comparam tratamentos fungicidas pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott a 5 % de probabilidade. Os desvios padrões estão representados pelas barras finas abaixo das letras. As aplicações ocorreram nos seguintes estádios fenológicos:  $V_n > R_1 > R_{1+14} > R_{1+28}$ . **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup>; 3: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Mancozebe]; 4: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Clorotalonil]; 5: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Oxicloreto de Cu]; 6: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Fenpropimorfe]; 7: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Difenoconazol + Ciproconazol]. <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v)

Com relação a mistura ou não dos fungicidas específicos com os multi-sítios, ficou evidenciado que as aplicações sequenciais dos multi-sítio (sete dias após a aplicação do fungicida de ação sítio específico) obteve melhor desempenho no controle da FAS. De maneira geral, o tratamento com maior eficiência de controle em tal quesito foi o mancozebe, em sequência de sete dias após a aplicação do fungicida específico (Figura 10). Behm et al. (2015) relata que plantas que receberam o tratamento com a adição de mancozebe

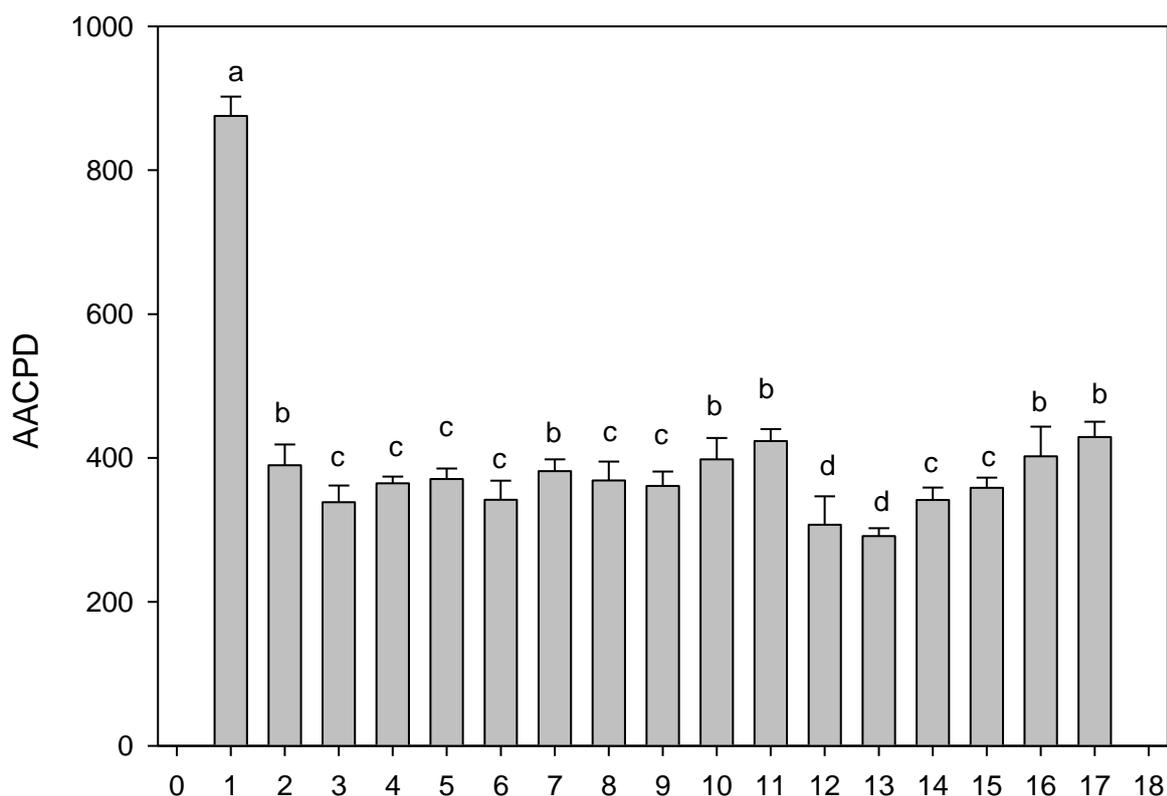
apresentaram maior controle, e desfolha mais tardia quando comparado com outros fungicidas multi-sítio.

O fungicida mancozebe, por possuir uma camada externa rica em zinco, promove uma barreira polimericamente estruturada, sendo estável e de baixa solubilidade, gerando regulação no período residual da molécula. Portanto o tempo de efeito protetor do fungicida se torna maior em relação a outros fungicidas. (Reis, 2015).



**Figura 10.** Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD), submetido a tratamento com fungicidas; Ensaio: Aplicação associada ou sequencial; As barras verticais representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. A barra comum representa aplicações sequenciais dos multi-sítios (7 dias após a pulverização do fungicida específico). As aplicações ocorreram nos seguintes estádios fenológicos: Vn > R1 > R1+14 > R1+28 (associados); Vn+7 > R1+7 > R1+21 > R1+35 (barra / sequenciais). Letras comparam tratamentos fungicidas pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott a 5 % de probabilidade. Os desvios padrões estão representados pelas barras finas abaixo das letras. **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup>; 3: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe; 4: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> /\* Mancozebe; 5: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil; 6: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Clorotalonil; 7: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxiclreto de Cu; 8: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Oxiclreto de Cu; 9: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe; 10: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Fenpropimorfe; 11: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol; 12: [Trifloxistrobina + Protiocoazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Difenconazol + Ciproconazol<sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v)

Quanto ao estágio fenológico dos fungicidas multi-sítio, cada associação obteve especificidades nos estádios de aplicações. Porém em praticamente todos os tratamentos, o momento das duas aplicações posicionadas entre Vn e R1, obtiveram as maiores porcentagens de controle (Figura 11). A exceção foi a associação dos fungicidas específico (Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem) + Fenpropimorfe, que apresentou melhor controle da doença no intervalo de aplicações R1 > R1 + 14 dias, e que em geral foi o mais eficiente. Em estudo realizado por Reis et al. (2017), onde realizou aplicações iniciais entre Vn e R1, previamente ao estabelecimento da doença e primeiros sintomas (geralmente a partir de plena floração - R1/R2), os fungicidas multi-sítio apresentaram melhor eficiência, ao entanto sendo funcionais como fungicidas protetores. Os fungicidas multi-sítio, por serem protetores, devem ser aplicados previamente a deposição do inóculo nos sítios de infecção do hospedeiro (pré-penetração), através da formação de uma camada protetora na superfície da cutícula, impedindo a germinação do esporo do fungo, entretanto aplicações preventivas permitem maior período de proteção (Kimati, 1995; Reis et al., 2010; Reis et al., 2015).



**Figura 11.** Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD), submetido a tratamento com fungicidas (Ensaio: Estádio fenológico); As barras verticais representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Letras comparam tratamentos fungicidas pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott a 5 % de probabilidade. Os desvios padrões estão representados pelas barras finas abaixo das letras. **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> (Vn > R1 > R1+14 > R1+28); 3: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (Vn > R1); 4: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (R1 > R1+14); 5: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (R1+14 > R1+28); 6: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (Vn > R1); 7: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (R1 > R1+14); 8: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (R1+14 > R1+28); 9: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (Vn > R1); 10: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (R1 > R1+14); 11: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (R1+14 > R1+28); 12: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (Vn > R1); 13: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (R1 > R1+14); 14: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (R1+14 > R1+28); 15: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol (Vn > R1); 16: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol (R1 > R1+14); 17: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol (R1+14 > R1+28). <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v)

É inferente que a associação entre fungicidas sítio-específico e multi-sítio promove maior controle da ferrugem asiática, em comparação com a utilização isoladamente dos fungicidas específicos, sendo possível afirmar que as associações são essenciais no manejo da resistência fúngica, devido a ação em vários sítios da célula fúngica, reduzindo a seleção direcional. Portanto se faz presente conhecer a tecnicidade das associações, para a utilização

da maneira mais sustentável e maximizada possível. Em estudos semelhantes, é relatado que uma das alternativas para a manutenção da eficiência de IDM's (inibidores da desmetilação/triazóis), IQe's (inibidores da quinona externa/estrobilurinas) e ISD (inibidores da succinato desidrogenase / carboxamidas) é a associação de fungicidas específicos com protetores de ação multi-sítio (Godoy, 2012). As associações geram aumento na quantidade de sítios afetados na célula fúngica, ocasionando menor probabilidade de mutações, protegendo as moléculas com mecanismo de ação sítio-específico em relação a ocorrência de resistência (Ballardin, 2017; Godoy et al., 2017).

