



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ESTELA MARIANI KLEIN

**LIMIAR DE DANO ECONÔMICO COMO INDICADOR DO
MOMENTO DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE
DE DOENÇAS FOLIARES DA SOJA**

Londrina
2022

ESTELA MARIANI KLEIN

**LIMIAR DE DANO ECONÔMICO COMO INDICADOR DO
MOMENTO DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE
DE DOENÇAS FOLIARES DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri.

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Klein, Estela Mariani.

Limiar de dano econômico como indicador do momento de aplicação de fungicida no controle de doenças foliares da soja / Estela Mariani Klein. - Londrina, 2022.
84 f.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Produtividade - Tese. 2. Radiometria - Tese. 3. Severidade - Tese. I. Giovanetti Canteri, Marcelo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

ESTELA MARIANI KLEIN

**LIMIAR DE DANO ECONÔMICO COMO INDICADOR DO
MOMENTO DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE
DE DOENÇAS FOLIARES DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a. Dr^a. Sandra Cristina Vigo
Instituto de Desenvolvimento Rural do
Paraná (IDR-Paraná)

Prof. Dr. José Renato Stangarlin
Universidade Estadual do Oeste do Paraná -
UNIOESTE

Londrina, 16 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por nunca me desamparar.

Ao Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri, pela orientação, oportunidade, ensinamentos, dedicação, disponibilidade, apoio e profissionalismo.

A todos os professores da Universidade Estadual de Londrina - UEL, pela contribuição com conhecimento e dedicação, em ofertar e ensinar ao longo do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo CAPES.

Aos colegas Jaqueline Dalbelo Puia, André Luis Silva, Maria Julia Salles, Luigi Scolin, Guilherme De Genaro, por toda ajuda e companheirismo.

A minha família, especialmente aos meus pais Aldemar e Eliane e meu irmão Henrique, e ao meu namorado Hélio, por todo o incentivo e paciência.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos!

Lâmpada para os meus pés é a tua palavra e,
luz para os meus caminhos (Salmo 119:105).

..

KLEIN, Estela Mariani. **Limiar de dano econômico como critério do momento de aplicação de fungicida no controle de doenças foliares da soja.** 2022. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

Quantificar danos é um fator decisivo para definir estratégias de controle de doenças na soja. O objetivo foi determinar, por meio do Limiar de Dano Econômico, o momento ideal para iniciar a aplicação no controle de ferrugem asiática, doenças de final de ciclo e mancha alvo na cultura da soja. Os experimentos foram conduzidos em dois locais, no distrito de Guaravera – PR e na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina – PR. A semeadura foi realizada dia 28/10/2020 em Guaravera e dia 20/11/2020 na Fazenda Escola. O espaçamento de 0,50 m entre linhas, 13 plantas por metro linear, com total de 260 mil plantas ha⁻¹. A cultivar utilizada foi BMX Garra IPRO. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 11 tratamentos e quatro repetições. Os ensaios foram compostos pela testemunha e por oito tratamentos com diferentes épocas e número de aplicações de fungicidas. Os produtos utilizados foram bixafem+protioconazol+trifloxistrobina (0,5 L ha⁻¹) adicionado de mancozebe (1,5 kg ha⁻¹). Os dois últimos tratamentos eram compostos de aplicações isoladas dos fungicidas. A severidade das doenças foi avaliada semanalmente, e por meio desta calculada a Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença. As leituras de refletância foram realizadas semanalmente. A produtividade foi determinada após a colheita, e a partir desta estimado o dano. A função de dano foi obtida pela regressão linear entre a severidade em diferentes estádios e a produtividade, e medidas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada em diferentes estádios e a produtividade. A partir dos coeficientes de dano obtidos das funções de dano foi calculado o Limiar de Dano Econômico. Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de separação de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade e as regressões obtidas a significância do modelo pelo teste F a 5% de probabilidade, por meio do software R versão 4.1.0. Por meio das medidas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada não foi possível determinar o Limiar de Dano Econômico, apenas separar os tratamentos em estágio avançado (R6). O somatório da severidade das doenças apresentou relação significativa com a produtividade em diferentes estádios fenológicos, e a partir do coeficiente de dano de cada função obteve-se o Limiar de Dano Econômico, sendo 0,42 unidades de severidade aos 79 DAE, 1,63 aos 89 DAE, 5,57 aos 93 DAE, 3,41 aos 100 DAE e 7,91 aos 107 DAE. Segundo os dados acima a severidade correspondente ao Limiar de Dano Econômico ocorreu aos 65 DAE, no estágio R4. O Limiar de Ação foi estimado em 10 dias, portanto, o momento para iniciar o controle seria aos 55 DAE. A aplicação realizada aos 33 DAE não influenciou a produtividade. Estimando-se a redução de produtividade diária a partir de 49 DAE obteve-se 10,1 kg ha⁻¹ por dia, sendo possível estimar também o dia para início das aplicações, que resultou em 55 DAE. Vale lembrar que estimativas do Limiar de Dano Econômico podem ser específicas para região, safra, variedade e doenças que ocorreram, entre outros fatores.

Palavras-chave: produtividade; radiometria; severidade.

KLEIN, Estela Mariani. **Threshold of economic damage as a criterion for the timing of fungicide application in the control of soybean foliar diseases.** 2022. 84p. Dissertation (Master in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina, 2022.

ABSTRACT

Quantifying damage is a decisive factor in defining disease control strategies in soybeans. The objective was to determine, through the Economic Damage Threshold, the ideal moment to start the application in the control of Asian rust, end-of-cycle diseases and target spot in soybean. The experiments were carried out in two locations, in the district of Guaravera – PR and at Fazenda Escola, Universidade Estadual de Londrina – PR. Sowing was carried out on 10/28/2020 in Guaravera and on 11/20/2020 at Fazenda Escola. The spacing of 0.50 m between rows, 13 plants per linear meter, with a total of 260 thousand plants ha⁻¹. The cultivar used was BMX Garra IPRO. The experimental design was in randomized blocks with 11 treatments and four replications. The tests were composed of the control and eight treatments with different times and number of fungicide applications. The products used were bixafem+prothioconazole+trifloxystrobin (0.5 L ha⁻¹) plus mancozeb (1.5 kg ha⁻¹). The last two treatments were composed of isolated applications of fungicides. Disease severity was assessed weekly, and the Area Below the Disease Progress Curve was calculated. Reflectance readings were taken weekly. Productivity was determined after harvest, and the damage was estimated from this. The damage function was obtained by linear regression between severity at different stages and yield, and measures of Normalized Difference Vegetation Index at different stages and yield. From the damage coefficients obtained from the damage functions, the Economic Damage Threshold was calculated. Data were submitted to analysis of variance and Scott-Knott mean separation test at 5% probability and regressions were obtained for model significance by the F test at 5% probability, using R software version 4.1.0. By means of the Normalized Difference Vegetation Index readings it was not possible to determine the Economic Damage Threshold, only to separate the treatments in advanced stage (R6). The sum of disease severity showed a significant relationship with productivity at different phenological stages, and from the damage coefficient of each function, the Economic Damage Threshold was obtained, with 0.42 units of severity at 79 DAE, 1.63 at 89 DAE, 5.57 at 93 DAE, 3.41 at 100 DAE and 7.91 at 107 DAE. According to the data above, the severity corresponding to the Economic Damage Threshold occurred at 65 DAE, in the R4 stage. The Action Threshold was estimated at 10 days, therefore, the time to start control would be at 55 DAE. The application performed at 33 DAE did not influence productivity. Estimating the daily productivity reduction from 49 DAE, 10.1 kg ha⁻¹ per day was obtained, and it is also possible to estimate the day for the beginning of the applications, which resulted in 55 DAE. It is worth remembering that Economic Damage Threshold estimates may be specific to the region, crop, variety and diseases that occurred, among other factors.

Key-words: productivity; radiometry; severity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Espectro eletromagnético.....	31
Figura 2 – Escala diagramática da ferrugem asiática da soja causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	40
Figura 3 – Escala diagramática das doenças de final de ciclo da soja causadas por <i>Cercospora kikuchii</i> e <i>Septoria glycines</i>	40
Figura 4 – Escala diagramática da mancha alvo na soja causada por <i>Corynespora cassicola</i>	40
Figura 5 – Temperatura média e precipitação mensal registrados para o município de Londrina-PR na safra de 2020/21	47
Figura 6 – Regressão linear entre produtividade e somatório da severidade de ferrugem asiática, DFCs e mancha alvo em 89 DAE (R5.3) na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21	52
Figura 7 – Regressão linear entre produtividade e NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>); e entre NDVI e severidade para área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21	54
Figura 8 – Regressão entre produtividade e início das aplicações para cada tratamento (3 ao 9) da área 1 (Guaravera), Londrina – PR, safra 2020/21	59
Figura 9 – Regressão linear entre produtividade e tratamentos (2 ao 9) da área 1 (Guaravera), Londrina – PR, safra 2020/21	59
Figura 10 – Regressão linear entre produtividade e tratamentos (3 ao 9) com até 5 aplicações da área 1 (Guaravera), Londrina – PR, safra 2020/21	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fungicidas comerciais utilizados visando o controle de ferrugem asiática, doenças de final de ciclo e mancha alvo na cultura da soja, Londrina – PR, safra 2020/21	38
Tabela 2 – Tratamentos, número de pulverizações, e época de aplicação em dias após a emergência (DAE) nas áreas 1 (Guaravera) e 2 (Fazenda Escola), Londrina – PR, safra 2020/21	39
Tabela 3 – Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) da ferrugem asiática da soja, das doenças de final de ciclo (DFCs) e da mancha alvo na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21	45
Tabela 4 – Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) da ferrugem asiática da soja, das doenças de final de ciclo (DFCs) e da mancha alvo na área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21	46
Tabela 5 – Produtividade, massa de mil grãos, dano em kg ha ⁻¹ e danos em porcentagem na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21	49
Tabela 6 – Produtividade, massa de mil grãos, dano em kg ha ⁻¹ e danos em porcentagem na área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21	50
Tabela 7 – Regressão linear entre produtividade e somatório da severidade de ferrugem asiática, DFCs e mancha alvo em diferentes estádios fenológicos na área 1 (Guaravera) e área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21	52
Tabela 8 – Regressão linear entre produtividade e NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>); e NDVI e severidade na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21	53
Tabela 9 – Regressão linear entre produtividade e NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>); e NDVI e severidade na área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21	54

Tabela 10 – Medidas de NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) de cada avaliação em dias após a emergência (DAE) da área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21	56
Tabela 11 – Medidas de NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) de cada avaliação em dias após a emergência (DAE) da área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21	56
Tabela 12 – Diferença entre os valores de severidade em diferentes dias após a emergência (DAE) e aplicação do valor do limiar de dano econômico (LDE) obtido, entre a “parcela controle” e os demais tratamentos área 1 (Guaravera)	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACPD	Área abaixo da curva do progresso da doença
CD	Coeficiente de dano
Cfa	Clima subtropical úmido
Cm	Centímetro
DFC	Doenças de final de ciclo
FRAC	<i>Fungicide resistance action committe</i>
HAD	Duração de área foliar sadia
IDM's	Inibidores da desmetilação
IQe's	Inibidores da quinona externa
IQo's	Inibidores da quinona oxidase
IR	Infravermelho
ISDH's	Inibidores da succinato desidrogenase
LAI	<i>Leaf area index</i>
LDE	Limiar de dano econômico
Mm	Milímetro
NDVI	<i>Normalized difference vegetation index</i>
NIR	Infravermelho próximo
Nm	Nanômetro
PNPB	Programa nacional de produção e uso de biodiesel
S	Sul
-SH	Grupos sulfidríla
UEL	Universidade Estadual de Londrina
VIS	Regiões do visível
W	Oeste
'	Minutos

"	Segundos
%	Porcentagem
°	Graus
°C	Centígrado
μm	Micrômetro
g kg ⁻¹	Grama por quilograma
g L ⁻¹	Grama por litro
ha ⁻¹	Hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	A CULTURA DA SOJA.....	16
2.2	FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	17
2.2.1	Histórico e Importância.....	17
2.2.2	Etiologia	18
2.2.3	Epidemiologia.....	18
2.2.4	Sintomatologia	20
2.2.5	Métodos de Controle	20
2.2.6	Controle Químico	22
2.3	DOENÇAS DE FINAL DE CICLO	24
2.3.1	Crestamento Foliar.....	24
2.3.2	Mancha Parda.....	25
2.3.3	Controle de Doenças de Final de Ciclo	25
2.4	MANCHA ALVO	26
2.5	PATOMETRIA	27
2.5.1	Quantificação de Severidade	28
2.6	FUNÇÃO DE DANO E LIMIAR DE DANO ECONÔMICO	29
2.7	SENSORIAMENTO REMOTO	30
3	ARTIGO: ESTIMATIVA E FUNÇÃO DE DANO POR DOENÇAS FOLIARES NA CULTURA DA SOJA	34
3.1	RESUMO	34
3.2	ABSTRACT.....	35
3.3	INTRODUÇÃO	36
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.4.1	Localização do Experimento	37
3.4.2	Instalação e Delineamento Experimental.....	38
3.4.3	Produtos e Épocas de Aplicação	38
3.4.4	Avaliação da Severidade.....	39
3.4.5	Leitura da Refletância do Dossel	41
3.4.6	Produtividade	41
3.4.7	Cálculo de Dano.....	42
3.4.8	Correlações e Obtenção das Funções de Dano	42
3.4.9	Limiar de Dano Econômico	42
3.4.10	Redução na Produtividade em Função do Atraso da Primeira Aplicação.....	43
3.4.11	Incremento na Produtividade em Função do Número de Aplicações.....	44
3.4.12	Análise dos Dados	44
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.5.1	Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença de Ferrugem Asiática, DFCs e Mancha Alvo.....	44

3.5.2	Efeito das Doenças Foliares na Produtividade e Peso de Mil Grãos	49
3.5.3	Relação entre Severidade e Produtividade e Função de Dano.....	51
3.5.4	Relação entre as Medidas de NDVI e Produtividade; e NDVI e Severidade	53
3.5.5	Aplicação do Limiar de Dano Econômico (LDE) para a Área 1 (Guaravera).....	57
4	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas mais importantes no desenvolvimento da economia brasileira. O país é um dos principais produtores e exportadores do grão, sendo que na safra de 2019/20 foi o maior produtor a nível mundial. A oleaginosa vem ganhando cada vez mais espaço no mercado agrícola por sua variedade em subprodutos e suas propriedades nutritivas na alimentação humana e animal.

A sua produção é influenciada por vários fatores, como a fertilidade do solo, volume hídrico disponível durante a safra, época de semeadura, potencial produtivo da cultivar, presença de plantas daninhas, pragas e doenças. Dentro destas variáveis, as doenças estão entre as que mais causam danos econômicos.

O nível de dano depende da presença de patógenos na área, condições ambientais favoráveis, suscetibilidade da cultivar, estado nutricional da planta, severidade da doença, número de plantas afetadas, entre outros.