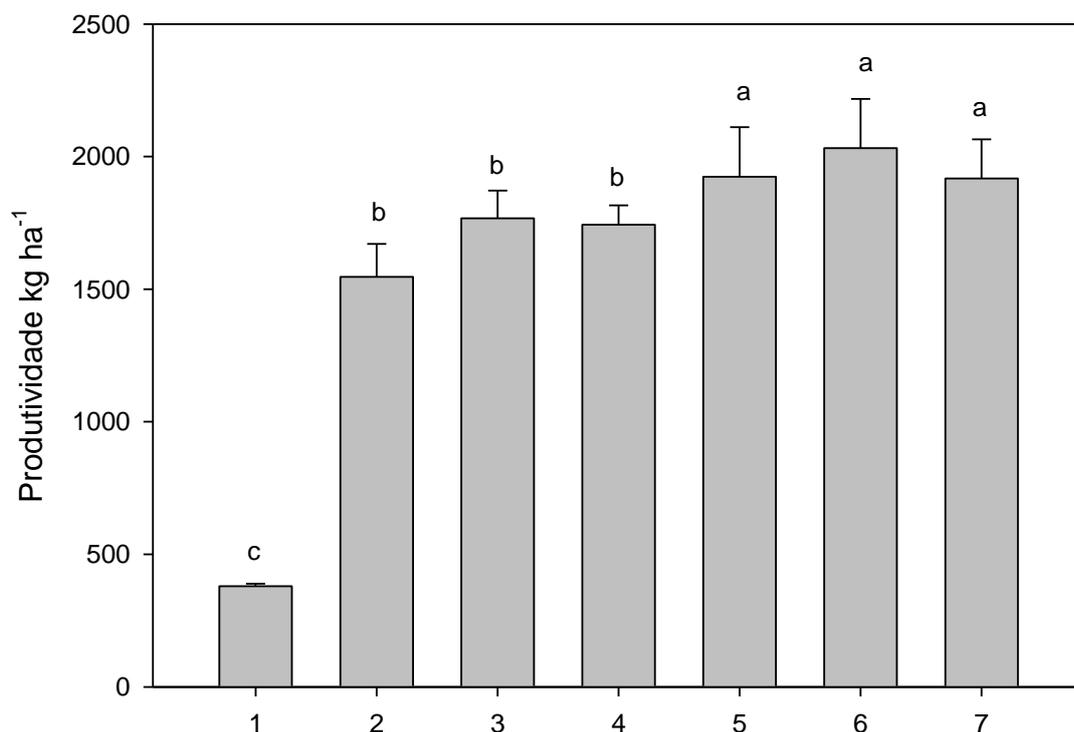
## **5.2 Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)**

A produtividade da cultura foi influenciada pelos fungicidas testados. Todas as parcelas com fungicidas apresentaram maior produtividade que o tratamento testemunha, independente do ensaio em questão. A redução da produtividade, nos tratamentos testemunhas variou de 17,64 a 38 % (Figura 12). Em estudo realizado por Godoy et al. (2018) a redução média de produtividade entre o tratamento com a maior produtividade (clorotalonil, apresentando 4329 kg ha<sup>-1</sup>; 72 sc ha<sup>-1</sup>) e a testemunha sem fungicida (2947 kg ha<sup>-1</sup>; 49 sc ha<sup>-1</sup>) foi de 32%. Cerezolli et al. (2018), relata que os tratamentos com associações de fungicidas sítio-específico e multi-sítio (mancozebe, clorotalonil, oxicloreto de cobre) geraram rendimentos variando de 5346 à 6098 kg ha<sup>-1</sup> (89 a 102 sc ha<sup>-1</sup>), confrontando com 4892,4 kg ha<sup>-1</sup> (81 sc ha<sup>-1</sup>) da testemunha.

Fungicidas específicos e multi-sítio por comumente diminuírem a severidade da doença, promovem manutenção ou incremento no teor de clorofila e resultam na redução do amarelecimento e senescência das plantas, prolongando o período de atividade fotossintética. Logo, plantas com uma maior concentração de clorofila ao longo do ciclo, acumulam maior quantidade de massa ao final do ciclo, interferindo na produtividade (Freitas, 2014).

No ensaio referente à eficiência, a associação [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] + Fenpropimorfe atingiu o melhor incremento em produtividade (Figura 12), com 2040 kg ha<sup>-1</sup> (34 sc ha<sup>-1</sup>). Em sequência, as associações do fungicida específico base mencionado, com Protioconazol/Difenoconazol e Oxicloreto de cobre obtiveram 1920 kg ha<sup>-1</sup> (32 sc ha<sup>-1</sup>). Os demais tratamentos obtiveram variações de 1560 a 1740 kg ha<sup>-1</sup> (26 a 29 sc ha<sup>-1</sup>), em comparação com a produtividade do tratamento testemunha, que foi de 360 (6 sc ha<sup>-1</sup>) (Figura 13). Em estudo realizado por Godoy et al. (2018), as menores produtividades foram observadas para os tratamentos com fungicidas multi-sítio isolados (clorotalonil, mancozebe, cúprico). Juliatti et al. (2015), em análise da sensibilidade de *P. pachyrhizi* em bioensaios in vitro e in vivo, relata a necessidade de uso de fungicidas multi-sítio (clorotalonil, mancozebe, cúpricos, entre outros) associados a fungicidas específicos (carboxamidas, estrobilurinas e triazóis), com o intuito de redução da seleção direcional, estabelecendo estratégias para estabilizar a eficácia de controle, portanto gerando ganhos em produtividade.

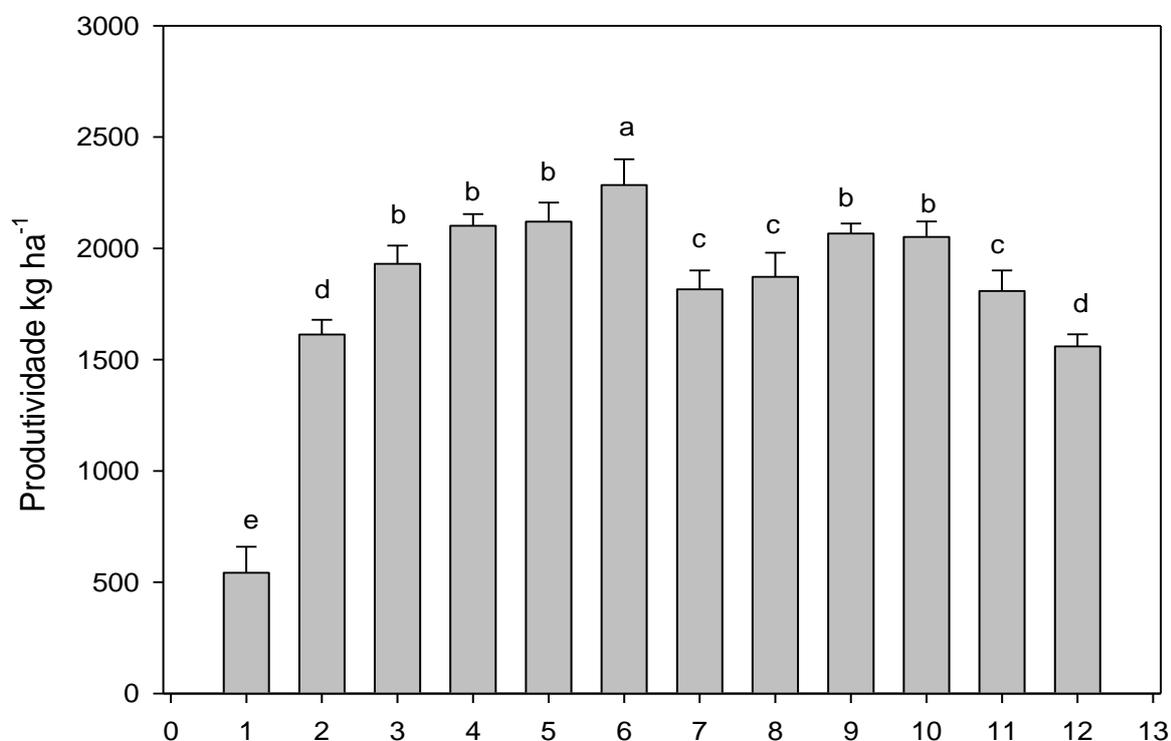
A baixa eficiência de ingredientes ativos utilizados isoladamente, se deve ao número limitado de diferentes modos de ação de fungicidas disponíveis para controle da FAS, combinado a populações de fungos resistentes aos fungicidas específicos. Deste modo, associar moléculas de ação sítio-específico e multi-sítio, é uma estratégia tanto de controle quanto manejo de resistência fúngica (Godoy, 2018).