As principais doenças foliares fúngicas da soja são a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd), as doenças de final de ciclo [*Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Tak. Matsumoto & Tomoy.) M.W. Gardner], e a mancha alva [*Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei].

A presença dessas doenças no campo, pode comprometer o rendimento de grãos em até 20%, e, quando presente, a ferrugem asiática da soja, esses valores podem chegar até 90%. Estas doenças proporcionam redução da eficiência e da duração de área foliar, com a queda precoce de folhas, prejudicando o número de vagens e o enchimento de grãos.

O controle de doenças de maneira geral exige uma combinação de práticas, como semeadura na época adequada, adubação equilibrada, tratamento de sementes, uso de cultivares resistentes, cultivares de ciclo precoce, rotação de culturas, e o uso de fungicidas. O controle químico, por meio de fungicidas, tem sido o mais eficaz, devido à redução de inóculo, supressão de esporulação e dispersão dos esporos de fitopatógenos.

No controle das doenças foliares são utilizados fungicidas de sítio específico como os grupos químicos das carboxamidas, estrobilurinas e triazóis. Porém, com o uso incorreto ao longo do tempo, alguns fungicidas destes grupos químicos vêm perdendo a eficiência. Uma alternativa é a utilização de misturas com

fungicidas multissítio com amplo espectro de ação diminuindo o risco de resistência.

Quantificar doenças e danos é um passo importante para avaliar a eficácia das medidas de controle adotadas. A partir do limiar de dano econômico (LDE), pode-se indicar o melhor momento para uma aplicação econômica dos fungicidas, considerando o controle químico das doenças nos distintos estádios fenológicos da soja.

Portanto, o objetivo do trabalho foi determinar, por meio do limiar de dano econômico, o momento ideal para iniciar a aplicação no controle múltiplo de doenças, ou seja, a ferrugem asiática, as doenças de final de ciclo e a mancha alvo na cultura da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja é uma cultura originária do continente asiático, onde foi domesticada e se disseminou pelos demais continentes através de navegações. O primeiro relato da planta no Brasil se deu no ano de 1882 no estado da Bahia (BLACK, 2000). No decorrer da história, imigrantes japoneses a levaram ao estado de São Paulo, e em 1914 foram introduzidas cultivares provenientes dos Estados Unidos no estado do Rio Grande do Sul, onde se adaptaram as condições climáticas, ao solo e ao fotoperíodo da região (BONETTI, 1981).

O cultivo da soja expressa grande importância na agricultura brasileira, com expansivo crescimento econômico. A produção da safra 2019/20 foi estimada em mais de 120 milhões de toneladas e 36 milhões de hectares de área cultivada, ultrapassando os Estados Unidos, tornando-se o maior produtor mundial da leguminosa (CONAB, 2019).

Ao passar dos anos pode-se observar o aumento gradativo da produção, da produtividade e de área cultivada no Brasil, sendo atribuído este aumento a novas tecnologias (ESCHER; WILKINSON, 2019).

A comercialização se dá em larga escala, sendo interna e externamente distribuída. Com mercado sólido estabelecido aos produtos derivados, como o farelo e o óleo, importantes para alimentação animal e humana, e dentro do setor energético o óleo tendo papel valioso no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), proporcionou entorno de 70% da produção em 2017 de biocombustível (HIRAKURI et al., 2018).

Com propriedades nutritivas e industriais, é cultivada há centenas de anos, adaptando-se a distintas latitudes, diferentes tipos de solos e condições climáticas, sendo considerada uma das principais plantas de cultivo mundial. O rendimento pode ser afetado por vários fatores, sendo um dos principais as doenças. Há relato de mais de 100 delas que acometem a soja no mundo todo (HARTMAN et al., 1999).

Segundo Amorim, Rezende e Bergamin Filho (2011) entre as

doenças da soja as principais que podem ser citadas são a ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*), mancha alva (*C. cassiicola*), septoriose (*S. glycines*), cercosporiose (*Cercospora sojina* Hara), antracnose [*Colletotrichum dematium* var. *truncata* (Schwein.) Arx], oídio [*Erysiphe difusa* (Cooke & Peck) U. Braun & S. Takam.], míldio [*Peronospora manshurica* (Naumov) Syd.], mofo-branco [*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary], crestamento bacteriano (*Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*) e pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) (INDEX FUNGORUM, 2021).

A expansão do cultivo vem acompanhada do crescimento no número de pragas e doenças que afetam a cultura. A ferrugem asiática da soja é a principal doença, causando danos expressivos, limitando a produtividade (ANDRADE; ANDRADE, 2002; REIS, 2014; REIS et al., 2017; SOUZA et al., 2016).

2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

2.2.1 Histórico e Importância

Relatada pela primeira vez em 1903 no Japão, posteriormente foi observada na África e América do Sul, causando danos de 10% a 90%, mostrando-se uma doença foliar de importância (HENNING, 1903; SINCLAIR; HARTMAN, 1999; YORINORI et al., 2005; LEVY, 2005). Na safra de 2000/01 foi detectada no Brasil, no estado do Paraná, e na safra seguinte o patógeno já estava presente em diversas áreas produtoras de soja do Brasil, contabilizando danos de entorno de 112.000 toneladas (YORINORI et al., 2002).

O patógeno presente no cultivo da soja causa redução de eficiência e duração de área foliar, diminuindo conseqüentemente o rendimento de grãos. Foram observados danos próximos de 10% a 40% na Tailândia, 10% a 90% na Índia, 23% a 90% em Taiwan e 40% no Japão (SINCLAIR; HARTMAN, 1995).

A ferrugem asiática toma sua devida importância no Brasil por ser uma doença de rápida expansão, alta virulência e agressividade. O ambiente é um

fator fundamental na ocorrência das epidemias (YORINORI et al., 2009). O investimento no controle fitossanitário é maior, por ser uma das doenças que mais causa queda de produtividade (RICHETTI; ROESE, 2011). Pode causar danos de mais de 90% dependendo das condições climáticas, também da cultivar optada, o ciclo e arquitetura da planta (YANG et al., 1991; DEBORTOLI et al., 2012; TORMEN et al., 2012).

2.2.2 Etiologia

A ferrugem é causada pelo agente fitopatológico *Phakopsora pachyrhizi*, da Família Phakopsoraceae, Ordem Pucciniales e Filo Basidiomycota (REIS et al., 2012; INDEX FUNGORUM, 2021). O fungo é considerado um parasita obrigatório, o qual, extrai os nutrientes dos tecidos da planta, sem causar a morte dos mesmos para se desenvolver (REIS; REIS; CARMONA, 2006).

Diferente das demais ferrugens, a especificidade da ferrugem asiática é baixa. Cerca de 150 espécies de plantas da família Fabaceae foram identificadas como hospedeiras, com casos de infecção natural e inoculações em condições controladas (ONO; BURITICÁ; HENNEN, 1992; SLAMINKO et al., 2008).

A ferrugem asiática forma dois tipos de esporos, os urediniósporos em sua fase imperfeita e os teliósporos na sua fase perfeita, sendo os urediniósporos de coloração castanho amarelo pálido ou incolores, de formato ovóide, com paredes de espessura de 1,0 µm e densamente equinulados; são os esporos de ocorrência mais comum na natureza e que são parte da fase epidêmica da doença (ALMEIDA et al., 2005).

2.2.3 Epidemiologia

De modo geral, o ciclo de vida das ferrugens é mais complexo, por produzir diferentes tipos de esporos, tanto de origem sexuada como de origem assexuada (RUPE; SCONVERS, 2008; GOELLNER et al., 2010).

A doença pode apresentar vários ciclos sucessivos, ou seja, ciclos secundários durante o cultivo, caracterizando-a como uma doença policíclica (AGRIOS, 1997). A produção de urediniósporos se dá nas urédias, de onde são facilmente removidos pelo vento ou pela chuva, tornando-se fonte de inóculo, que é capaz de se dispersar a centenas de quilômetros (REIS et al., 2006; YORINORI et al., 2003; BARNES; SZABO; BOWERSOX, 2009).

Sua disseminação ocorre por meio de vento e não se dissemina por sementes (SANTOS, 1995). Quando depositados em folhas saudáveis, em condições de temperatura e umidade adequadas, germinam e penetram de maneira direta nas células da epiderme para posteriormente ocorrer a colonização (ZAMBENEDETTI; ALVEZ; ARAUJO, 2007).

Umidade de 70% a 80%, chuvas frequentes e intensidade de orvalho favorecem a ocorrência das infecções (NUNES; MARTINS; PONTE, 2018). Com período de 6 a 12 horas de molhamento foliar e temperaturas entre 15 e 28 °C os esporos germinam. A penetração ocorre de maneira direta através da cutícula, sucessivamente o tubo germinativo é formado (ALMEIDA et al., 2005).

A hifa se desenvolve parasitando o hospedeiro intercelularmente, causando desorganização celular e conseqüentemente colapso da parede celular epidérmica; seguidamente há a colonização com a invasão de células e tecidos, resultando na expressão dos sintomas da doença (REIS et al., 2012).

Aproximadamente quatro dias após a infecção é possível observar os sintomas na superfície adaxial da folha (PAVAN et al., 2017), e a liberação de urediniósporos a partir de pústulas se dá com cerca de sete dias após a infecção (NUNES; MARTINS; PONTE, 2018).

Sua capacidade de evolução é rápida, facilmente disseminada, exige monitoramento constante, capacitação na identificação e práticas de manejo adequadas (YORINORI et al., 2009). Áreas que não é realizado o manejo preventivo tornam-se meio de disseminação para a doença. A queda de produtividade ocasionada é conseqüência da queda prematura de folhas, abortamento de flores e vagens e má formação de grãos (YASSUE, 2018).

2.2.4 Sintomatologia

A percepção dos sintomas no início do desenvolvimento da doença é difícil, sendo necessário o uso de lupa, ou então contar com a colaboração de um laboratório de diagnose de doenças de plantas. É possível a observação de sintomas a olho nu a partir de 5% de severidade de ferrugem, sendo um nível indesejado para início do uso do controle químico (AZEVEDO et al., 2004).

A planta pode ser acometida em qualquer estágio de desenvolvimento, sendo mais comum observar os sintomas em períodos próximos ou em plena floração, geralmente nas folhas mais baixas. Pensando em diagnose deve-se observar a face abaxial das folhas, onde se desenvolvem erupções ou protuberâncias esbranquiçadas, chamadas de urédias (AZEVEDO et al., 2004; SILVA; JULIATTI e SILVA, 2007; YORINORI et al., 2005).

Como sintomas iniciais são observadas pequenas lesões na folha, de coloração castanha a marrom-escuro. As pústulas formadas podem coalescer, reduzindo a eficiência fotossintética da soja (EMBRAPA, 2014). Quando a infecção é mais severa ocorre desfolha precoce, acarretando a má formação das vagens e no comprometimento do enchimento de grãos e sua massa final (NASCIMENTO et al., 2018).

A senescência é mais rápida em plantas infectadas do que em plantas não infectadas (HARTMAN et al., 2005). Dentro do cenário agrícola é indispensável o seu controle (REIS; CARREGAL; ZANATTA, 2019).

2.2.5 Métodos de Controle

Para o manejo da doença no Brasil é recomendado o uso de cultivares precoces, eliminação de plantas voluntárias, realização da semeadura na época recomendada, cumprir com o vazio sanitário, monitorar a área desde o início do cultivo, fazer uso de cultivares resistentes, e utilizar fungicidas preventivamente ou quando surgirem os primeiros sintomas (TECNOLOGIAS, 2013). O principal meio de controle da ferrugem asiática da soja utilizado por produtores é a aplicação de

fungicidas químicos (LANGENBACH et al., 2016).

O vazio sanitário realiza-se com o objetivo de reduzir a fonte de inóculo da ferrugem na entressafra, eliminando a soja, principal hospedeira do patógeno. Como resultado, é esperado o atraso das primeiras ocorrências da doença na safra, diminuindo a chance da presença do fungo nos estádios iniciais da soja, nas primeiras semeaduras, possibilitando a redução de aplicações de fungicidas (GODOY et al., 2020).

O uso de cultivares precoces e a semeadura no período recomendado são medidas de controle conhecidas como evasão e visam prevenir a doença levando em conta a presença do patógeno na área e as condições ambientais ideais para o seu desenvolvimento. Após o vazio sanitário as primeiras semeaduras são mais propensas a apresentar sintomas a partir do enchimento dos grãos, quando apresentam. Conforme avançam as semeaduras, esporos dos primeiros cultivos se disseminam para as áreas de cultivos mais tardios, antecipando a ocorrência da doença nessas áreas, tornando necessário maior número de aplicações de fungicidas para o controle (GODOY et al., 2020).

O controle eficiente depende do momento de aplicação e o uso dos produtos adequados a partir da detecção da ferrugem asiática e a intensidade com a qual se desenvolve. Quanto mais tarde a introdução do patógeno no local do cultivo, mais efetivo será o controle (RICHETTI; ROESE, 2011).

A utilização de cultivares resistentes é outro fator importante no manejo. As plantas são menos sujeitas a perda de produtividade e a pressão de seleção de fungos resistentes aos fungicidas químicos é reduzida (BROMFIELD; HARTWIG, 1980).

As lesões em plantas resistentes diferem das lesões em plantas suscetíveis. Cultivares resistentes apresentam lesões RB (*Reddish brown*: marrom-avermelhada), são lesões maiores, coloração marrom-avermelhada, porém produzem poucos ou nenhum urediniósporo. Devido à resistência da planta, não apresenta amarelecimento nem queda tão intensa das folhas. Cultivares suscetíveis apresentam lesões TAN (*Light brown*: marrom-claro), que produzem urediniósporos em maior quantidade, levando a rápido aumento no número de lesões, causando amarelecimento e desfolha precoce (BROMFIELD; HARTWIG, 1980).

A cultivar ser resistente não significa que ela seja imune a doença, o fungo ainda pode causar lesões nas plantas, tornando indispensável a adoção de

outros métodos de controle, incluindo o controle químico. Do mesmo modo que alguns fungicidas selecionam populações resistentes, cultivares resistentes são capazes de exercer pressão de seleção em populações com potencial de “quebrar” a resistência das mesmas (GODOY et al., 2020).

A quantidade de sintomas da doença nas plantas pode ser um indicativo da eficiência do controle. Quando causa de forma insuficiente danos ou redução na produtividade o controle é considerado bem-sucedido, tornando importante a quantificação de doenças no manejo, além de ser indispensável em estudos epidemiológicos (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018).

2.2.6 Controle Químico

O uso de fungicidas para controle de doenças da soja no Brasil teve marco inicial na década de 90 (FREITAS, 2011), intensificando-se com a introdução da ferrugem asiática da soja em 2001, com o uso de triazóis (inibidores da desmetilação - IDM's), carboxamidas (inibidores da succinato desidrogenase - ISDH's) e estrobilurinas (inibidores de quinona externa - IQe's) (GODOY et al., 2016b; GODOY et al., 2019). Porém, já se observa resistência de isolados do fungo *P. pachyrhizi* a estes grupos químicos (SCHMITZ et al., 2014; KLOSOWSKI et al., 2016; SIMÕES et al., 2018).