**Figura 12.** Produtividade da soja submetido a fungicidas. Ensaio: Eficiência. As barras verticais representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Letras comparam tratamentos fungicidas pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott a 5 % de probabilidade. \*Dados apresentados representam a média das 4 repetições de cada tratamento. As aplicações ocorreram nos seguintes estádios fenológicos:  $V_n > R1 > R1+14 > R1+28$ . Os desvios padrões estão representados pelas barras finas abaixo das letras. **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup>; 3: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Mancozebe]; 4: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Clorotalonil]; 5: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Oxicloreto de Cu]; 6: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Fenpropimorfe]; 7: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Difenoconazol + Ciproconazol]. <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v).

Geralmente, os fungicidas multi-sítio aplicados 7 dias após a pulverização do fungicida específico base, proporcionaram melhores produtividades, em comparação com a aplicação mista (Figura 13). A associação [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem] / Clorotalonil (aplic. sequencial) e [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem] + Clorotalonil (aplic. associada) atingiram os melhores incrementos em produtividade, com 2280 kg ha<sup>-1</sup> (38 sc ha<sup>-1</sup>) e 2100 kg ha<sup>-1</sup> (35 sc ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Em sequência, [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem] + Mancozebe (aplic. associada) obtiveram 2100 kg ha<sup>-1</sup> (35 sc ha<sup>-1</sup>). Em trabalho semelhante, realizado por Godoy et al. (2016), as maiores produtividades

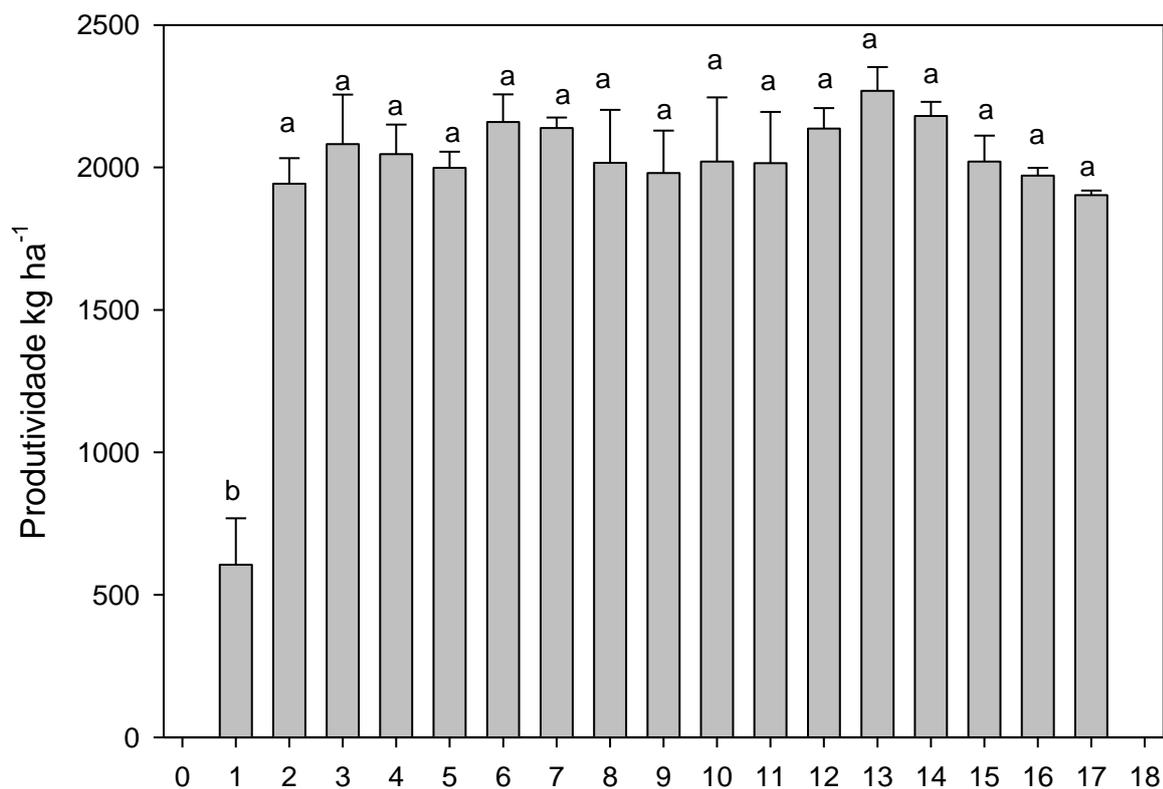
foram obtidas com aplicações em associação de [picoxistrobina + ciproconazol] + mancozebe (2932 kg ha<sup>-1</sup>; 49 sc ha<sup>-1</sup>); [picoxistrobina + ciproconazol] + clorotalonil (2876 kg ha<sup>-1</sup>; 48 sc ha<sup>-1</sup>). Plantas que recebem tratamento com mancozebe, evidenciam desfolha mais tardia, por o princípio ativo conter efeito fisiológico, devido a presença dos micronutrientes zinco e manganês, o que pode ser correlacionado com a produtividade, pois as plantas apresentam um período maior de atividade fotossintética durante o enchimento de grãos (Reis & Floss, 1980; Souza, 2017).



**Figura 13.** Produtividade da soja submetido a fungicidas. Ensaio: Aplicação associada ou sequencial. As barras verticais representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Letras comparam tratamentos fungicidas pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott a 5 % de probabilidade. \*Dados apresentados representam a média das 4 repetições de cada tratamento. \*A barra comum representa aplicações sequenciais dos multi-sítios (7 dias após a pulverização do fungicida específico). Os desvios padrões estão representados pelas barras finas abaixo das letras. As aplicações ocorreram nos seguintes estádios fenológicos: Vn > R1 > R1+14 > R1+28 (associados); Vn+7 > R1+7 > R1+21 > R1+35 (barra comum/sequenciais). **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup>; 3: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe; 4: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> / \* Mancozebe; 5: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil; 6: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Clorotalonil; 7: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxiclreto de Cu; 8: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Oxiclreto de Cu; 9: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe; 10: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Fenpropimorfe; 11: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol; 12: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Difenconazol + Ciproconazol. <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v).

No ensaio de estágio fenológico dos fungicidas, todos os tratamentos fungicidas obtiveram incrementos superiores em produtividade, comparativamente ao tratamento testemunha. Porém, ao contrário da AACPD, não existiu diferença estatística entre os tratamentos, variando de 1920 a 2280 kg ha<sup>-1</sup> (32 a 38 sc ha<sup>-1</sup>). É importante ressaltar que nos intervalos fenológicos testados para cada fungicida multi-sítio, a variação média de produtividade foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> (2 sc ha<sup>-1</sup>). A associação [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] + Fenpropimorfe (R1 > R1 + 14) atingiu o melhor incremento em produtividade, com 2280 kg ha<sup>-1</sup> (38 sc ha<sup>-1</sup>). Em sequência, os tratamentos Fenpropimorfe (Vn > R1); fenpropimorfe (R1 + 14 > R1 + 28); clorotalonil (Vn > R1); clorotalonil (R1 > R1 + 14) atingiram 2160 kg ha<sup>-1</sup> (36 sc ha<sup>-1</sup>). A produtividade do tratamento testemunha foi de 600 kg ha<sup>-1</sup> (10 sc ha<sup>-1</sup>) (Figura 14). Resultados semelhantes foram obtidos em estudo realizado por Cagliari (2018), em que aplicações preventivas (Vn > R1) de fungicidas multi-sítio associados a fungicidas específicos, proporcionaram um aumento da produtividade. No entanto, quando a aplicação ocorreu no aparecimento dos primeiros sintomas ou tardiamente, a adição de multi-sítio não proporcionou aumento significativo.

Quanto ao momento das aplicações, quando as mesmas iniciam após o estabelecimento da doença, o período residual dos fungicidas é menor, conseqüentemente estendendo o tempo sem ação do fungicida (protetor, erradicativo, terapico), ocasionando maior esporulação do fungo e conseqüente aumento da área foliar lesionada (Ballardin & Madalosso, 2014).



**Figura 14.** Produtividade da soja (kg ha<sup>-1</sup>). Ensaio: estágio fenológico. As barras representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Os desvios padrões estão representados pelas barras finas abaixo das letras. **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> (Vn > R1 > R1+14 > R1+28); 3: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (Vn > R1); 4: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (R1 > R1+14); 5: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (R1+14 > R1+28); 6: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (Vn > R1); 7: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (R1 > R1+14); 8: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (R1+14 > R1+28); 9: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (Vn > R1); 10: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (R1 > R1+14); 11: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (R1+14 > R1+28); 12: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (Vn > R1); 13: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (R1 > R1+14); 14: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (R1+14 > R1+28); 15: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol (Vn > R1); 16: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol (R1 > R1+14); 17: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol (R1+14 > R1+28). <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v).