Com a percepção da menor sensibilidade de populações do fungo aos fungicidas, é indispensável o monitoramento da eficiência dos produtos que vêm sendo utilizados para o seu controle. Quando a eficiência dos fungicidas é inferior à 80% há queda de produtividade, resultando em baixo retorno econômico ao produtor, levando em consideração o custo das aplicações (REIS et al., 2017).

A utilização frequente do mesmo mecanismo de ação de fungicidas e uso inadequado dos mesmos condiciona a pressão de seleção de indivíduos resistentes de uma população (GHINI; KIMATI, 2002). Devido a diversidade e capacidade de multiplicação o patógeno é capaz de resistir à produtos anteriormente tóxicos por meio de diferentes mecanismos quando ameaçado (PARREIRA; NEVES; ZAMBOLI, 2009). Com a capacidade de adaptação do agente fitopatogênico é visível a dificuldade no controle da doença com o uso de fungicidas (SILVA et al.,

2015).

O uso de diferentes modos de ação e grupos químicos prolonga a vida útil dos fungicidas (FRAC, 2010). Pensando no uso de combinações, iniciaram-se as recomendações da utilização de IDM's associados à IQo's, que atualmente demonstra uma certa perda de eficiência. Outra opção é a mistura de três modos de ação, como IDM's, IQo's e ISDH's, mas também o patógeno já apresentou resistência a esses fungicidas (KLOSOWSKI et al., 2016; LANGENBACH et al., 2016).

Com essa problemática, o uso de multissítios é acrescentado às misturas na intenção de tornar mais eficiente o controle fitossanitário (GOTTEMS, 2015). A atuação dos fungicidas multissítios ocorrem a partir de mais de um mecanismo de ação, inativando grupos sulfidril (-SH) de aminoácidos e enzimas, causando distúrbio no metabolismo lipídico, na produção de ATP e na respiração fúngica (REIS; REIS; CARMONA, 2016).

Ensaio corporativos na safra 2015/2016 em alguns estados brasileiros demonstraram um acréscimo de até 63% no controle da doença com a associação de fungicidas sistêmicos aos multissítios (EMBRAPA, 2016). Fungicidas como mancozebe, sulfato de cobre e clorotalonil, multissítios mais antigos, são utilizados no controle da ferrugem asiática da soja, por possuírem baixo risco de resistência (GODOY et al., 2015).

Calendarizar as aplicações é um fator importante pensando no manejo de doenças. Deve-se levar em consideração o intervalo entre as aplicações de fungicidas devido ao efeito residual pré-definido. Aplicações realizadas muito cedo podem causar excesso de moléculas químicas desenvolvendo resistência aos produtos; e o caso de aplicações mais tardias pode não ser eficaz devido ao aumento de inóculo (MUELLER, et al., 2009).

A aplicação inicial realizada em estágio vegetativo de forma bem-posicionada e os intervalos entre as aplicações seguros, por exemplo, 14 a 18 dias, dependendo das condições, é indispensável para se obter uma planta bem sadia durante todo o seu ciclo (BALARDIN et al., 2017).

2.3 DOENÇAS DE FINAL DE CICLO

As doenças de final de ciclo ou DFCs, assim são conhecidas, por ocorrerem de forma mais severa na fase final do enchimento de grãos. Entre elas estão o crestamento foliar e a mancha parda (EMBRAPA, 1999). Expressam relevância pela capacidade de danos e por larga distribuição (KIMATI et al., 1997).

O crestamento foliar é causado por *Cercospora kikuchii* e a mancha parda por *Septoria glycines*, fungos que provocam desfolha e antecipam o ciclo da soja em até 25 dias, conseqüentemente prejudicando o enchimento de grãos, reduzindo em mais de 30% a produtividade se comparado a plantas sadias (EMBRAPA, 2003).

2.3.1 Crestamento Foliar

O crestamento foliar está presente em todas as regiões produtoras de soja no Brasil, tornando-se mais agressivo em regiões com alta precipitação e calor. Sobrevive em sementes, porém não afeta a germinação. Sementes não tratadas são um meio de introdução do fungo na lavoura, o qual pode sobreviver em restos culturais (HENNING et al., 2014).

Cercospora kikuchii apresenta conídios de formato aciculado, retos ou curvos, de coloração hialina. O tamanho varia de 3 a 6 μm x 70 a 300 μm , são multisseptados, com ampla diversidade morfológica, patogênica e isoenzimática (GODOY et al., 2016a).

O fungo é relacionado como causador de três problemas na soja: o crestamento foliar, a mancha púrpura nas sementes e a morte de plântulas. Por apresentar variabilidade e os conhecimentos de técnicas para o melhoramento genético contra a doença serem limitados, seu controle é dificultado (KUDO, 2009).

A infecção nas folhas e vagens é favorecida por molhamento foliar de 18 horas contínuas. Alta umidade e temperaturas entre 22 e 30 °C condicionam o surgimento do crestamento foliar (KUDO, 2009). Temperaturas entre 23 e 27 °C e alta umidade relativa do ar, são propícias para ocorrência de esporulação (GODOY

et al., 2016a).

Os sintomas podem ser observados em todas as partes da planta. Nas folhas forma pontuações de coloração castanho-avermelhado, com bordas difusas, coalescendo e formando grandes manchas escuras, ocasionando desfolha precoce. Nas vagens surgem pontuações vermelhas evoluindo para manchas castanho-avermelhadas. Nas hastes provoca manchas vermelhas limitadas ao córtex (HENNING et al., 2014).

2.3.2 Mancha Parda

Septoria glycines sobrevive em restos culturais, e seus esporos se disseminam pelo vento e pela ação da água. Condições climáticas quentes e úmidas favorecem a infecção e o desenvolvimento do patógeno. É necessário um período de molhamento foliar de 6 horas e temperaturas de 15 a 30°C para surgirem os sintomas (HENNING et al., 2014).

Em áreas com solos de baixa fertilidade as condições de ocorrência da mancha parda também são favorecidas, e geralmente se manifestam com maior intensidade no estágio reprodutivo R5 (GIORDANI, 2002).

Os sintomas são observados aproximadamente duas semanas após a emergência da soja, em folhas unifolioladas, na forma de manchas de contornos angulares e coloração castanho-avermelhadas e pode atingir os primeiros trifólios. Nas folhas, forma pontuações pardas de menos de 1 mm, evoluindo para manchas de até 4 mm de diâmetro, de cor castanha, com halo amarelo e contorno angular. Causa desfolha e maturação precoce (HENNING et al., 2014). A redução da taxa fotossintética acentuada prejudica de maneira direta a produtividade da soja (CARREGAL et al., 2015).

2.3.3 Controle de Doenças de Final de Ciclo

O controle de *C. kikuchii* e *S. glycines* com fungicidas químicos

iniciou em torno dos anos 1996 e 1997, com o crescente índice de ocorrência dessas doenças, devido ao plantio intensivo, a não realização de rotação de culturas, além da falta de fungicidas registrados para a cultura (GODOY et al., 2016a).

O controle de cretamento foliar deve ser feito por meio do uso de sementes livres do patógeno, tratamento químico de semente e o uso de fungicidas. O controle de mancha parda é mais eficiente quando empregada a rotação de culturas, devido ao patógeno sobreviver em restos culturais, juntamente com manejo adequado do solo, com adubação potássica, além da aplicação de fungicidas (HENNING et al., 2014).

A aplicação de fungicidas de maneira preventiva é a forma mais viável de reduzir perdas no caso das doenças de final de ciclo (MARTINS, 2003). O uso de escape no controle da ferrugem é igualmente válido para o complexo DFCs. Cultivares tardias apresentam mais intensidade de sintomas pelo maior tempo de exposição aos patógenos (MICHEL et al., 2000).

2.4 MANCHA ALVO

A mancha alvo é causada por *Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei (INDEX FUNGORUM, 2021), um fungo necrotrófico, polífago e cosmopolita, com mais de 408 espécies hospedeiras (SUMABAT et al., 2018), estando presente nos principais países produtores da soja incluindo Estados Unidos, China, Argentina e Brasil (SUMABAT et al., 2018), onde é visto em várias regiões, aparentando ser nativo, infectando plantas nativas e cultivadas (HENNING et al., 2014).

Além de apresentar uma ampla gama de hospedeiros, o fungo é capaz de sobreviver em restos culturais, sementes, formando estruturas de sobrevivência denominadas clamidósporos (OLIVEIRA et al., 2012). Na sua fase assexual produz conidióforos melanizados, lisos e septados, com comprimento de 400 a 500 µm e largura de 10 a 20 µm, 4 a 20 septos transversais (ELLIS, 1957).

Durante o ciclo, umidade relativa do ar superior a 80% e temperaturas entre 20 e 30 °C favorecem a infecção e progresso da doença

(AGRIOS, 2005).

Os sintomas iniciam na forma de lesões com pequenas manchas pardas e halo amarelo, partindo para grandes manchas circulares cor castanho claro a castanho escuro, de até 2 cm de diâmetro, apresentando pontuação escura no centro da lesão, lembrando um alvo. Em casos de alta severidade pode acarretar desfolha e infectar raízes (HENNING et al., 2014). Podem surgir manchas nas hastes, pecíolos e vagens (GODOY et al., 2016a).

A doença vem crescendo em importância causando perdas expressivas na cultura em distintas regiões do Brasil (MARQUES; TERNISKI, 2019). Para o controle as estratégias recomendadas são: o tratamento de sementes, uso de cultivares resistentes, rotação de cultura com gramíneas e controle químico (GODOY et al., 2016a). O método mais utilizado é o controle químico (AGROFIT, 2020).

O uso rotineiro de produtos químicos no controle da ferrugem tem impacto no controle da mancha alvo também. Porém, o uso indiscriminado de moléculas de fungicida pode levar a perda de eficiência, reduzindo a sensibilidade do patógeno (XAVIER et al., 2013).

Tem sido relatado casos de resistência ao grupo das estrobilurinas, também recentemente às carboxamidas (TERAMOTO et al., 2017). O *Fungicide Resistance Action Committee* (FRAC) considera o patógeno de alto risco de desenvolver resistência a fungicidas (FRAC, 2019).

Atualmente 64 fungicidas são registrados para o controle da mancha alvo no Brasil (AGROFIT, 2020). São usados fungicidas dos grupos químicos dos metoxicarbamatos e triazóis em mistura para minimizar as perdas em função do ataque da doença, por meio de associações com mancozebe, molécula pertencente ao grupo dos ditiocarbamatos (MATOS, 2016).

2.5 PATOMETRIA

Quantificar doenças na fitopatologia é um passo muito importante, por meio deste, avalia-se a magnitude de distintas doenças, eficiência de produtos, resistência varietal, proporcionando melhorias na antecipação de epidemias,

possibilitando a sua prevenção ao invés de conter os danos (VALE et al., 2004).

A fitopatometria tem como objetivo analisar o desenvolvimento de curvas de progresso de doenças ou epidemias, definir o momento ideal de realizar aplicação de fungicidas, comparar a eficiência dos mesmos, estimar os danos em decorrência da intensidade da doença, e observar o efeito de práticas culturais no controle das doenças (AZEVEDO, 1997).

A importância da fitopatometria tem sido comparada à da diagnose de doenças, pois de nada vale conhecer o agente causal da doença se não puder quantificar os sintomas (AMORIM, 1995). Sendo assim, quando se mede bem uma doença é possível apontar a quantidade de perda ocasionada (HORSFALL; COWLING, 1978).

Envolve a quantificação de variáveis que são um indicativo da intensidade da doença, sendo medidas pela severidade ou pela incidência, descrevendo o progresso da epidemia, relacionando o clima ou medidas de controle, além da validação de modelos de previsão e o uso do manejo integrado de doenças (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Estudos em epidemiologia exigem métodos padronizados, que sejam simples e adaptáveis em diferentes condições, e eficientes no momento de avaliar a intensidade da doença. A incidência consiste no número de plantas que se encontram doentes com relação ao total de plantas avaliadas, e a severidade trata-se do volume ou área de tecido doente relacionado ao volume ou área total, sendo estes métodos diretos de quantificação (BERGER, 1980).

2.5.1 Quantificação de Severidade

A severidade é a variável mais adequada para quantificar doenças foliares como manchas, ferrugens, entre outras. A intensidade neste caso é aferida por meio da porcentagem da área de tecido foliar com sintomas (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018).

Realizar a quantificação da área doente de maneira precisa é extremamente trabalhoso, principalmente quando há um elevado número de amostras e lesões. Sendo assim, são propostas algumas maneiras para facilitar a

avaliação da severidade de doenças, como o uso de escalas diagramáticas, chaves descritivas e análise de imagens computadorizadas (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018).

As escalas diagramáticas consistem em ilustrações representativas de diferentes porcentagens ou níveis de severidade da doença em uma série de plantas ou de parte das mesmas com sintomas (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018). É um dos principais métodos para avaliação da severidade de vários patossistemas (GODOY et al., 1997; GIGLIOTI; CANTERI, 1998).

2.6 FUNÇÃO DE DANO E LIMIAR DE DANO ECONÔMICO

A estimativa de danos ocasionados por doenças na soja é realizada pela diferença entre a produção de plantas saudáveis e a produção de plantas doentes. Existem métodos que são tradicionais para a determinação de danos sendo eles método do ponto crítico, superfície de resposta e múltiplos pontos, correlacionando a intensidade da doença com componentes de produção (JAMES; TENG, 1979).

Os modelos de avaliação de danos (James e Teng, 1979) são alcançados por meio da variação de quantidade de doenças em distintas parcelas, e a partir dos níveis de severidade obtidos, correlacionando-os com a produção.

O modelo de ponto crítico permite por meio da relação entre intensidade da doença e produtividade identificar um determinado estágio fenológico da cultura o qual apresenta alta correlação entre severidade e dano futuro (BERGAMIN FILHO et al., 1995).

O dano então é obtido pela regressão linear, a intensidade da doença é considerada a variável independente e a redução da produtividade variável dependente. Esta equação é denominada função de dano (ZADOKS, 1985).

A referida equação tem sua função em programas de manejo integrado de doenças, sendo por meio dela estimada a redução da produção de cada nível de severidade, e os dados são necessários para calcular o limiar de dano econômico (GODOY; CANTERI, 2004).

O limiar de dano econômico (LDE) é descrito como “o nível de ataque do organismo nocivo no qual o benefício do controle iguala seu custo”

(MUMFORD; NORTON, 1984).

Por tanto, é um critério indicador para a aplicação racional de fungicidas, o qual vem sendo usado no caso de doenças do trigo, onde a pesquisa no Brasil elaborou equações de função de dano para o cálculo do LDE para doenças como oídio (REIS; CASA; HOFFMANN, 1997), manchas foliares (CASA et al., 2001) e ferrugem da folha (REIS et al., 2000; REIS; LEITES; FORCELINI, 2006).

O princípio do manejo integrado de doenças de plantas com base no LDE preconiza que aplicações de fungicidas sejam realizadas no limiar de ação (LA). A medida deve ser executada para evitar que a doença exceda o LDE (REIS; CASA; BEVILAQUA, 2008).