Dentre os diferentes fatores relacionados com o decréscimo de produtividade, a ferrugem asiática foi a principal responsável pela queda produtiva na cultura. As regressões polinomiais, realizadas por meio do software AgroEstat®, evidenciaram relação negativa entre a AACPD e a produtividade da soja (Tabela 7).

**Tabela 7.** Regressões entre a área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática (AACPD) e a produtividade da soja.

Ensaio	F	R <sup>2</sup>	Equação
Eficiência	150,04**	0,862	$y = 2917,450 - 5,408x$
Aplicação Associada ou Sequencial	242,43**	0,845	$y = 3195,471 - 6,108x$
Estádio Fenológico	365,20**	0,846	$y = 3053,659 - 2,731x$

x: AACPD; y: Produtividade. \*\* Significativo a 1%.

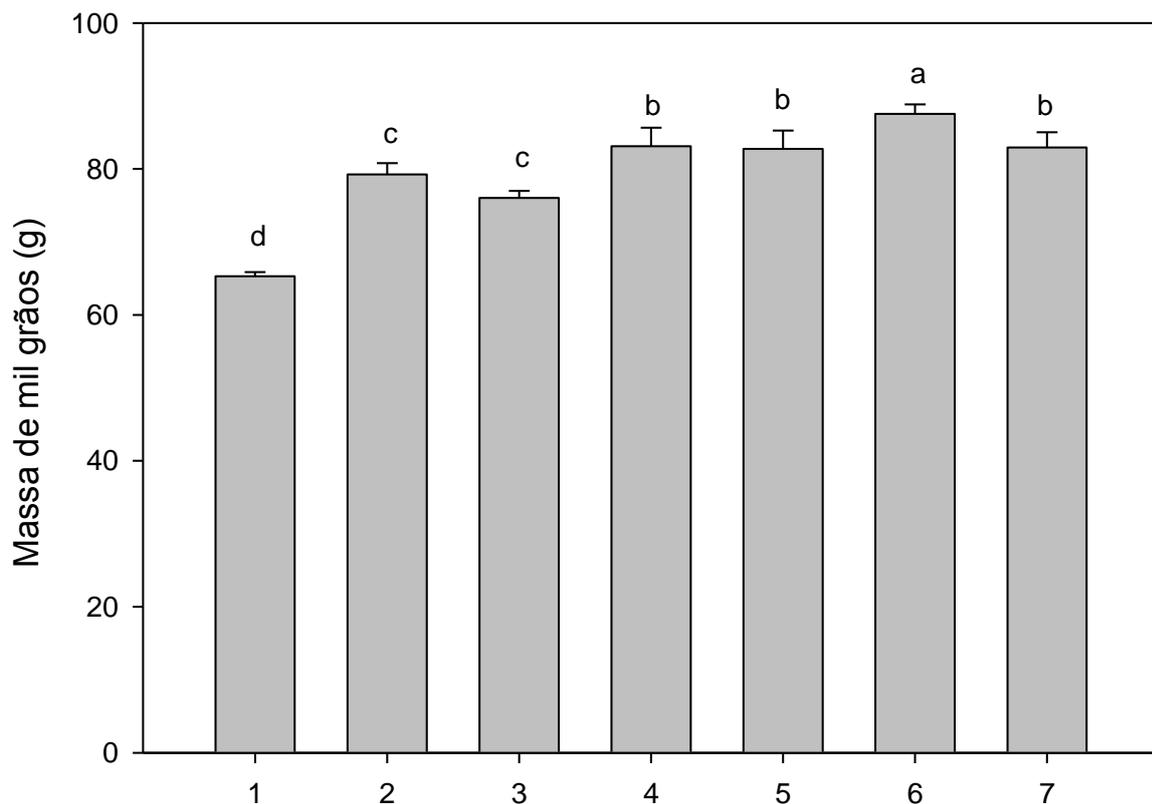
### 5.3 Massa de mil grãos (MMG)

Em semelhança a AACPD e produtividade, a MMG foi significativamente influenciada pela FAS. Na análise dos ensaios, demonstrou-se que o efeito dos fungicidas foi semelhante nos três ensaios, contribuindo para maior MMG, devido à menor AACPD. As variações médias de todos os tratamentos foram de 65 a 152 g (Figuras 15, 16 e 17). Em relação a variação da MMG da testemunha com os tratamentos fungicidas, Soares et al. (2004) demonstraram que plantas severamente infectadas por *P. pachyrhizi*, apresentam intensa desfolha precoce, influenciando na formação de flores, retenção de vagens e enchimento de grãos.

As variações entre os tratamentos fungicidas foram de 76 a 88g, enquanto a testemunha foi 65g. A associação que apresentou maior MMG foi [Trifloxistrobina + Protióconazol + Bixafem] + Fenpropimorfe. Já, o tratamento com menor incremento foi a associação [Trifloxistrobina + Protióconazol + Bixafem] + Mancozebe (Figura 15). Em trabalhos semelhantes, as aplicações de fungicidas multi-sítio em associação a sítio-específico demonstraram respostas positivas, atingindo MMG maiores que nos tratamentos com aplicações isoladas de fungicidas sítio-específicos (Furlan et al., 2016; Juliatti et al., 2016).

O aumento na MMG nas associações, se comparadas aos fungicidas específicos isolados, está relacionada com a redução da área foliar lesionada, pois as combinações de fungicidas aumentam o número de sítios metabólicos do fungo afetados pelos princípios

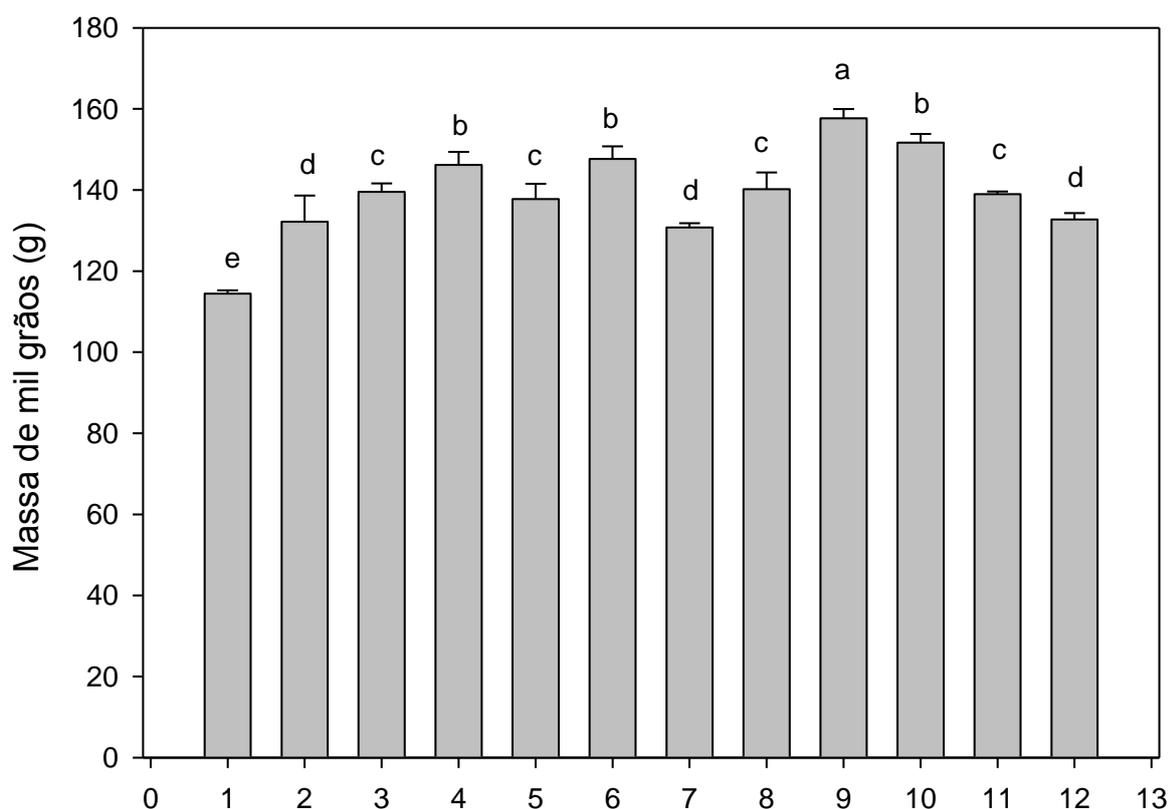
ativos distintos, com isto, reduzindo a doença (Yorinori 2004). A FAS comumente ingressa na cultura na floração (R1) e as plantas tendem a redirecionar o metabolismo para alternativas de defesa, diminuindo a atividade fotossintética e induzindo a redução de absorção de CO<sub>2</sub>, o que provoca o abortamento de flores e vagens, ocasionando menor peso final de grãos (Taiz & Zeiger, 2013).