No controle químico, considerando-se o econômico, deve ser evitado, por meio do manejo, que a intensidade da doença ultrapasse o LDE. A prática da medida de controle e a ação do fungicida necessitam tempo, por essa razão, a pulverização deve ser feita quando atingido o limiar de ação (LA). O limiar de ação é referente à intensidade da doença a qual as medidas de controle devem ser realizadas (REIS; ZANATA; REIS, 2017).

2.7 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto consiste na ciência capaz de captar informações a respeito de um objeto ou área sem que haja contato físico direto, a partir de análise de dados obtidos com um dispositivo (NOVO, 1992; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2007; JENSEN, 2009). Por meio de tal dispositivo é possível obter imagens ou dados da superfície da Terra através da interceptação e do registro de energia emitida pela mesma (FLORENZANO, 2011).

Equipamentos como satélites ou aeronaves são utilizados para monitorar e fotografar superfícies, contando com um sensor que capta e transmite a energia para uma estação (JONG; MEER, 2006).

No setor agrícola o sensoriamento remoto baseia-se no monitoramento do ciclo das plantas com a aferição de curvas espectrais da vegetação e a geração e revisão dos índices de vegetação. Estes estão estritamente relacionados com o índice de área foliar, quantia de biomassa, cobertura do solo e a

interceptação da radiação solar (ORMSBY; CHOUDHURY; OWE, 1987; RUDORFF; BATISTA, 1990; WIEGAND; EVERITT; RICHARDSON, 1992; ANTUNES; ASSAD; BATISTA, 1993).

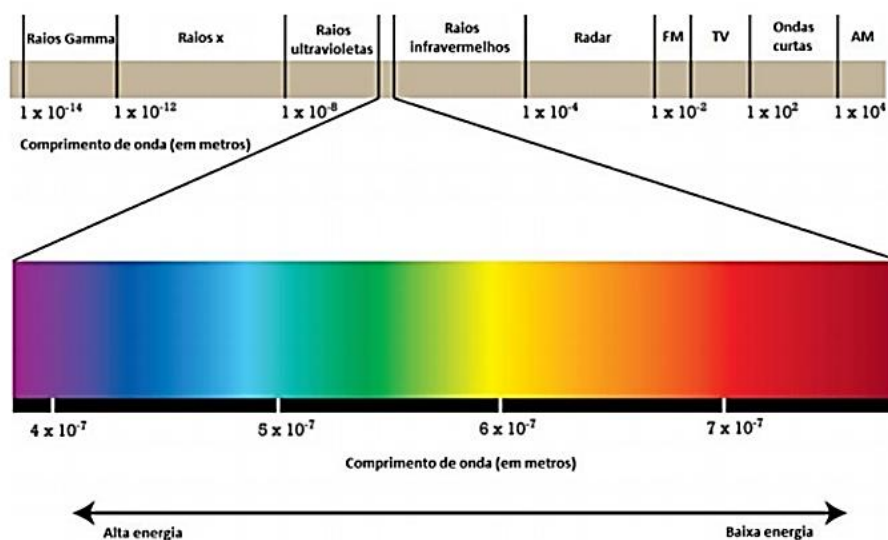
Estudos a respeito de técnicas de processamento de imagens e sensoriamento remoto vem sendo desenvolvidos para o auxílio no monitoramento de doenças de plantas, como a ferrugem asiática da soja (SILVA et al., 2009), mofo branco em feijão (BOECHAT et al., 2014), *Rhizoctonia solani* (WEBB; CALDERÓN, 2015), cercóspora no milho (DHAU et al., 2017), entre outras.

No monitoramento de cultivos são utilizados os índices de vegetação, que consistem em combinações de dados espectrais provenientes de bandas (MOREIRA, 2000). Dentro dos diferentes índices o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é largamente utilizado (ROUSE et al., 1973). O NDVI é fundamentado no contraste entre a absorção máxima no vermelho por pigmentos de clorofila e na reflexão máxima no infravermelho apresentada pela estrutura celular da folha (HABOUDANE et al., 2004).

Realizar a divisão de bandas é uma ação que possibilita identificar variações e realçar a refletância do alvo em estudo. A melhor maneira de dividir é a criação de índices, levando em consideração o realce das modificações de densidade da cobertura da vegetação, ou seja, o índice de vegetação (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A partir das regiões do espectro luminoso pode-se calcular e obter a variação de índices de vegetação. Estas são determinadas em regiões infravermelho (IR), regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) (DUTRA, 2014). A Figura 1 a seguir demonstra divisões do espectro magnético.

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: Dutra (2014)

Por meio da utilização de informações de comprimentos de onda é possível especificar padrões de plantas, como a área foliar, teor de água e de pigmentos (PEÑUELAS et al., 1993; BLACKBURN, 1998; GITELSON et al., 2002).

Utilizar combinações de comprimentos de onda por meio de sensores pode ser uma ferramenta para detectar índices espectrais de doenças, visto que a assinatura espectral de cada doença é influenciada de uma maneira característica (MAHLEIN et al., 2013).

Os dados obtidos da radiação refletida por plantas tornam-se um tipo de “assinatura espectral” do dossel, que provém das interações das radiações que são transmitidas, absorvidas e refletidas pela superfície das plantas. Plantas saudáveis diferem das doentes em suas propriedades radiantes de tecidos, possuindo “assinaturas espectrais” diferentes (WEST et al., 2003).

Diferentes fatores influenciam a “assinatura espectral” do dossel, sendo estes a umidade relativa, vigor e tamanho da planta, topografia, tipo de solo, espaçamento e densidade de plantio, estágio da planta, e manejo, entre outros (MOREIRA; ADAMI; RUDORFF, 2004; VIEIRA et al., 2006).

A refletância da planta se dá em função da sua morfologia e constituição interna, considerando a celulose, solutos, pigmentos dentro do cloroplasto, espaços intercelulares (MOREIRA, 2011), juntamente com conteúdo de água, condições de sombreamento, senescência (GAUSMAN, 1985; PONZONI, 2001), características dielétricas ou térmicas das plantas (BARET; HOULÈS;

GUÉRIF, 2007).

Folhas sadias de maneira geral demonstram baixa refletância na região espectral visível (400 - 700 nm), na região de infravermelho curto (1.200 - 2.400 nm), e alta refletância na região do infravermelho próximo (700 - 1.200 nm). Com a presença de doenças as propriedades ópticas das folhas são afetadas, o que possibilita detectar e quantificar doenças com base em medidas de espectro com distintas combinações de comprimentos de onda (WEST et al., 2003).

Com a utilização da refletância no monitoramento de lavouras, estas medidas servem como método de avaliação de eficiência de fungicidas (CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; JULIATTI et al., 2004; NILSSON, 1995; NUTTER, 1989; NUTTER et al., 1996).

Radiômetros de múltiplo espectro mostram uma boa correlação com o índice de área foliar na faixa de onda próxima ao infravermelho (CANTERI et al., 1999; JULIATTI et al., 2004; NILSSON, 1995; NUTTER; LITTREL, 1996). O índice de área foliar é afetado por agentes bióticos ou abióticos, dentre eles, doenças (NUTTER JUNIOR, 1989; NUTTER; LITTREL, 1996).

A área foliar total da planta é um fator utilizado em estudos epidemiológicos para quantificar o crescimento da planta e a correlação com a produção. Pode ser estimada por métodos diretos, onde as medidas são aferidas na copa da planta, ou métodos indiretos, relacionando propriedades da copa como a refletância da luz solar com a área foliar (CAMPBELL; NORMAN, 1989). Logo, o uso de radiômetros de múltiplo espectro permite estimar e quantificar a doença (AQUINO et al., 1992; NUTTER JR., 1989; NUTTER JR. et al., 1993).

Os equipamentos realizam a quantificação da radiação refletida com sensores dispostos entorno de 1 a 1,5 m de distâncias acima do dossel, mostrando-se eficaz na quantificação de doenças de feijoeiro (CANTERI et al., 1998), soja (SILVA et al., 2009) e amendoim (NUTTER JR., 1989; CANTERI et al., 1999).

3 ARTIGO: ESTIMATIVA E FUNÇÃO DE DANO POR DOENÇAS FOLIARES NA CULTURA DA SOJA

3.1 RESUMO

Um fator decisivo no manejo de doenças da soja é a quantificação de danos para a tomada de decisão. O objetivo foi determinar, por meio do Limiar de Dano Econômico, o momento ideal para iniciar a aplicação no controle de ferrugem asiática, doenças de final de ciclo e mancha alvo na cultura da soja. Os experimentos foram conduzidos em dois locais, no distrito de Guaravera – PR e na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina – PR. A semeadura da cultivar BMX Garra IPRO foi realizada dia 28/10/2020 em Guaravera e dia 20/11/2020 na Fazenda Escola, com espaçamento de 0,50 m entre linhas, 13 plantas por metro linear, com total de 260 mil plantas ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 11 tratamentos e quatro repetições. Os ensaios foram compostos pela testemunha e por oito tratamentos com diferentes épocas e número de aplicações de fungicidas. As aplicações foram realizadas com bixafem+protioconazol+trifloxistrobina (0,5 L ha⁻¹) adicionado de mancozebe (1,5 kg ha⁻¹). Os dois últimos tratamentos eram compostos de aplicações isoladas dos fungicidas. A severidade das doenças foi avaliada semanalmente, e por meio desta obtida a Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença. Foram realizadas leituras de refletância semanalmente. A produtividade foi determinada após a colheita, e a partir desta estimado o dano. A função de dano foi obtida pela regressão linear entre a severidade em diferentes estádios e a produtividade, e medidas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada em diferentes estádios e a produtividade. A partir dos coeficientes de dano obtidos das funções de dano foi calculado o Limiar de Dano Econômico. Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de separação de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade e as regressões obtidas a significância do modelo pelo teste F a 5% de probabilidade, por meio do software R versão 4.1.0. Por meio das leituras de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada não foi possível determinar o Limiar de Dano Econômico, apenas separar os tratamentos em estágio avançado (R6). O somatório da severidade das doenças apresentou relação significativa com a produtividade em diferentes estádios fenológicos, e a partir do coeficiente de dano de cada função obteve-se o Limiar de Dano Econômico, sendo 0,42 unidades de severidade aos 79 DAE, 1,63 aos 89 DAE, 5,57 aos 93 DAE, 3,41 aos 100 DAE e 7,91 aos 107 DAE. Segundo os dados acima a severidade correspondente ao Limiar de Dano Econômico ocorreu aos 65 DAE, no estágio R4. O Limiar de Ação foi estimado em 10 dias, portanto, o momento para iniciar o controle seria aos 55 DAE. A aplicação realizada aos 33 DAE não influenciou a produtividade. Estimando-se a redução de produtividade diária a partir de 49 DAE obteve-se 10,1 kg ha⁻¹ por dia, sendo possível estimar também o dia para início das aplicações, que resultou em 55 DAE. Estimativas do Limiar de Dano Econômico podem ser específicas para região, safra, variedade e doenças que ocorreram, entre outros fatores.

Palavras-chave: controle químico; ferrugem asiática; limiar de dano econômico.

3.2 ABSTRACT

A decisive factor in the management of soybean diseases is the quantification of damages for decision making. The objective was to determine, through the Economic Damage Threshold, the ideal moment to start the application in the control of Asian rust, end-of-cycle diseases and target spot in the soybean crop. The experiments were carried out in two locations, in the district of Guaravera – PR and at Fazenda Escola, Universidade Estadual de Londrina – PR. The sowing of the BMX Garra IPRO cultivar was carried out on 10/28/2020 in Guaravera and on 11/20/2020 at Fazenda Escola, with a spacing of 0.50 m between rows, 13 plants per linear meter, with a total of 260,000 plants ha⁻¹. The experimental design was in randomized blocks with 11 treatments and four replications. The tests were composed of the control and eight treatments with different times and number of fungicide applications. Applications were performed with bixafem+prothioconazole+trifloxystrobin (0.5 L ha⁻¹) added with mancozeb (1.5 kg ha⁻¹). The last two treatments were composed of isolated applications of fungicides. Disease severity was assessed weekly, and the Area Below the Disease Progress Curve was obtained through it. Reflectance readings were taken weekly. Productivity was determined after harvest, and the damage was estimated from this. The damage function was obtained by linear regression between severity at different stages and yield, and measures of Normalized Difference Vegetation Index at different stages and yield. From the damage coefficients obtained from the damage functions, the Economic Damage Threshold was calculated. Data were submitted to analysis of variance and Scott-Knott mean separation test at 5% probability and regressions were obtained for model significance by the F test at 5% probability, using R software version 4.1.0. By means of the Normalized Difference Vegetation Index readings, it was not possible to determine the Economic Damage Threshold, only to separate the treatments at an advanced stage (R6). The sum of disease severity showed a significant relationship with productivity at different phenological stages, and from the damage coefficient of each function, the Economic Damage Threshold was obtained, with 0.42 units of severity at 79 DAE, 1.63 at 89 DAE, 5.57 at 93 DAE, 3.41 at 100 DAE and 7.91 at 107 DAE. According to the data above, the severity corresponding to the Threshold of Economic Damage occurred at 65 DAE, at stage R4. The Action Threshold was estimated at 10 days, therefore, the time to start control would be at 55 DAE. The application performed at 33 DAE did not influence productivity. Estimating the daily productivity reduction from 49 DAE, 10.1 kg ha⁻¹ per day was obtained, and it is also possible to estimate the day for the beginning of the applications, which resulted in 55 DAE. Estimates of the Economic Harm Threshold may be specific to region, crop, variety and diseases that have occurred, among other factors.

Key-words: chemical control; asian rust; economic damage threshold.

3.3 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertence ao grupo das oleaginosas, sendo a principal cultura cultivada no Brasil, representando aproximadamente 50% da colheita de grãos. Estima-se para a safra de 2020/21 uma produção aproximada de 135 milhões de t, registrando um aumento de 7,9 milhões de t, em relação à safra 2019/20 (CONAB, 2021).

A cultura é amplamente explorada no país, com o cultivo se estendendo de norte a sul (PASSOS et al., 2014). O sucesso produtivo se deve a adaptabilidade e ao melhoramento das cultivares, em vários aspectos da cultura (EMBRAPA, 2011), embora a mesma possa ser acometida por mais de 40 doenças, causadas por fungos, nematoides, bactérias e vírus (HENNING et al., 2014).

Diferentes fitopatógenos são relatados na cultura da soja, entre eles os que causam as doenças foliares, sendo eles *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd (ferrugem asiática da soja), *Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei (mancha alvo), *Septoria glycines* Hemmi (mancha parda), *Cercospora kikuchii* (Tak. Matsumoto & Tomoy.) M.W. Gardner (crestamento foliar de cercóspora e mancha púrpura) (HENNING et al., 2014; INDEX FUNGORUM, 2021).

A ferrugem asiática da soja sob condições ambientais favoráveis pode causar danos de até 90% na produção (HARTMAN et al., 2015). No Brasil as perdas de rendimento causadas pela mancha alvo variam de 8% a 40% (MOLINA et al., 2018). Dentro das doenças de final de ciclo estão a mancha parda e o crestamento foliar capazes de causar perdas de até 30% (PLOPER, 1999).

Diversos desafios são encarados durante a produção de alimentos, como o uso de produtos para controle químico, principalmente o uso de fungicidas de maneira inadequada (SENTELHAS et al., 2015; ST-MARSEILLE et al., 2019). Doenças consideradas secundárias passam a ter importância primária dependendo do manejo, das condições climáticas e da região de cultivo (MENDONÇA; DA SILVA e FILHO, 2021).

A ação de agentes bióticos ou abióticos está estritamente relacionada com a fitossanidade da cultura (FONSECA; ARAÚJO, 2015). Durante o ciclo da soja, agentes como pragas ou doenças provocam de modo simultâneo

danos que nem sempre são mensurados (RIETJENS; DECLOQUEMENT; FONSECA, 2016).

Quantificar danos é um fator decisivo para definir estratégias de controle. Por meio de estimativas confiáveis do prejuízo que fitopatógenos podem causar, se obtém sucesso no desenvolvimento de programas de controle. O uso de modelos matemáticos e análise de curvas de progresso de doenças é uma ferramenta importante, pois permite o monitoramento, levando em consideração a severidade em função do tempo (BERGAMIN FILHO, 1995).

As doenças foliares são caracterizadas por reduzir a quantidade de tecido sadio da folha, diminuindo a atividade de fotossíntese, provocando senescência das folhas antecipada, e o ciclo da cultura é reduzido (YORINORI et al., 2005).

A radiometria é uma estratégia empregada para medição quantitativa da energia radiante. Por meio dessas medidas pode-se obter a intensidade de refletância eletromagnética que o objeto de estudo reflete nos distintos comprimentos de onda do espectro (OLIVEIRA; PONZONI e MORAES, 2009; TYAGI; BHOSLE, 2014).

O uso do sensoriamento remoto, com o auxílio de radiômetros de múltiplo espectro permitem verificar variações temporais dos fatores que influenciam na produção e orientam na tomada de decisão, na aplicação de insumos e manejo (VARGAS, 2011).

O objetivo do trabalho foi determinar, por meio do limiar de dano econômico, o momento ideal para iniciar a aplicação no controle múltiplo de doenças, ou seja, a ferrugem asiática, doenças de final de ciclo e da mancha alvo na cultura da soja.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização do Experimento

O experimento foi conduzido em duas áreas, uma localizada no distrito de Guaravera no Paraná, com as coordenadas 23°33'01" S e 51°12'41" W e

uma altitude de 596 m e a outra na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, na cidade de Londrina no Paraná, com as coordenadas 23°19'08" S e 51°11'36" W e uma altitude de 560 m. O solo da região é classificado como latossolo vermelho distroférico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), e o clima como Cfa (subtropical úmido), de acordo com a classificação de Koppen.

3.4.2 Instalação e Delineamento Experimental

O plantio foi realizado no dia 28/10/2020 em Guaravera e no dia 20/11/2020 na Fazenda Escola, compondo um experimento em duplicata. O espaçamento utilizado foi de 0,50 m entre linhas, com 13 sementes por metro linear, contando com uma população de 260 mil plantas ha⁻¹ no total. A cultivar utilizada foi a BMX Garra IPRO. As parcelas foram compostas por seis linhas de semeadura e seis metros lineares de comprimento. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com 11 tratamentos e quatro repetições por tratamento.

3.4.3 Produtos e Épocas de Aplicação

Para as aplicações foram utilizadas combinações de dois fungicidas comerciais visando o controle de múltiplas doenças, ou seja, ferrugem asiática da soja, doenças de final de ciclo e mancha alvo na cultura da soja, disposto de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Fungicidas comerciais utilizados visando o controle de ferrugem asiática, doenças de final de ciclo e mancha alvo na cultura da soja, Londrina – PR, safra 2020/21

Fungicidas	I.A.	Grupo Químico	Modo de Ação/Sítio	Concentração	Dose
Fox Xpro	trifloxistrobina+	estrobilurina	IQo	150 g L ⁻¹	0,5 L ha ⁻¹
	protioconazol+	triazol	IDM	175 g L ⁻¹	
	bixafem	carboxamida	ISDH	125 g L ⁻¹	

Unizeb Gold mancozebe alquilenobis Multissítio 750 g kg⁻¹ 1,5 kg ha⁻¹

IQo: Inibidores da quinona oxidase

IDM: Inibidores da desmetilação

ISDH: Inibidores da succinato desidrogenase

Por meio da aplicação dos fungicidas com diferentes inícios de aplicações em dias após a emergência (DAE) e número de pulverizações foi gerado o gradiente de intensidade das doenças. Os dias em que ocorreram as pulverizações e a quantidade de pulverizações foram conforme o exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Tratamentos, número de pulverizações, e época de aplicação em dias após a emergência (DAE) nas áreas 1 (Guaravera) e 2 (Fazenda Escola), Londrina – PR, safra 2020/21

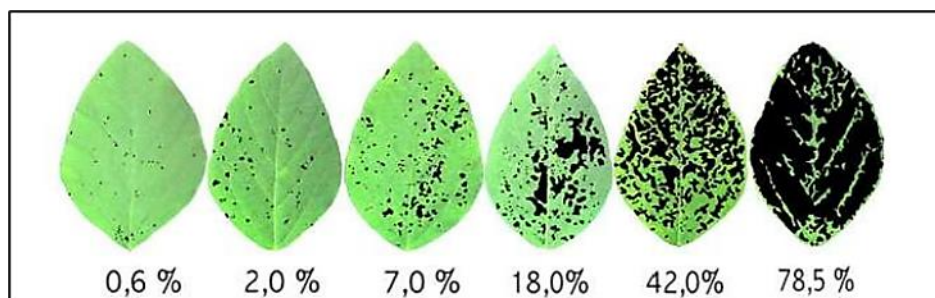
	Tratamentos	Nº de aplicações	Época de aplicação (DAE)
Área 1	T1 Testemunha	-	-
	T2 Fox Xpro + Unizeb Gold	6	33-49-65-82-103-116
	T3 Fox Xpro + Unizeb Gold	5	49-65-82-103-116
	T4 Fox Xpro + Unizeb Gold	4	56-76-93-110
	T5 Fox Xpro + Unizeb Gold	4	65-82-103-116
	T6 Fox Xpro + Unizeb Gold	3	76-93-110
	T7 Fox Xpro + Unizeb Gold	3	82-103-116
	T8 Fox Xpro + Unizeb Gold	2	93-110
	T9 Fox Xpro + Unizeb Gold	2	103-116
	T10 Fox Xpro	5	49-65-82-103-116
	T11 Unizeb Gold	5	49-65-82-103-116
Área 2	T1 Testemunha	-	-
	T2 Fox Xpro + Unizeb Gold	6	28-44-58-88-103-122
	T3 Fox Xpro + Unizeb Gold	5	44-58-88-103-122
	T4 Fox Xpro + Unizeb Gold	4	51-72-93-111
	T5 Fox Xpro + Unizeb Gold	4	58-88-103-122
	T6 Fox Xpro + Unizeb Gold	3	72-93-111
	T7 Fox Xpro + Unizeb Gold	3	88-103-122
	T8 Fox Xpro + Unizeb Gold	2	93-111
	T9 Fox Xpro + Unizeb Gold	2	103-122
	T10 Fox Xpro	5	44-58-88-103-122
	T11 Unizeb Gold	5	44-58-88-103-122

3.4.4 Avaliação da Severidade

A avaliação da severidade das doenças foliares foi realizada com o auxílio de escalas diagramáticas da ferrugem asiática da soja proposta por Godoy et al. (2006) (Figura 2), do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja

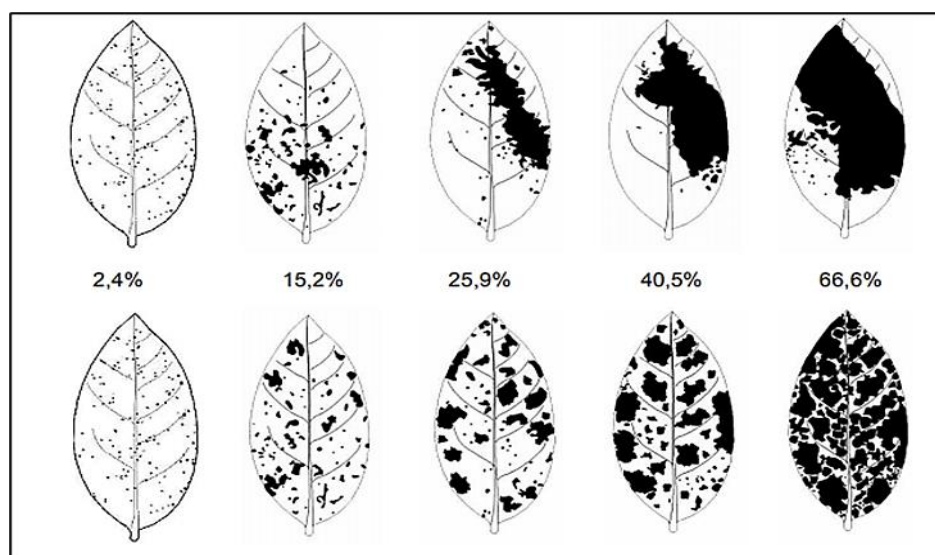
Martins et al. (2004) (Figura 3), e da mancha alvo proposta por Soares, Godoy e Oliveira (2009) (Figura 4).

Figura 2 – Escala diagramática da ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*



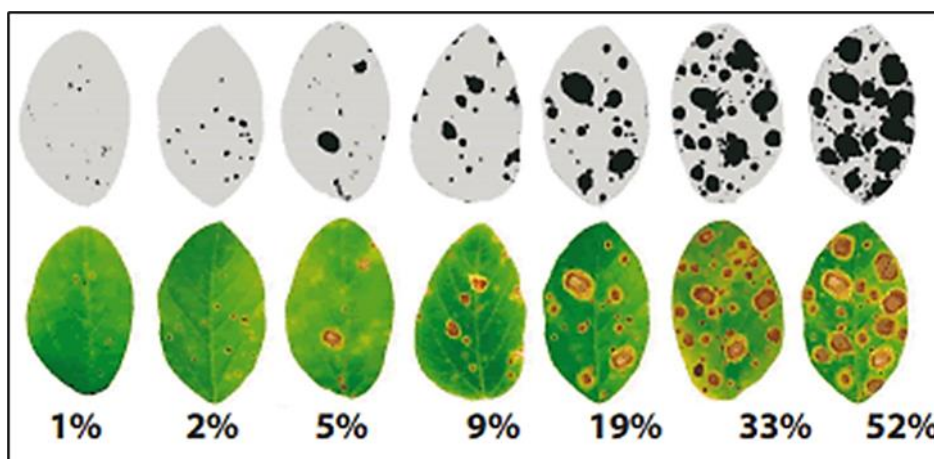
Fonte: Godoy, Koga e Canteri (2006)

Figura 3 – Escala diagramática das doenças de final de ciclo da soja causadas por *Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*



Fonte: Martins et al. (2004)

Figura 4 – Escala diagramática da mancha alvo na soja causada por *Corynespora cassiicola*



Fonte: Soares, Godoy e Oliveira (2009)

Foram avaliadas quatro plantas por parcela, de cada planta amostrada uma folha do terço inferior, uma do terço mediano e uma do terço superior do dossel, compondo doze leituras em cada parcela. As avaliações foram realizadas semanalmente e iniciaram no aparecimento dos primeiros sintomas da doença e finalizadas com a senescência total das folhas.

A partir dos dados de severidade obtidos foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (SHANER; FINNEY, 1977) para cada parcela, pela fórmula:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1})/2] (t_{i+1} - t_i)$$

Onde X é referente a severidade média da doença por parcela, $X_i = X(t_i)$, n é o número de avaliações e $(t_{i+1} - t_i)$ refere-se ao intervalo entre duas avaliações seguidas.

3.4.5 Leitura da Refletância do Dossel

As leituras de refletância do dossel foram realizadas semanalmente com o auxílio de um espectro-radiômetro GreenSeeker Hand Held Model® 505, disposto de um a dois metros aproximadamente de distância acima do dossel, com valor de refletância nos comprimentos de onda de 660 nm (VIS) e 770 nm (NIR), para obtenção dos dados de NDVI.

3.4.6 Produtividade

Para a obtenção dos dados de produtividade foi realizada a colheita semimecanizada de cada parcela, arrancando de forma manual as plantas de três linhas centrais de três metros, totalizando uma área de 4,5 m², e trilhadas em trilhadora, quando atingido o estágio de maturação. Realizou-se a pesagem das amostras colhidas e a de mil grãos, também aferição da umidade dos grãos e correção para o valor de 13%, a produtividade foi estimada em kg ha⁻¹.

3.4.7 Cálculo de Dano

O cálculo de dano em kg ha⁻¹ foi realizado calculando-se a diferença entre o tratamento que resultou em maior produtividade e os demais tratamentos e então a partir dos resultados obtidos calculou-se os danos em porcentagem.

3.4.8 Correlações e Obtenção das Funções de Dano

Por meio de regressões lineares buscou-se mensurar a relação entre produtividade e severidade, produtividade e medidas de refletância, para obter a equação de função de dano, e a relação entre as medidas de refletância e severidade.

As equações de dano foram estimadas com base na equação aplicada por Hartman et al. (1991), sendo ela $y=a+bx$, obtida na análise de regressão, onde “y” é a produtividade estimada, e “x” é o somatório de severidade das doenças, representada pela variável severidade em diferentes estádios fenológicos, ou a refletância, representada pela variável NDVI em diferentes estádios fenológicos. O coeficiente de regressão “b”, definido como coeficiente de dano (CD) da equação indica o quanto varia a média de “y” para o aumento de 1 unidade de “x”. Com o coeficiente de dano obtido da relação entre severidade e produtividade foi estimado o limiar de dano econômico (LDE).

Para obter informações sobre a relação entre os dados de severidade e medidas de NDVI foi realizada a regressão linear entre severidade e NDVI, nos diferentes estádios fenológicos, pela equação “ $y=a+bx$ ”. Onde o “y” representa o NDVI e o “x” a severidade. Por meio do coeficiente de regressão “b” foi indicada a variação que a média de NDVI “y” sofre com o aumento de 1 unidade de severidade “x”.

3.4.9 Limiar de Dano Econômico

Para a obtenção do LDE foram utilizados os dados dos coeficientes de dano das funções de dano obtidas a partir da relação entre produtividade e severidade para cada estágio fenológico. A partir do coeficiente de dano e o custo médio para o controle das doenças em kg ha^{-1} foi calculado o limiar de dano econômico (LDE), pela fórmula: $\text{LDE} = \text{custo médio kg ha}^{-1} / \text{CD}$, baseada na fórmula modificada de Munford e Norton (1984) proposta por Reis et al. (2000) aplicada para doenças.