**Figura 15.** Massa de mil grãos (g). Ensaio: Eficiência (Safrá 2018/19). Médias seguidas letras iguais não diferem (Skott Knott,  $p \leq 0,05$ ). Os desvios padrões estão representados pelas barras finas. As aplicações ocorreram nos estádios fenológicos, Vn > R1 > R1+14 > R1+28. **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup>; 3: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Mancozebe]; 4: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Clorotalonil]; 5: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Oxicloreto de Cu]; 6: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Fenpropimorfe]; 7: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + [Difenoconazol + Ciproconazol]. <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v)

À semelhança da produtividade, as aplicações sequenciais (sete dias após o fungicida específico), mostraram maior MMG, inclusive os fungicidas sítio-específico [Trifloxistrobina

+ Protioconazol + Bixafem] + Fenpropimorfe; [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] + [Difenoconazol + Ciproconazol]. Incluindo todos os tratamentos, a variação de MMG foi de 114 a 158 g. O maior incremento de MMG foi na associação [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] + Fenpropimorfe (associada / mistura) (Figura 16). O fenpropimorfe, por possuir translocação rápida dentro dos tecidos vegetais, proporciona menor lixiviação do fungicida e maior período residual na planta, agindo como protetor e também como terapico, reduzindo a área foliar afetada pelo patógeno e mantendo maior produção de fotoassimilados, gerando maior incremento na MMG (Forcellini, 2001; Zambolim, 2007; Zambolim, 2016; Frac, 2019).



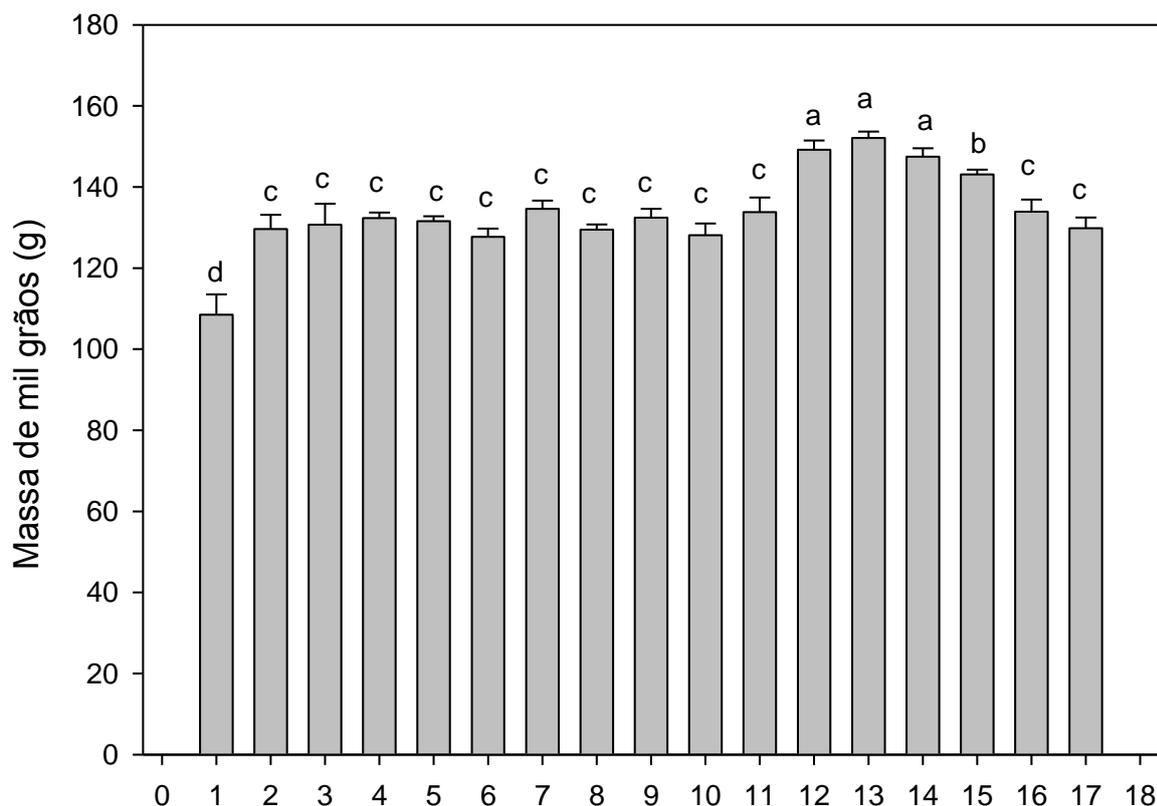
**Figura 16.** Massa de mil grãos (g). Ensaio: Aplicação associada ou sequencial. As barras representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). \*A barra representa aplicações sequenciais dos multi-sítios (7 dias após a pulverização do fungicida específico). Os desvios padrões estão representados pelas barras finas. As aplicações ocorreram nos seguintes estádios fenológicos: Vn > R1 > R1+14 > R1+28 (associados); Vn+7 > R1+7 > R1+21 > R1+35 (sequencial). **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup>; 3: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe; 4: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> / \* Mancozebe; 5: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil; 6: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Clorotalonil; 7: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu; 8: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Oxicloreto de Cu; 9: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe; 10: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Fenpropimorfe; 11: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenconazol + Ciproconazol; 12: [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem]<sup>1</sup> / Difenconazol + Ciproconazol. <sup>1</sup>Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v). \* A barra comum representa aplicações sequenciais dos multi-sítios (7 dias após a pulverização do fungicida específico).

Quanto ao estágio fenológico, em todos os intervalos fenológicos, os tratamentos com associações apresentaram maior massa de mil grãos que o tratamento testemunha e que o tratamento padrão (Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem). Os tratamentos fungicidas variaram a MMG de 128 a 152 g, em contraste com o tratamento testemunha (108 g). Cada fungicida multi-sítio/reforço apresentou particularidades em relação ao melhor intervalo

fenológico para o componente de rendimento MMG. No entanto, a associação que apresentou diferenças entre si foi nos tratamentos incluindo o clorotalonil e difenoconazol / ciproconazol, onde se mostraram melhor posicionados em  $V_n > R_1$ .

A disseminação da doença, devido a alta esporulação do patógeno, ocorre com maior severidade em áreas onde o início das aplicações de fungicidas não ocorrerem de maneira preventiva (pré-infeccional). Portanto com condições climáticas favoráveis e cultivar suscetível, a FAS evolui rapidamente, gerando decréscimo na produtividade. A diminuição da produtividade decorrente da ferrugem se deve à queda prematura das folhas, abortamento das flores e vagens e deficiência na granação (Yassue, 2018).

Na maioria das associações, nos três intervalos fenológicos ( $V_n > R_1$ ;  $R_1 > R_1 + 14$ ;  $R_1 > R_1 + 28$ ) não apresentaram diferença estatística significativa quanto ao estágio fenológico (Figura 17). Kotz (2016) relata que a associação [Ciproconazol + Azoxistrobina] + Mancozebe, obteve o maior MMG quando realizado no estágio V6 (128,19 g), da cultura da soja, diferindo significativamente do controle efetuado em R1, no aparecimento dos primeiros sintomas (123,15 g). O mancozebe, por provocar resposta fisiológica na planta, promove maior retenção foliar e conseqüentemente maior produção de fotoassimilados, contribuindo com enchimento e qualidade dos grãos (Nomelini et al., 2010; Zanatto et al., 2018).



**Figura 17.** Massa de mil grãos (g). Ensaio: Estádio fenológico. As barras verticais representam resultados obtidos no ensaio conduzido durante a safra 2018/19. Letras comparam tratamentos fungicidas pelo teste de Skott Knott ( $p < 0.05$ ). Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Skott Knott a 5 % de probabilidade. Os desvios padrões estão representados pelas barras finas. **Tratamentos:** 1: Testemunha; 2: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> (Vn > R1 > R1+14 > R1+28); 3: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (Vn > R1); 4: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (R1 > R1+14); 5: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Mancozebe (R1+14 > R1+28); 6: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (Vn > R1); 7: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (R1 > R1+14); 8: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Clorotalonil (R1+14 > R1+28); 9: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (Vn > R1); 10: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (R1 > R1+14); 11: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Oxicloreto de Cu (R1+14 > R1+28); 12: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (Vn > R1); 13: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (R1 > R1+14); 14: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Fenpropimorfe (R1+14 > R1+28); 15: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenocanazol + Ciproconazol (Vn > R1); 16: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenocanazol + Ciproconazol (R1 > R1+14); 17: [Trifloxistrobina + Protiocanazol + Bixafem]<sup>1</sup> + Difenocanazol + Ciproconazol (R1+14 > R1+28). <sup>1</sup> Adição de adjuvante Aureo (0,25% v/v).

## 6. CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos permitem inferir que os tratamentos com associações de fungicidas sítio-específico com multi-sítio, reduziram significativamente a AACPD em relação ao tratamento contendo apenas fungicidas específicos, conferindo incremento na produtividade.
- A associação [Trifloxistrobina + Protioconazol + Bixafem] + Fenpropimorfe apresentou a melhor eficiência no controle da doença.
- Evidenciou-se que as aplicações sequenciais dos fungicidas multi-sítio no intervalo de 7 dias após o fungicida específico, apresentaram maior controle da FAS.
- Cada associação apresentou particularidades, quanto ao estágio fenológico mais eficiente. Porém em praticamente todos os tratamentos, o momento das duas aplicações, posicionadas no intervalo entre Vn (enésimo nó vegetativo) e R1 (início de floração), obtiveram as maiores porcentagens de controle.
- As associações entre fungicidas de ação sítio-específico e multi-sítio proporcionaram melhores controles e produtividades que o tratamento padrão (Protioconazol + Trifloxistrobina + Bixafem). Portanto, tal estratégia é recomendada no manejo integrado da FAS, com influência no controle do patógeno, ademais contribuindo no manejo da resistência fúngica, mantendo a estabilidade e eficiência das moléculas de ação específica já implementadas em programas de controle químico.

## 7. LITERATURA CITADA

ALMEIDA, A.M; FERREIRA, R.L; YORINORI, J; SILVA, A; HENNING, L.M; GODOY, C.V; COSTA, M; MEYER, M.C. 2005. Doenças de soja. Em: KIMATI, H; AMORIM, L; REZENDE, J.A.M; BERGAMIN, F; CAMARGO, L.E.A. (Eds.) Manual de Fitopatologia. Vol. 2 (4ta Ed.). Piracicaba, Livro Ceres: 376-399.

ANDRADE, P. J. M., E ANDRADE, D. F. A. 2002. Ferrugem asiática: uma ameaça a sojicultura brasileira. Dourados, EMBRAPA. Circular técnica:11.

BALARDIN, R.; MADALOSSO, M. G. 2014. Manejo para altas produtividades. Phytus Técnica, Santa Maria. 2014. 16p.

BALARDIN, R.S. 2017. Mancozebe, muito além de um fungicida. 1ª Edição: 25-30.

BEHM, Y, F. 2018. Eficiência de agroquímicos no controle da ferrugem asiática da soja com aplicações calendarizadas em cultivo tardio na região sudoeste do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 34 p.

BROMFIELD, K. R., AND E. E. HARTWIG. 1980. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. Crop Science 20: 254-255.

BROMFIELD, K.R. 1984. Soybean Rust. St. Paul, MN: American Phytopathologica Society. 66 p.

CAGLIARI, C., L. 2018. Momentos para a primeira aplicação de fungicidas associados a multissítios na cultura da soja. (Monografia) Universidade Federal da Fronteira do Sul, Cerro Largo. 34 p.

CAMARGO, R. 2017. Informativo Técnico (Nortox), Ferrugem asiática. Desenvolvimento de mercado GO, SP e MG. 7 p.

CHECHI, A. 2019. Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva, volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 131 p.

CHENG, Y. W., AND K. L. CHAN. 1968. The breeding of rust resistant soybean. Taiwan Agr. Res. 17: 30-34.

EMBRAPA. 2003. Tecnologias de produção de soja, Região Central do Brasil. Embrapa Soja. Londrina. 243 p.

FIALLOS F. R. G. 2011. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. Ciencia y Tecnología: 45-60

FORCELLINI, C. A.; GOELLNER, C. I.; MAY-DEMIO, L. L. 2001. Resistência de fungos a fungicidas. Revisão Anual de Patologia de Plantas, v.9: 339-381

FRAC. Informações sobre triazóis, estrobilurinas e carboxamidas em ferrugem da soja. 3 p. (Informativo 01/2019). Disponível em: <https://www.frac-br.org/soja> Acesso em: 25/agos/2019.

FREDERICK, R. D., SNYDER, C. L., PETERSON, G. L., AND BONDE, M. R. 2002. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. Phytopathology 92: 217-227.

FREITAS F, A, M. 2014. Fungicidas de efeitos fisiológicos no desenvolvimento de plantas de pimentão enxertadas e não enxertadas sob cultivo protegido. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 54 p.

FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT. 2009. TMG apresenta novas cultivares de soja. Acesso em 20/09/2019 Disponível em <http://www.fundacaomt.com.br/soja/>

FURLAN, S. H.; LEITE, J.A.B.P.; FRANCO, D.A.S. 2016. Eficiência de fungicidas multisítios testados em rede para o controle da ferrugem asiática da soja no estado de São Paulo, 2015/16. In: JUNIOR, A. A. B. et al. Resumos Expandidos da XXXV Reunião de Pesquisa da Soja. Londrina: Embrapa: 131-133.

GARCIA, A., E. S. CALVO, R. A. SOUZA DE KIIHL. A. HARADA, D. M. HIROMOTO, AND R. G. E. VIEIRA. 2008. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: discovery of a novel locus and alleles: 117: 545.

GODOY et al., 2018 Eficiência de fungicidas multissítios no controle da ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra 2017/18: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina, Paraná. Circular Técnica 144. 17 p.

GODOY H, V. et al. 2019. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2018/19: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular Técnica 148 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 10 p.

GODOY, C. V. (2012) Risk and management of fungicide resistance in the Asian soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi*. In: Thind, T.S. Fungicide Resistance in Crop Protection: Risk and management. cap.7: 87-95

GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MEYER, M.; COSTAMILAN, L. M.; ADEGAS, F. S. 2017. Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem-asiática da soja. Embrapa Soja: Londrina, PR (Embrapa Soja. Comunicado Técnico. 92). 6 p.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. 2017. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja. 12 p.

GODOY, C. V; UTIAMADA, C.M. 2016. Eficiência de fungicidas multissítios no controle da ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular técnica 121. 7 p.

GODOY, C.V. et al. 2018. Eficiência de fungicidas multissítios e produto biológico no controle da ferrugem asiática da soja, *Phakospora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. EMBRAPA. Circular técnica 131. Londrina. 14 p.

- GOELLNER K., LOEHRER K., LANGENBACH M., C.; ECKHARD U., C 2010 *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. *Molecular Plant Pathology*: 169-177.
- GOULART, A. C. P.; FURLAN, S. H.; FUJINO, M. T. 2011. Controle integrado da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) com o fungicida fluquinconazole aplicado nas sementes em associação com outros fungicidas pulverizados na parte aérea da cultura. *Summa phytopathologica*, v. 37, n. 2: 113-118.
- GURURANI, M. A. et al. 2012. Plant disease resistance genes: current status and future directions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v.78: 51-65.
- HARTWIG, E. E. 1986. Identification of a fourth major gene conferring resistance to soybean rust. *Crop Science* 26: 1135-1136.
- HARTWIG, E. E., AND K. R. BROMFIELD. 1983. Relationships among three genes conferring specific resistance to rust in soybeans. *Crop Science* 23: 237-239.
- HAUDENSHIELD J.S; HARTMAN G.L. 2011. Exogenous controls increase negative call veracity in multiplexed, quantitative PCR assays for *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Diseases* 95: 343-352.
- HEATH, M.C. 1997. Signalling between pathogenic rust fungi and resistant or susceptible host plants. *Ann. Bot.* 80: 713-720.
- HENNINGS, P. 1903. Einige neue japanische Uredinales (in German). *Hedwigia*, IV (Suppl.): 107-108.
- HIDAYAT, O. O., AND S. SOMAATMADJA. 1977. Screening of soybean breeding lines for resistance to soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow). *Soybean Rust News* 1: 9-22.
- JULIATTI, F. C. et al. 2016. Fungicidas protetores, aplicados de forma isolada, no controle de ferrugem asiática e oídio na cultura da soja, safra 2015-2016. In: JUNIOR, A. A. B. et al. *Resumos Expandidos da XXXV Reunião de Pesquisa da Soja*. Londrina: Embrapa: 113-115.
- KAWASHIMA, C. G. et al. 2016. Pigeonpea gene confers resistance to Asian soybean rust in soybean. *Nature Biotechnology*, vol. 34, number 6. 7p.