Para o cálculo do custo médio do controle das doenças foi realizada a conversão do custo monetário para um custo em kg ha^{-1} de soja e foram considerados dados da safra 2020/21. Para o custo monetário foi levado em consideração o custo de aplicação de R\$ 190,00 ha^{-1} , sendo referente ao custo de fungicida de R\$110,00 para Fox Xpro e R\$40,00 para Unizeb Gold, e o custo médio da operação de R\$ 40,00 (BOLLER, 2010). O custo da saca de 60 kg foi considerado no valor de R\$ 172,60 (preço da saca na safra 2020/21).

Dessa forma a conversão foi dada por: (custo monetário da aplicação / custo da saca) * peso da saca. Sendo a equação para o cálculo de $\text{LDE} = 66,05 \text{ kg ha}^{-1} / \text{CD}$.

Para obter a resposta de qual o tratamento representa o LDE, utilizou-se o método da “parcela controle” (LOPES et al., 1994; BERGAMIN FILHO et al., 1997; CANTERI, 1998).

A partir do LDE foi calculado o limiar de ação, descontando do LDE em dias o período de latência, que é o tempo decorrido entre deposição do patógeno na superfície do hospedeiro e o aparecimento dos sinais (BERGAMIN FILHO e KRANZ, 1996), da ferrugem asiática, DFCs e mancha alva, considerando como 10

dias o período de latência para as doenças foliares (MARTINS et al., 2007; ZAMBENEDETTI et al., 2007; COSTA, 2020).

3.4.10 Redução na Produtividade em Função do Atraso da Primeira Aplicação

Para obter informações de quanto é perdido em kg ha⁻¹ na produtividade com o atraso da primeira aplicação por dia foi realizada a regressão linear entre a produtividade e os dias que se iniciaram as aplicações para cada tratamento pela equação “ $y=a+bx$ ”.

Após obter a informação do valor de perda em kg ha⁻¹ com o atraso da primeira aplicação por dia, foi calculado em dias o momento em que o custo da aplicação equivale à redução de produtividade obtida pela regressão, para indicar o momento ideal de iniciar a aplicação.

Para o cálculo considerou-se o valor de R\$172,60 para a saca de soja de 60 kg e foi calculada a redução em valor monetário por ha por dia equivalente ao valor de perda em kg ha⁻¹ por dia da regressão. Assim que obtido o valor monetário, foi calculado em dias o momento em que o custo da aplicação equivale à redução de produtividade obtida por meio da equação: (custo monetário da aplicação / custo monetário por ha por dia de perda). Sendo a equação para o cálculo: Dias = (R\$190,00 / custo monetário por ha por dia de perda).

3.4.11 Incremento na Produtividade em Função do Número de Aplicações

Para obter informações a respeito de quanto o número de aplicações incrementa na produtividade em kg ha⁻¹ foi realizada a regressão linear entre a produtividade e o número de aplicações pela equação “ $y=a+bx$ ”.

3.4.12 Análise dos Dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-

Wilk e Bartlett, respectivamente. Quando não atendido uma das pressuposições, os dados foram transformados de acordo com o modelo proposto por Box e Cox (1964). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R versão 4.1.0 (R Core Team, 2021), bem como as análises das regressões lineares, obtendo significância do modelo pelo teste F a 5% de probabilidade, utilizando o pacote AgroR (SHIMIZU; MARUBAYASHI; AZEVEDO, 2021).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença de Ferrugem Asiática, DFCs e Mancha Alvo

A partir dos 65 dias após emergência na área 1 (Guaravera) foram observados os primeiros sintomas das doenças foliares, quando as plantas estavam em R4. Observou-se que a doença predominante foi a ferrugem asiática da soja, seguida das DFCs (crestamento foliar e mancha parda) e mancha alvo com proporção mais baixa (Tabela 3).

Na ferrugem asiática da soja, os tratamentos 2, 3, 4, 5, 10 e 11 diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, obtendo os menores valores de AACPD, os tratamentos 7 e 9 não diferiram estatisticamente da testemunha e os tratamentos 6 e 8 diferiram dos demais, obtendo os maiores valores de AACPD (Tabela 3).

Para as DFCs os tratamentos 3, 5, 10 e 11 diferiram da testemunha, apresentando os menores valores de AACPD, enquanto os demais tratamentos não diferiam estatisticamente da testemunha, apresentando os maiores valores de AACPD (Tabela 3).

Quanto a mancha alvo os tratamentos 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 não diferiram estatisticamente da testemunha, obtendo os menores valores de AACPD, enquanto os tratamentos 5, 10 e 11 obtiveram os maiores valores de AACPD, diferindo estatisticamente da testemunha e demais tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 – Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) da ferrugem asiática da soja, das doenças de final de ciclo (DFCs) e da mancha alvo na área 1

(Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21

Tratamentos	AACPD					
	Ferrugem		DFCs		Mancha alvo	
1	15,58	b	1,50	a	0,07	b
2	9,40	c	1,29	a	0,07	b
3	8,35	c	0,82	b	0,11	b
4	8,73	c	1,37	a	0,11	b
5	8,36	c	0,87	b	0,22	a
6	17,73	a	2,24	a	0,09	b
7	15,37	b	1,60	a	0,07	b
8	19,76	a	1,88	a	0,03	b
9	16,01	b	1,79	a	0,07	b
10	10,51	c	0,74	b	0,17	a
11	8,65	c	1,00	b	0,16	a
CV (%)	5,85		20,35		64,47	
p-valor	0,001		0,0088		0,0168	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A AACPD apresentou comportamento distinto para ferrugem asiática e mancha alvo, não indicando um gradiente de acordo com os tratamentos 6 e 8 para ferrugem asiática, apresentando valores de AACPD maiores que a testemunha, e os tratamentos 5, 10 e 11 para mancha alvo, apresentando valores de AACPD maiores que a testemunha.

O tratamento 6 recebeu a primeira aplicação aos 76 DAE, período que já havia sido constatada a presença da ferrugem asiática na área, e o tratamento 8 aos 93 DAE, vários dias após. A severidade dos tratamentos apresentou-se maior que a da testemunha antes de receberem a primeira aplicação o que levou ao gradiente de severidade não se apresentar conforme o esperado.

Nas safras de 2005/06 e 2006/07 aplicações de fungicida com altos níveis de severidade, de 52% e 48%, não apresentaram retorno produtivo, reduzindo em 86% e 70% a produtividade, sendo semelhantes à testemunha (GODOY et al., 2009). Para Navarro et al. (2004) também foi observado, plantas com alto nível de severidade tratadas apresentaram produtividade similar a plantas não tratadas.

De acordo com Nunes et al. (2012), a eficiência do controle químico está sujeita a fase que se encontra a doença e o nível de pressão de inóculo em que se encontra submetida a área na época da aplicação.

Para a área 2 (Fazenda Escola) verificou-se que a partir dos 77 dias após emergência, observou os primeiros sintomas das doenças foliares, quando as plantas estavam R5.2.

A doença fúngica mais predominante foi a ferrugem asiática da soja, seguida das DFCs (crestamento foliar e mancha parda), e mancha alvo (Tabela 4).

Tanto para a ferrugem asiática, como DFCs e mancha alvo não houve diferença estatística entre todos os tratamentos para a AACPD (Tabela 4).

Tabela 4 – Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) da ferrugem asiática da soja, das doenças de final de ciclo (DFCs) e da mancha alvo na área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21

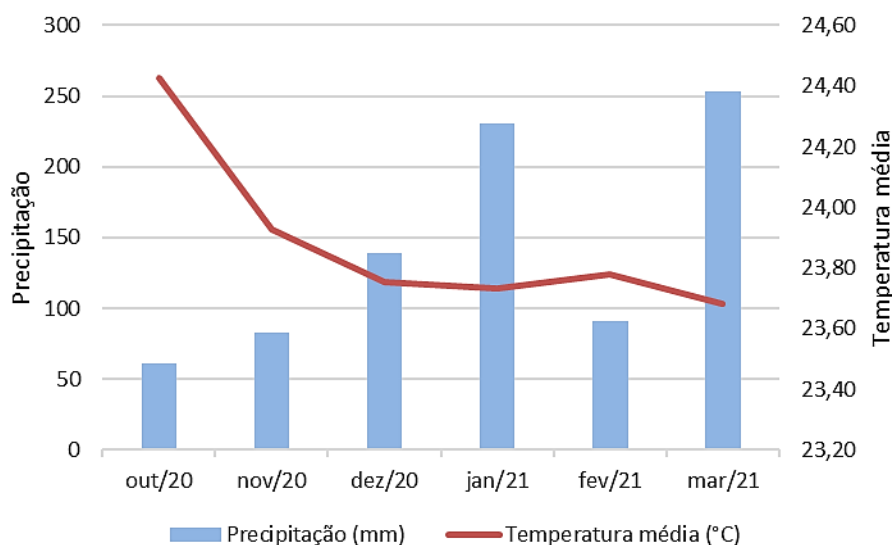
Tratamentos	AACPD		
	Ferrugem	DFCs	Mancha alvo
1	15,6 ^{NS}	3,7 ^{NS}	0,2 ^{NS}
2	14,3	1,8	0,2
3	14,9	3,6	0,2
4	14,7	2,4	0,2
5	15,3	3,4	0,3
6	14,7	2,5	0,2
7	15,9	2,8	0,1
8	14,4	3,6	0,2
9	14,5	1,6	0,1
10	14,6	2,6	0,2
11	15,4	2,7	0,2
CV %	3,62	34,12	41,32
p-valor	0,3914	0,9227	0,7916

^{NS}: Teste de Scott-Knott não significativo ao nível de 5%.

A AACPD não teve o comportamento conforme esperado para ferrugem asiática, DFCs e mancha alvo, não apresentando um gradiente de acordo como os tratamentos, pois a AACPD não diferiu estatisticamente entre os tratamentos para as doenças (Tabela 4).

Os dados de temperatura média e precipitação mensal do período em que os experimentos da área 1 (Guaravera) e da área 2 (Fazenda Escola) encontravam-se no campo, estão representados no Figura 5.

Figura 5 – Temperatura média e precipitação mensal registrados para o município de Londrina-PR na safra de 2020/21



Fonte: IDR-Paraná, 2021.

Ao analisarem-se os dados meteorológicos dos meses de outubro de 2020 a março de 2021, verificou-se que o maior dado de temperatura média foi de 24,43 °C, e menor de 23,68 °C (Figura 5).

A precipitação acumulada durante o período da condução do experimento foi de 858 mm, sendo a faixa para obtenção de máximo rendimento produtivo variando de 480 a 800 mm/ciclo (EMBRAPA, 2004). Contudo, apesar da precipitação acumulada estar acima da faixa, as chuvas foram mal distribuídas em ambas as áreas.

De acordo com os boletins agro meteorológicos disponibilizados pelo IDR-Paraná (2021) em janeiro houve excesso de chuva com períodos ininterruptos e baixa radiação solar, enquanto em fevereiro houve a redução de volume hídrico, ficando abaixo do esperado para o mês.

Temperaturas abaixo de 10°C e acima de 28°C diminuem a taxa do progresso da ferrugem asiática, não apresentando sintomas nas folhas. Temperaturas acima de 22,5°C, influenciam de forma decrescente na severidade e na frequência de infecções (ALVES et al., 2005).

Segundo Bergamin Filho (2008) a ação da chuva libera os urediniósporos da ferrugem e fornece água para o processo de germinação desses esporos, além de manter a temperatura próxima a ideal para a infecção. Quando o período de molhamento foliar é interrompido a taxa de germinação e formação de apressório é reduzida, além da severidade da doença ser reduzida em até 92%,

apontando a intolerância da doença a períodos secos (FURTADO et al., 2011).

A infecção por *Cercospora kikuchii* exige molhamento foliar de aproximadamente 18 horas contínuas, temperaturas entre 22°C e 30°C (KUDO, 2009). A esporulação exige alta umidade relativa do ar e temperaturas de 23°C a 27°C (GODOY et al., 2016a). A aplicação de fungicidas no início da doença pode evitar ou ao menos reduzir o progresso da doença (DELP, 1988; HEANEY et al., 1994).

O processo de infecção e o desenvolvimento da mancha alvo são favorecidos por umidade relativa do ar acima de 80% e temperaturas entre 20°C e 30°C (AGRIOS, 2005).

Doenças foliares sofrem interferência direta do clima, como o período de molhamento foliar, a temperatura e a umidade relativa do ar, somado a agressividade do patógeno e a genética do hospedeiro (BEDENDO et al., 2018). A intensidade das doenças é dependente da safra, época de plantio, suscetibilidade da cultivar e a região do cultivo (COSTA, 2020). Na área 2 (Fazenda Escola) a falta de precipitação atrasou o progresso das doenças na área que se apresentaram mais severas no final do ciclo da cultura, por tanto, não apresentando assim o gradiente de severidade esperado.

Nenhum dos tratamentos erradicou o desenvolvimento das doenças foliares em ambas as áreas, no entanto houve redução de severidade na área 1 (Guaravera), principalmente pelos tratamentos com aplicações preventivas.

3.5.2 Efeito das Doenças Foliares na Produtividade e Massa de Mil Grãos

A produtividade e a massa de mil grãos não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos na área 1 (Guaravera), os dados são apresentados juntamente com os danos em kg ha⁻¹ e danos em porcentagem na Tabela 5.

Tabela 5 – Produtividade, massa de mil grãos, dano em kg ha⁻¹ e danos em porcentagem na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21

Tratamentos	Produtividade kg ha ⁻¹	Massa de mil grãos g	Dano kg ha ⁻¹	Danos %
1	2718 ^{NS}	165,6 ^{NS}	329	10,8
2	2982	168,4	65	2,1

3	3047	167,0	0	0,0
4	2849	151,2	198	6,5
5	2788	170,0	259	8,5
6	2632	153,3	415	13,6
7	2727	170,8	320	10,5
8	2390	162,4	657	21,6
9	2522	150,5	525	17,2
10	2948	158,8	99	3,2
11	2809	171,4	238	7,8
CV (%)	8,73	9,4	-	-
p-valor	0,6878	0,3724	-	-

^{NS}: Teste de Scott-Knott não significativo ao nível de 5%.

Para a produtividade na área 2 não houve diferença estatística entre todos os tratamentos, enquanto para a massa de mil grãos houve diferença estatística. O tratamento que apresentou maior valor de massa de mil grãos foi o 4 com 199,3 g, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, o tratamento 3 apresentou o segundo maior valor com 184,2 g, diferindo dos demais.

Para os tratamentos 2, 5, 6, 8, 10 e 11 não diferiram entre si e diferiram dos demais, enquanto a testemunha o tratamento 1 e 9 não diferiram entre si e diferiram dos demais, apresentando os menores valores para massa de mil grãos (Tabela 6).

Tabela 6 – Produtividade, massa de mil grãos, dano em kg ha⁻¹ e danos em porcentagem na área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21

Tratamentos	Produtividade kg ha ⁻¹	Massa de mil grãos g	Dano kg ha ⁻¹	Danos %
1	1332 ^{NS}	159,3 d	305	18,6
2	1637	168,2 c	0	0,0
3	1604	184,2 b	33	2,0
4	1617	199,3 a	20	1,2
5	1599	168,5 c	38	2,3
6	1357	176,8 c	280	17,1
7	1333	167,3 c	304	18,6
8	1372	172,9 c	265	16,2
9	1486	149,9 d	151	9,2
10	1546	167,2 c	91	5,6
11	1585	172,5 c	52	3,2
CV (%)	7,76	5,6		
p-valor	0,3584	0,0001		

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de

significância.