- KEOGH, R.C., DEVERALL, B.J. AND MCLEOD, S. 1980. Comparison of histological and physiological responses to *Phakopsora pachyrhizi* in resistant and susceptible soybean. Trans. Br. Mycol. Soc. 74: 329-333.
- KIIHL R; MIRANDA L., C.; DORNIT L, A; LANDGRAF L; DALL AGNOL A.; VIEIRA O, V .2003. Soja brasileira: sucesso do sul ao norte: 01-04.
- KIMATI, H. Controle Químico. In: FILHO, A. B.; KIMATI, H.; AMONIM, L. Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos. Volume 1: Terceira edição. Editora Agronômica Ceres Ltda, 1995. cap. 38: 761-785
- KLAHOLD, C. A. et al. 2006. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 28, n. 02: 179-185.
- KLOSOWSKI, A. C.; MAY DE MIO, L. L.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. 2016. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. Pest Management Science, v. 72: 1211-1215.
- KOCH, E. AND HOPPE, H.H. 1987. Effect of light on uredospore germination and germ tube growth of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd). J. Phytopathol. Phytopathol. Z. 119: 64-74.
- KOCH, E. AND HOPPE, H.H. 1988. Development of infection structures by the direct-penetrating soybean rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi* Syd) on artificial membranes. J. Phytopathol. Phytopathology. Z. 122: 232-244.
- KOCH, E., EBRAHIMNESBAT, F. AND HOPPE, H.H. 1983. Light and electron-microscopic studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd) in susceptible soybean leaves. Phytopathology Z. 106: 302-320.
- LANGENBACH, C. et al. 2016. Fighting Asian soybean rust. Frontiers in Plant Science, v.7: 773-786.
- LOPES, C.A.; BOITEUX, L.S. 2012. Breeding for resistance bacterial diseases. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. Plant breeding for biotic stress resistance. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag: 37-55.

MACIEL, M.S.; FABIANIL G.; DELAZERI J.; PRAETORIUS D. M. 2019. Efficiency of fungicides for oidium control in soybean crop. *Ciência Agrícola*, Rio Largo, v. 17, n. 1: 49-55.

MADALOSSO M, G; TORMEN N, G; MARQUES L.N; GULART C.A; BALARDIN R,S. 2015. Doenças da soja (fungos e cromistas). Instituto Phytus, 1ª edição: 60-64.

MCGRATH, M. T. What are fungicides? *The Plant Health Instructor*. 2004. DOI: 10.1094/PHI-I-2004-0825-01. Disponível em: < <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Pages/Fungicides.aspx> >. Acesso em 25/ago/2019.

MCLEAN, R. J., AND D. E. BYTH. 1980. Inheritance of resistance to rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in soybean. *Aust. J. Agric. Res.* 31: 951-956.

MELLERSH, D.G. AND HEATH, M.C. 2001. Plasma membrane-cell wall adhesion is required for expression of plant defense responses during fungal penetration. *Plant Cell*, 13: 413-424.

MUNGER, P., H. BLEIHOLDER, H. HACK, M. HESS, R. STAUSS, T. VAN DEN BOOM and E. WEBER. 1997. Phenological Growth Stages of the Soybean Plant (*Glycine max* (L.) MERR.) – Codification and Description according to the General BBCH Scale - with Figures. *Journal of Agronomy and Crop Science* 179: 209-217.

NOMELINI, Q.S.S.; COSTA, D.A.; SILVA, L.F.; FERREIRA, A.S.; PEREIRA, J.M. & BIASE, N.G. 2010. Validação do método de dimensionamento do número médio ideal de sementes por saca. 36 p.

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

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. 2007. Fungicidas: aspectos gerais. *Revista Plantio Direto*, ed. 97. 15 p.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. 2010. Manual de fungicidas: Guia para o controle químico de doenças em plantas. - 6. ed., - Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo. 226 p.

- REIS, E., M. 2015. Mancozebe- Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégias antirresistência: por que os fungicidas falham? 36 p.
- REIS, E.M.; FLOSS, E.L. 1980. Efeito nutritivo de fungicidas carbamatos em trigo (*Triticum aestivum* L.). Summa Phytopathologica, Botucatu, v.6: 116-922.
- REIS, E.M; BRESOLIN, A.C; CARMONA, E.M. 2006. Doenças da soja I: Ferrugem asiática. Universidade de Passo Fundo. 45 p.
- REIS, M.R; REIS A.C; ZANNATA M; SILVA L.H; SIQUERI F.V. 2017. Evolução da redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégia para recuperar a eficiência do controle: 17-88.
- ROCHA C.L; GUERRA, D.S; RODRIGUES M.A; BEGLIOMINI E. 2009. Eficiência do fungicida piraclostrobin + metconazole (BAS 55601F) no controle da ferrugem asiática da soja. In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. 37 p.
- ROSA, C., R., E. 2015 Identificação de marcadores SNP (Single Nucleotide Polymorphism) associados ao gene de resistência Rpp4 da Soja (*Glycine max* L. Merr.). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 116 p.
- SAKSIRIRAT, W. AND HOPPE, H.H. 1991. Teliospore germination of soybean rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi* Syd). J. Phytopathol. 132: 339-342.
- SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, A. C.; CRAIG, I. R.; STAMMLER, G. 2014. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-oxidoreductase-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. Pest Management Science, v. 7: 378-88.
- SCHMITZ, H.K., MEDEIROS, C.A., CRAIG, I.R., STAMMLER, G. 2014. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-oxidoreductase-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. Pest Management Science, v. 70: 378-388.
- SILVA, L. L.; NETO, N. 2019. Efficiency Analysis of different fungicides in fungus control *Phakopsora pachyrhizi* in soybean culture. Ciência e Tecnologia (Cruz Alta), volume 3, ISBN: 44-51.

- SIMÕES, K.; HAWLIK, A.; REHFUS, A.; GAVA, F.; STAMMLER, G. 2017. First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. Journal of Plant Diseases and Protection: 17-117.
- SINCLAIR, J.B. & HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G.L., SINCLAIR, J.B. & RUPE, J.C. 1999. Compendium of soybean diseases. 4ed. St. Paul. American Phytopathological Society. 3 p.
- SOARES, R. M.; RUBIN, S. A. L.; WIELEWICKI, A. P.; OZELAME, J. G. 2004. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 4: 1245-1247
- SOUZA P., H., N. 2017. Associação de mancozebe com formulações comerciais mistas de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados. 69 p.
- SYDOW, H. & SYDOW, P. 1914. A contribution to knowledge of the parasitic fungi on the island of Formosa. Ann. Mycol. 12. 105 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2013. Fisiologia vegetal. 5 ed. Porto Alegre: Artmed. 954 p.
- TWIZEYIMANA, M.; HARTMAN, G. L. 2019. Effect of selected biopesticides in reducing soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) development. Plant Disease. 39 p.
- VAKILI, N.G.; BROMFIELD, K.R. 1976. *Phakopsora* rust on soybean and other legumes in Puerto Rico. Plant Disease Reporter, v.60: 995-999.
- VAN DE MORTEL, M., K. T.; SCHNEIDER, T.; BANCROFT, D.; NETTLETON, R.; D. FREDERICK; BAUM T.J.; WHITHAM, S.A. 2007. Gene expression in a soybean cultivar containing the Rpp3 gene for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. Phytopathology 97 (Supplement). 117 p.
- VAN DER PLANK, J. E. 1968. Disease Resistance in Plants (1st Ed.). Academic Press, New York e London. 206 p.