^{NS}: Teste de Scott-Knott não significativo ao nível de 5%.

Apesar de não haver diferença estatística para produtividade em ambas as áreas, houve a redução de produtividade na área 2 apresentando valores de produtividade baixos, devido ao estresse hídrico na fase de enchimento de grãos, com chuvas mal distribuídas (Figura 5), prejudicando assim a produtividade da cultura.

Godoy et al. (2018) afirmam que com a incidência de ferrugem asiática na soja, os componentes de rendimentos comprometidos são as reservas das plantas para formação de grãos, devido à queda de folhas, associado as condições climáticas em que a cultura está entre estádios de formação dos grãos, interferindo na qualidade e no enchimento dos grãos.

Na área 2 (Fazenda Escola) os tratamentos que apresentaram menor valor no peso de mil grãos foram os que receberam a primeira aplicação mais tardia, com exceção do tratamento 2 que recebeu aplicação ainda no vegetativo, e os que receberam aplicação apenas de fungicida de sítio específico ou então só multissítio.

Estudos com o uso de fungicidas multissítio em associação a fungicidas de sítio específico, apresentaram desempenho positivo em relação ao peso de mil grãos, com valores superiores aos tratamentos que receberam apenas aplicações de fungicidas de sítio específico (FURLAN; LEITE; FRANCO, 2016; ALVES; SOUZA; JULIATTI, 2016; KOTZ, 2016).

Amthauer (2018), realizando trabalhos com o uso de fungicidas sistêmicos associados a fungicidas multissítio obteve menor severidade da ferrugem asiática, controle com maior eficiência e maior rendimento. Silva et al. (2015), em trabalho semelhante, na safra 2012/13 em Rio Verde-GO, com o uso de mancozeb obteve um incremento de 59% no rendimento da soja.

Assim como Alves (2016) observou menor severidade de *P. pachyrhizi* quando associado mancozeb a fungicidas. Antonello (2016) afirma que a associação de mancozeb com triazóis e estrobilurina proporciona melhor controle da doença, com ganhos significativos na produtividade, porém em casos de alta severidade, esses ganhos são menores.

De acordo com Pesqueiro et al. (2016), a presença de ferrugem asiática da soja no campo aliada a presença de outras doenças, em geral, pode

resultar em maiores perdas de produtividade e peso de mil grãos, as perdas na produtividade podem chegar a 44%, no caso em ambas as áreas a porcentagem de danos foi inferior ao mencionado na literatura.

Kawuki, Adipala e Tukamuhabwa (2003) descrevem que em estações chuvosas as perdas podem chegar a 100% no caso da ferrugem asiática, por outro lado, em estações mais secas as reduções são de 10 a 15% na produção.

3.5.3 Relação entre Severidade e Produtividade e Função de Dano

As relações entre a produtividade e a severidade em diferentes estádios fenológicos obtidas na análise de regressão linear foram significativas ($p \leq 0,01$) na área 1 (Guaravera), com exceção a relação aos 65 DAE no estágio R4 que não foi significativa (Tabela 7).

Quanto as relações entre a produtividade e a severidade em diferentes estádios fenológicos, obtidas da análise de regressão linear não foram significativas ($p \leq 0,01$) na área 2 (Fazenda Escola) (Tabela 7).

Tabela 7 – Regressão linear entre produtividade e somatório da severidade de ferrugem asiática, DFCs e mancha alvo em diferentes estádios fenológicos na área 1 (Guaravera) e área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21

	DAE	Estádio fenológico	Equação	R ²	p-valor
Área 1	65	R4	$y = -161,32x + 3021,8$	0,21	0,1605
	79	R5.2	$y = -156x + 2934,1$	0,50	0,0153
	89	R5.3	$y = -40,459x + 2915,7$	0,79	0,0002
	93	R5.4	$y = -11,847x + 2915,6$	0,72	0,0009
	100	R5.5	$y = -19,373x + 3643,2$	0,74	0,0006
	107	R6	$y = -8,3437x + 3351,9$	0,50	0,0145
	DAE	Estádio fenológico	Equação	R ²	p-valor
Área 2	77	R5.2	$y = -13,791x + 1577,9$	0,10	0,3534
	83	R5.3	$y = -1,0159x + 1499$	0,00	0,9885
	89	R5.4	$y = -28,08x + 1691,6$	0,13	0,2825
	96	R5.5	$y = -18,238x + 2374,3$	0,08	0,4136
	103	R6	$y = 5,8381x + 1085,8$	0,01	0,7514

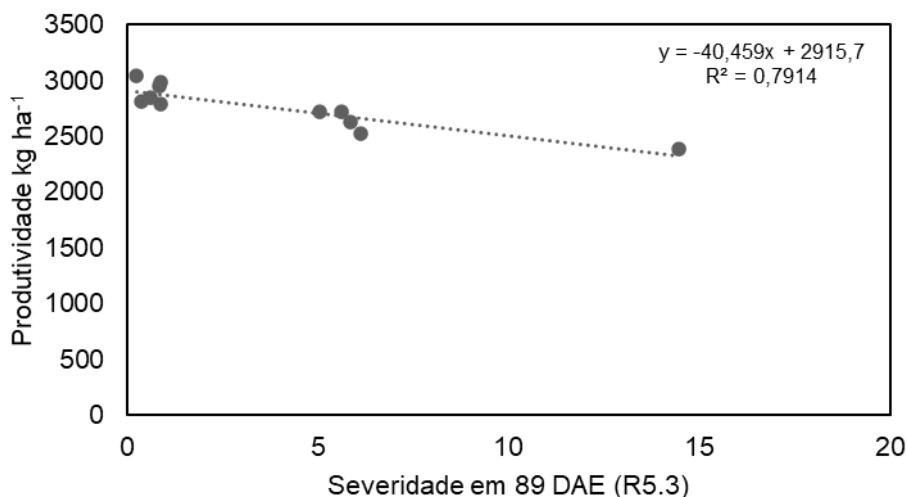
DAE: dias após a emergência

R²: coeficiente de determinação

Na área 1 (Guaravera) aos 89 DAE no estágio R5.3 a equação da função de dano, mostrou que a cada 1 unidade de severidade houve redução de 40,459 kg ha⁻¹ na produtividade, apresentando a relação mais significativa, com

coeficiente de determinação de 79% (Figura 6).

Figura 6 – Regressão linear entre produtividade e somatório da severidade de ferrugem asiática, DFCs e mancha alvo em 89 DAE (R5.3) na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21



Determinar a relação entre a severidade e a produtividade é um passo essencial para estimar o dano e o limiar de dano econômico (HIKISHIMA et al., 2010; DALLA LANA et al., 2015).

As doenças podem ser observadas em qualquer estágio do cultivo, a ocorrência precoce ou tardia, com severidade menor ou maior na plantação, isto gera equações distintas (HIKISHIMA et al., 2010).

Yang et al. (1991) obtiveram alta correlação entre produtividade na cultura da soja e AACPD de *Phakopsora pachyrhizi*, com coeficiente de determinação variando de 89% a 95% na safra de 1986. No entanto, no ano seguinte, não obtiveram boa correlação para o patossistema, com baixa severidade de ferrugem, o coeficiente variou de 13% a 71%.

Hikishima et al. (2010) obtiveram relação linear negativa entre a produtividade de soja semeada em diferentes épocas em função da AACPD, com coeficientes de 85,9% a 95,2%. A variação entre a relação, segundo os autores se deve em função da safra, do início da epidemia e do grau de severidade final, onde a época de semeadura têm influência.

3.5.4 Relação entre as Medidas de NDVI e Produtividade; e NDVI e Severidade

As relações entre a produtividade e NDVI; e medidas de NDVI e severidade em diferentes estádios fenológicos, obtidas das análises de regressão linear não foram significativas ($p \leq 0,01$) na área 1 (Guaravera), com exceção das relações aos 107 DAE no estágio R6, que foi significativo (Tabela 8).

Tabela 8 – Regressão linear entre produtividade e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); e NDVI e severidade na área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21

Produtividade e NDVI				
DAE	Estádio fenológico	Equação	R ²	p-valor
65	R4	$y = -14,444x + 14205$	0,16	0,2273
78	R5.2	$y = 6,8671x - 2717,1$	0,03	0,6082
89	R5.3	$y = 3,0228x + 707,12$	0,05	0,5129
94	R5.4	$y = 4,4537x + 19,003$	0,20	0,1596
107	R6	$y = 2,5861x + 1709,8$	0,69	0,0015

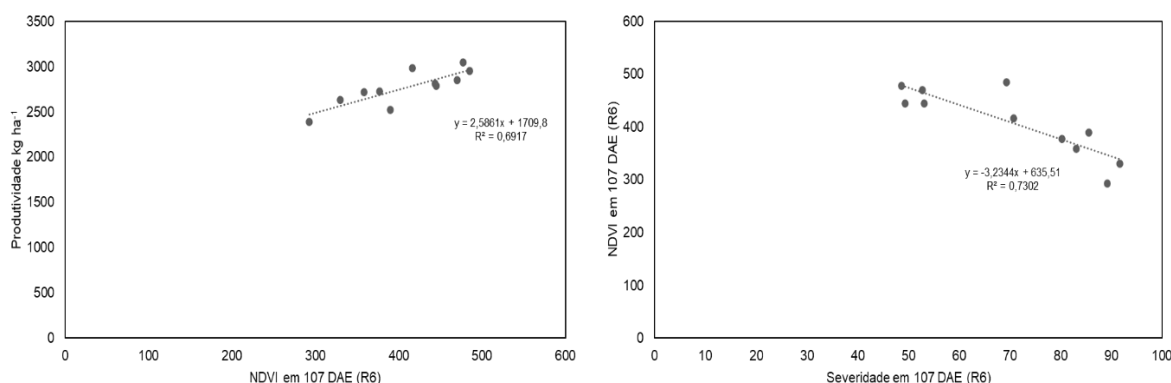
Área 1 NDVI e Severidade				
DAE	Estádio fenológico	Equação	R ²	p-valor
65	R4	$y = 2,4215x + 788,14$	0,06	0,4615
79	R5.2	$y = 0,376x + 797,86$	0,00	0,8448
89	R5.3	$y = -1,1059x + 684,83$	0,11	0,3185
93	R5.4	$y = -0,8098x + 626,81$	0,32	0,0683
107	R6	$y = -3,2344x + 635,51$	0,73	0,0008

DAE: dias após a emergência

R²: coeficiente de determinação

Aos 107 DAE no estágio R6 a equação da função de dano, mostrou que a cada 1 unidade de NDVI houve incremento de 2,5861 kg ha⁻¹ na produtividade, com coeficiente de determinação de 69%; e a relação entre medidas de NDVI e severidade que a cada 1 unidade de severidade houve redução de 3,2344 de medida de refletância (NDVI), com coeficiente de determinação de 73% (Figura 7).

Figura 7 – Regressão linear entre produtividade e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); e entre NDVI e severidade para área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21



As relações entre a produtividade e NDVI; e entre medidas de NDVI e severidade em diferentes estádios fenológicos obtidas da análise de regressão linear não foram significativas ($p \leq 0,01$) na área 2 (Fazenda Escola) (Tabela 9).

Tabela 9 – Regressão linear entre produtividade e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); e NDVI e severidade na área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21

Produtividade e NDVI				
DAE	Estádio fenológico	Equação	R ²	p-valor
83	R5.3	$y = 12,544x - 7690$	0,53	0,0105
88	R5.4	$y = 5,905x - 2648,9$	0,28	0,0913
103	R6	$y = 1,1223x + 1080,1$	0,05	0,5067
Área 2				
NDVI e severidade				
DAE	Estádio fenológico	Equação	R ²	p-valor
83	R5.3	$y = 1,2632x + 730$	0,01	0,7598
89	R5.4	$y = -1,5305x + 712,72$	0,05	0,5255
103	R6	$y = -5,8587x + 784,3$	0,29	0,0846

DAE: dias após a emergência
R²: coeficiente de determinação

Hikishima et al. (2010) obtiveram boa correlação entre medidas de NDVI nos estádios de enchimento de grãos com a produtividade, com valor de R² de 86,7% para o patossistema *Phakopsora pachyrhizi* - soja. Canteri et al. (1999), obtiveram resultados similares para o patossistema *Cercosporidium personatum* - amendoim, com R² de 84,5%, Reis et al. (2006), para o patossistema *Puccinia tritici* - trigo, com R² de 88,0 %, Nicolas (2004), para o patossistema *Septoria tritici* - trigo, com R² de 92,7 %. Enquanto Koga et al. (2007) obtiveram resultados de coeficiente de determinação no valor de 54,8%.

No estudo Hikishima et al. (2010) apesar de obterem boa relação

entre as medidas de NDVI e produtividade, as diferentes equações de dano indicaram que houve interferência de fatores como época de cultivo e cultivar nos dois anos. Nilsson (1995); Guan e Nutter (2001); West et al. (2003) citam estes e outros fatores que influenciam a capacidade de refletância do dossel.

A arquitetura das plantas do dossel interfere na avaliação de refletância, conseqüentemente no comportamento espectral (MALUF, 2001).

De acordo com Araújo (2018), o dossel da cultura da soja é formado por camadas de folhas prostradas, ou seja, as folhas superiores do dossel se sobrepõem as folhas inferiores, interferindo a capacidade do sensor de captar a refletância das folhas inferiores do dossel. Como a epidemia da ferrugem tem característica acrópeta, ou seja, inicia no terço inferior do dossel por condições microclimáticas, em condições que a epidemia se alastre na parte inferior ao invés de atingir a superior os resultados de leitura de refletância por espectro radiômetro obtidas sofrem interferência. As DFCs e mancha alvo não foram tão expressivas, a ferrugem asiática por ser a mais expressiva e se apresentar em maior severidade no terço superior apenas no final do ciclo da cultura, isso explica a relação não significativa entre o NDVI e produtividade, e NDVI e severidade nos estádios anteriores.

Para comparar os tratamentos, foi realizada a análise de variância para cada avaliação, com o intuito de verificar o efeito das doenças foliares sobre as medidas de refletância. O NDVI apresentou diferença estatística entre os tratamentos na avaliação aos 107 DAE quando a cultura estava no estádio R6 na área 1 (Guaravera) (Tabela 10).

Tabela 10 – Medidas de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de cada avaliação em dias após a emergência (DAE) da área 1 (Guaravera), Londrina - PR, safra 2020/21

Tratamentos	DAE					
	65	72	78	89	94	107
	NDVI					
1	796 ^{NS}	812 ^{NS}	799 ^{NS}	677 ^{NS}	605 ^{NS}	359 b
2	786	817	791	659	586	416 a
3	791	814	799	683	629	478 a
4	788	815	800	689	629	470 a
5	784	799	794	674	622	445 a
6	798	809	797	667	605	330 b

7	802	814	802	695	616	377 b
8	791	814	791	664	585	293 b
9	796	822	803	692	621	390 b
10	792	815	807	706	652	485 a
11	788	813	799	684	632	444 a
CV (%)	0,98	1,27	1,36	4,74	5,87	16,89
p-valor	0,058	0,346	0,659	0,636	0,309	0,004

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

^{NS}: Teste de Scott-Knott não significativo ao nível de 5%.