- VIEIRA, L. F.; CASTELLAR, V. L.; GODOY, C.V. 2017. Eficiência de fungicidas multissítios em mistura com fungicidas sítio-específico no controle da ferrugem-asiática da soja. XIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja: 115-122
- YANG, X.B., TSCHANZ, A.T., DOWLER, W. M. & WANG, T.C. 1991. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. Journal of Phytopathology 81: 1420-1426.
- YASSUE, R.M. 2018. Tolerância da soja à ferrugem asiática em dialelo multivariado e ambientes contrastantes de fungicidas. Dissertação (Mestrado). ESALQ - Piracicaba/SP. 87 p.
- YORINORI J.T. 2004. Ferrugem asiática da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, Documentos 247. 36 p.
- YORINORI, J. T. 2002. Perda de rendimento de grãos de soja causada por ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Fitopatologia Brasileira 27 (Suplemento). 10 p.
- YORINORI, J. T. 2002. Situação atual das doenças potenciais no cone sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Londrina: Embrapa Soja: 171-187.
- YORINORI. J.T. 2004. First report of Asian soybean rust in Bolivia. World Soybean Research Conference, VII International Soybean Processing and Utilization Conference, IV Brazilian Soybean Congress: 85-86.
- ZAMBENEDETTI, E. B., E. ALVES, E D. V. 2007. Araújo. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. Fitopatologia Brasileira 32: 156-160.
- ZAMBOLIM, L. 2006. Manejo Integrado da Ferrugem Asiática da Soja. Em: ZAMBOLIM, L. (Org.). Ferrugem Asiática da Soja. Suprema Gráfica e Editora, Visconde do Rio Branco: 73-98.
- ZAMBOLIM, L. 2007. Manejo da resistência de fungos a fungicidas. Departamento de Fitopatologia, UFV: 30-90.
- ZAMBOLIM, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. Trop. Plant-pathol. 41:1-8

ZANATTO I, B; BONALDO S., M.; PEREIRA C., S. 2018. Fungicides and ethanolic extract of propolis in the control of late season soybean diseases. Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal. Revista de Ciências Agrárias, 41(1): 165-174

## 8. ANEXOS

### 8.1 Características agronômicas da cultivar (Brasmax Bônus IPRO®)

#### Características agronômicas da cultivar (Brasmax Bônus IPRO®)

**Hábito de crescimento:** indeterminado

**Exigência nutricional:** média

**Peso de mil sementes:** 190 g

**Índice de ramificação:** média

**Ciclo (dias):** semi-precoce (117)

**Grupo de maturação:** 7.9

**Mesorregião recomendada:** macrorregião sojícola 3, incluindo mesorregião 304

**Época de plantio:** 20/outubro ↔ 21/novembro

**População de plantas:** 180.000 - 220.000

**Cor da inflorescência:** roxa

**Cor do hilo:** marrom

**Cor da pubescência:** cinza

**Especificidades:** alta carga produtiva; ampla região de adaptação; alto vigor e desenvolvimento inicial

### 8.2 Reação da cultivar (Brasmax Bônus IPRO®) a patógenos

#### Reação da cultivar (Brasmax Bônus IPRO®) a patógenos

**Ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*):** suscetível

**Mancha olho de rã (*Cercospora sojinae*):** resistente

**Cancro da Haste (*Phomopsis phaseoli f. sp meridionalis*):** resistente

**Pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis pv.glycines*):** suscetível

**Nematoide de galhas (*Meloidogyne incognita*; *M. javanica*):** suscetível

**Nematoide de cistos (*Heterodera glycines*):** suscetível

**8.3** Descrição da escala fenológica BBCH (Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemical), elaborada por Munger et al. (1977) para a cultura da soja (tradução: Tormen, N. R.).

<b>Escala Fenológica BBCH - Soja</b>	
<b>Estágio de crescimento 0 - Germinação</b>	
00	Semente seca
01	Início da embebição da semente
03	Embebição completa da semente
05	Radícula emergida da semente
06	Elongação da Radícula, formação de pelos radiculares
07	Hipocótilo e cotilédones quebram a casca da semente
08	Hipocótilo alcança a superfície do solo; arco do hipocótilo visível
09	Emergência: hipocótilo e cotilédones emergidos acima da superfície do solo
<b>Estágio de crescimento 1 - Desenvolvimento de folhas</b>	
10	Cotilédones completamente desenrolados
11	Primeiro par de folhas verdadeiras desenrolado - 1º nó
12	1º trifólio desenrolado - 2º nó
13	2º trifólio desenrolado - 3º nó
14	3º trifólio desenrolado - 4º nó
15	4º trifólio desenrolado - 5º nó
16	5º trifólio desenrolado - 6º nó
17	6º trifólio desenrolado - 7º nó
18	7º trifólio desenrolado - 8º nó
19	8º trifólio desenrolado - 9º nó
<b>Estágio de crescimento 5 - Emergência de inflorescências</b>	
51	Primeiros botões florais visíveis
55	Primeiros botões florais alargados
59	Primeiras pétalas de flores visíveis; botões florais ainda fechados
<b>Estágio de crescimento 6 - Florescimento</b>	
60	Primeiras flores abertas; esporadicamente na lavoura
61	Início do florescimento; até 10% de flores abertas
62	Aproximadamente 20% de flores abertas
63	Aproximadamente 30% de flores abertas
64	Aproximadamente 40% de flores abertas
65	Período principal de florescimento; 50% de flores abertas
66	Aproximadamente 60% de flores abertas
67	Florescimento em declínio
69	Fim do florescimento: primeiros legumes visíveis (comprimento = 5 mm)
<b>Estágio de crescimento 7 - Desenvolvimento de legumes e sementes</b>	
70	Primeiros legumes alcançam tamanho final (15-20 mm)
71	10% dos legumes alcançam tamanho final (15-20 mm)
72	20% dos legumes alcançam tamanho final (15-20 mm)
73	30% dos legumes alcançam tamanho final (15-20 mm); início enchimento grãos
74	40% dos legumes alcançam tamanho final (15-20 mm)
75	50% dos legumes alcançam tamanho final (15-20 mm); continuação enchimento grãos
77	70% dos legumes alcançam tamanho final (15-20 mm); enchimento de grãos avançado
79	Todos os legumes alcançam tamanho final (15-20 mm); 100% dos grãos perceptíveis
<b>Estágio de crescimento 8 - Desenvolvimento de legumes e sementes</b>	
80	Primeiros legumes maduros; grãos com a cor final, secos e duros

81	10% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
82	20% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
83	30% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
84	40% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
85	50% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
86	60% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
87	70% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
88	80% de legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
89	Todos os legumes maduros, grãos com a cor final, secos e duros
<b>Estádio de crescimento 9 - Senescência</b>	
91	Aproximadamente 10% de folhas amarelas ou caídas
92	Aproximadamente 20% de folhas amarelas ou caídas
93	Aproximadamente 30% de folhas amarelas ou caídas
94	Aproximadamente 40% de folhas amarelas ou caídas
95	Aproximadamente 50% de folhas amarelas ou caídas
96	Aproximadamente 60% de folhas amarelas ou caídas
97	Planta inteiramente morta
99	Colheita

#### 8.4 Datas, estádios fenológicos da cultura, e condições ambientais das aplicações do ensaio de “Eficiência dos fungicidas multi-sítio”.

Aplicação	Data	Estádio fenológico	Temperatura(°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do ar (km h <sup>-1</sup> )	Nebulosidade(%)
1	27/02/2019	61	24	79,3	0,8	70
2	12/03/2019	71	23,6	68,3	2,3	30
3	25/03/2019	75	23,3	74,8	2,6	50
4	09/04/2019	77	24,5	79	1,9	50

\*Fenologia da soja de acordo com a Escala BBCH (Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemical), proposta por (Munger et al., 1997).

#### 8.5 Datas, estádios fenológicos da cultura, e condições ambientais das aplicações do ensaio “Aplicação associada ou sequencial dos fungicidas multi-sítio com o fungicida sítio específico”.

Aplicação	Data	Estádio fenológico	Temperatura(°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do ar (km h <sup>-1</sup> )	Nebulosidade(%)
1	27/02/2019	61	23,9	72,3	0,9	50
2	08/03/2019	67	31,3	36,1	3,2	70
3	14/03/2019	70	24,6	67,9	1,3	50
4	21/03/2019	75	25,4	72,3	3,6	60
5	29/03/2019	79	24,3	68,6	1,2	50
6	05/04/2019	79	23,8	74,1	2,1	50
7	11/04/2019	80	23,1	83,2	2,9	80

\*Fenologia da soja de acordo com a Escala BBCH (Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemical), proposta por (Munger et al., 1997).

**8.6** Datas, estádios fenológicos da cultura, e condições ambientais das aplicações do ensaio “Estádio fenológico dos fungicidas de ação multi-sítio.

Aplicação	Data	Estádio fenológico	Temperatura(°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do ar (km h <sup>-1</sup> )	Nebulosidade(%)
1	27/02/2019	61	23	79,8	0,6	70
2	12/03/2019	71	23,6	68,3	2,3	30
3	26/03/2019	75	21,9	82,4	2,8	80
4	05/04/2019	79	22,6	78,1	3,2	50
5	09/04/2019	81	24	79	1,9	50

\*Fenologia da soja de acordo com a Escala BBCH (Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemical), proposta por (Munger et al., 1997).

**8.7** Escala diagramática (Godoy et al., 2006) utilizada para as avaliações da severidade da ferrugem asiática.