O mesmo foi realizado para a área 2 (Fazenda Escola) para comparar os tratamentos. O NDVI não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos em nenhuma das avaliações (Tabela 11).

Tabela 11 – Medidas de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de cada avaliação em dias após a emergência (DAE) da área 2 (Fazenda Escola), Londrina - PR, safra 2020/21

Tratamentos	DAE		
	83	88	103
	NDVI		
1	730 ^{NS}	711 ^{NS}	361 ^{NS}
2	744	720	383
3	727	694	356
4	741	708	402
5	735	709	365
6	723	684	372
7	723	688	321
8	730	702	411
9	728	691	391
10	741	707	356
11	736	710	371
CV (%)	3,31	4,54	16,67
p-valor	0,973	0,917	0,753

^{NS}: Teste de Scott-Knott não significativo ao nível de 5%.

Não foi possível verificar a aptidão do uso das medidas de refletância obtidas pelo radiômetro para estimação da interferência das doenças na refletância do dossel das plantas. Para Hikishima et al. 2010, apesar de haver usado outro tipo de radiômetro, também não foi possível confirmar o potencial do uso de medidas de refletância na estimativa de danos pela ferrugem asiática da soja nas condições do estudo. No entanto, as medidas de NDVI têm potencial para separar

tratamentos com diferentes níveis de severidade de múltiplas doenças ao fim do ciclo da cultura da soja conforme apresentado na Figura 7.

3.5.5 Aplicação do Limiar de Dano Econômico (LDE) para a Área 1 (Guaravera)

Na Tabela 7, as equações de função de dano aos 79, 89, 93, 100 e 107 DAE, mostram que para cada unidade de severidade são reduzidos 156,00 kg ha⁻¹, 40,46 kg ha⁻¹, 11,85 kg ha⁻¹, 19,37 kg ha⁻¹, e 8,34 kg ha⁻¹ de produtividade, sendo estes os coeficientes de dano considerados para os cálculos de LDE.

Desta forma, o LDE obtido de cada equação baseado na severidade são de 0,42 aos 79 DAE, 1,63 aos 89 DAE, 5,57 aos 93 DAE, 3,41 aos 100 DAE, e 7,91 aos 107 DAE, sendo assim, o momento para realizar a aplicação de fungicida contra as doenças foliares antes de causar danos na produtividade maior do que o custo da aplicação é quando a área apresentar diferença das respectivas unidades de LDE mencionadas em relação a parcela controle.

De acordo com a Tabela 12, os tratamentos do 1 ao 9 são comparados por meio da subtração das unidades de severidade nos diferentes dias em que a relação entre severidade e produtividade foram significativas, e definidas por meio do cálculo de LDE do valor da parcela controle.

Tabela 12 – Diferença entre os valores de severidade em diferentes dias após a emergência (DAE) e aplicação do valor do limiar de dano econômico (LDE) obtido, entre a “parcela controle” e os demais tratamentos área 1 (Guaravera)

Tratamentos	Diferença de unidades de severidade entre tratamentos				
	79 DAE	89 DAE	93 DAE	100 DAE	107 DAE
1	0,94	5,37	19,07	16,19	34,41
2	0,21	0,61	0,16	0,00	22,10
3*	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00
4	0,88	0,34	0,44	1,53	4,15
5	0,33	0,62	0,14	0,80	0,76
6	1,34	5,59	34,11	18,96	43,01
7	2,72	4,79	19,11	14,70	31,67
8	1,73	14,22	35,85	21,43	40,55
9	1,68	5,88	18,93	18,42	36,93

(*) Tratamento considerado como “parcela controle”, sendo com o menor valor dentre os tratamentos.

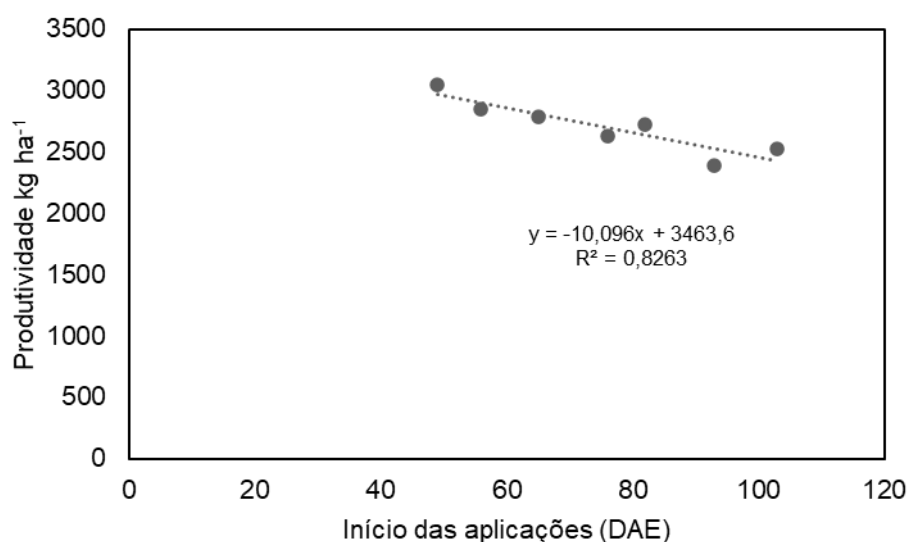
Para aplicar o limiar de dano econômico considerou-se o LDE de

1,63 unidades de severidade obtido da equação ($y = -40,459x + 2915,7$) aos 89 DAE, onde a relação entre a severidade e a produtividade foi mais significativa ($p \leq 0,01$) e maior coeficiente de determinação (Tabela 7). Desta maneira, o tratamento 5 apresentou a diferença mais próxima do valor calculado de limiar de dano econômico. O tratamento 5 iniciou as aplicações aos 65 DAE. O limiar de ação foi estimado em 10 dias, portanto, o momento para iniciar o controle seria aos 55 DAE e o tratamento que melhor representa o limiar de ação é o tratamento 4.

Um dos fatores mais críticos no controle de doenças é a assertividade da primeira aplicação, atrasos significativos de aplicação com estabelecimento da doença e intensidade elevada, as perdas na produtividade são significativas (MILES et al., 2004; LEVY, 2005).

Na Figura 8 é possível observar por meio da regressão linear entre a produtividade e os dias em que iniciaram as aplicações para cada tratamento, do tratamento 3 ao 9, o quanto é reduzido na produtividade a cada dia que é atrasada a primeira aplicação. A produtividade do tratamento 2 que iniciou as aplicações aos 33 DAE (2.982 kg ha^{-1}) não foi adicionada ao gráfico para a regressão pois sua produtividade foi semelhante ao tratamento que iniciou as aplicações aos 49 DAE, não acrescentando a produtividade.

Figura 8 – Regressão entre produtividade e início das aplicações para cada tratamento (3 ao 9) da área 1 (Guaravera), Londrina – PR, safra 2020/21



De acordo com a equação ($y = -10,096 + 3463,6$) observada na

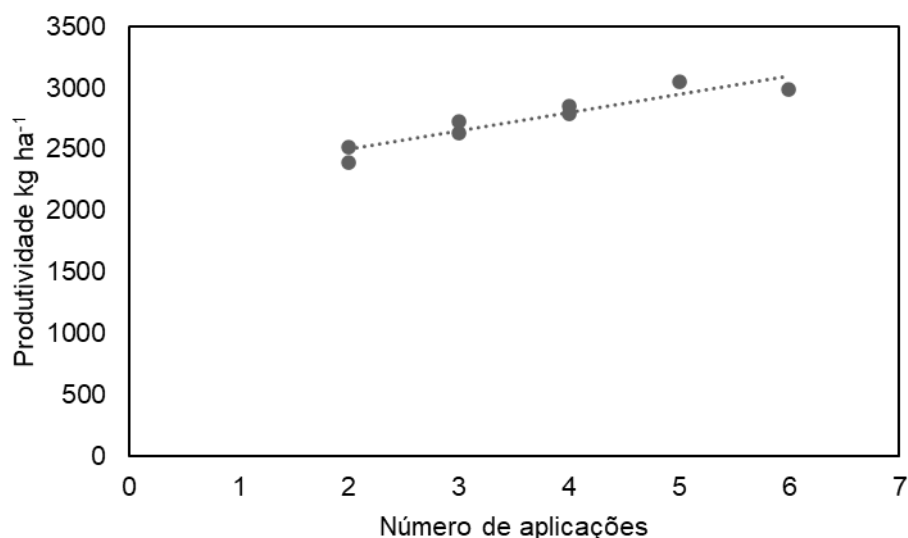
Figura 8 indica que a cada dia que é atrasada a primeira aplicação após o dia 49, há redução de 10,096 kg ha⁻¹ na produtividade, com coeficiente de determinação de 82,63%, e p-valor = 0,004, apresentando relação significativa.

Considerando-se o valor de R\$172,60 para a saca de soja obtêm-se uma redução de R\$ 29,05 por ha por dia, equivalente aos 10,096 kg. Ou seja, 6 dias após o dia 49 (55 DAE) será o momento em que o custo de aplicação (R\$190,00) equivale à redução de produtividade observada no trabalho. Sendo assim, o dia para início das aplicações foi estimado em 55 DAE.

De acordo com Yorinori (2005) a aplicação preventiva de modo geral torna mais eficiente o controle, porém, pode exigir maior número de aplicações ou ser dispensável, dependendo do clima, aumentando o custo para produzir.

Na Figura 9 é possível observar por meio da regressão linear entre produtividade e os tratamentos 2 ao 9 até quantas aplicações há incremento na produtividade em kg ha⁻¹.

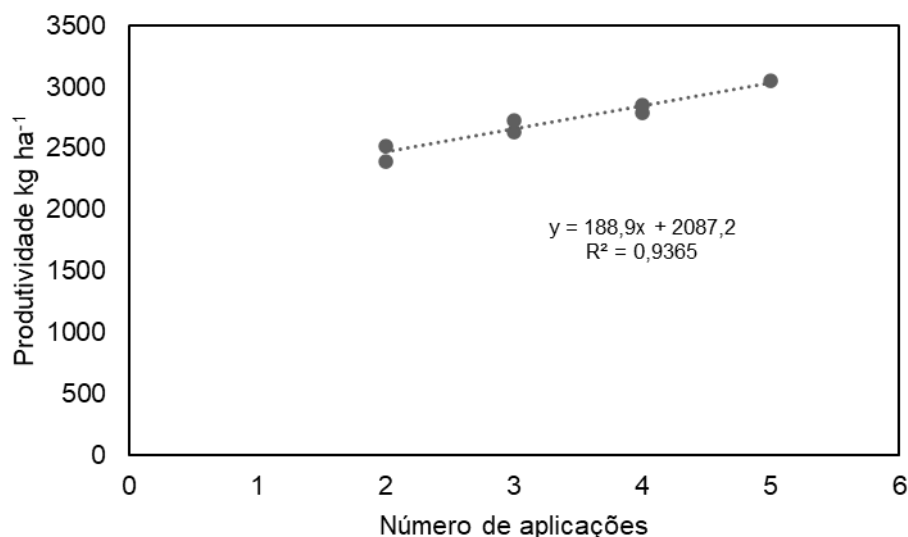
Figura 9 – Regressão linear entre produtividade e tratamentos (2 ao 9) da área 1 (Guaravera), Londrina – PR, safra 2020/21



Verificou-se que houve incremento na produtividade com até 5 aplicações, a partir de 6 aplicações não há incremento na produtividade.

Na Figura 10 é possível observar por meio da regressão linear entre produtividade e os tratamentos 3 ao 9 com até 5 aplicações o quanto 1 aplicação incrementa em kg ha⁻¹ na produtividade.

Figura 10 – Regressão linear entre produtividade e tratamentos (3 ao 9) com até 5 aplicações da área 1 (Guaravera), Londrina – PR, safra 2020/21



De acordo com a equação ($y = 188,9x + 2087,2$) observada na Figura 10 indica que a cada aplicação realizada há incremento de 188,9 kg ha⁻¹ na produtividade, com coeficiente de determinação de 93,65%, e p-valor = 0,0003, apresentando relação significativa.

Sacon et al. (2018) obtiveram melhor resposta de produtividade da cultivar TMG 7262, com tratamentos que receberam 4 e 5 aplicações de tebuconazol+picoxistrobina contra ferrugem asiática, com incremento de 40 e 57% na produtividade em relação a testemunha.

Uma das alternativas de manejo para reduzir perdas de produção é combinar medidas preventivas, como monitoramento periódico do campo, aplicação preventiva, semeadura antecipada e uso do vazio sanitário (HENNING et al., 2014).

Nanuci (2020) obteve os melhores resultados com produtos de contato e sistêmicos combinados, tanto simultâneos como alternados, mas principalmente, nas primeiras aplicações, destacando a importância do controle na fase inicial das doenças.

Segundo Martins (2007) aplicações de fungicidas baseadas no critério de LDE podem ser realizadas. Utilizando o modelo de ponto crítico para estimar danos, por meio do coeficiente de dano obtido, o autor pôde calcular o limiar de dano econômico para doenças foliares da soja de acordo com Munford e Norton

(1984), no município de Não Me Toque - RS, na safra 2003/04 para oídio o limiar calculado foi de 25% de severidade, na safra 2004/05 para *Cercospora kikuchii* obteve limiar de 4% de severidade, e na safra 2005/06 para ferrugem asiática obteve LDE de 7% de severidade.

Martins (2007) afirma, o limiar de dano econômico não deve ser utilizado como única ferramenta para o início do controle de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja, sendo assim, deve estar associado a sistemas de previsão e aviso, com base em modelos climáticos, e outras ferramentas, com o intuito de prever períodos críticos para ocorrência de infecção e desenvolvimento da doença.

O valor de LDE não é um valor fixo. Deve ser calculado para cada ano e situação, em virtude de variações no preço do grão, do custo da aplicação, do fungicida e da sua eficiência, (REIS; CASA E BEVILAQUA, 2008), região, safra, cultivar, doenças presentes na área, entre outros fatores (MARTINS, 2007).

4 CONCLUSÃO

Por meio da função de dano dos dados de severidade relacionados a produtividade foi possível obter o limiar de dano econômico e o limiar de ação para a área 1 (Guaravera). Não foi possível utilizar as medidas de NDVI para o cálculo do LDE.

O tratamento 5 é o que melhor simulou o limiar de dano econômico (LDE) e o tratamento 4 o limiar de ação (LA) indicando que o momento para o início do manejo químico das doenças foliares da soja é aos 55 dias após a emergência.

A relação entre o número de aplicações e o dia de início das aplicações, permitiu indicar que a cada dia que é atrasada a primeira aplicação ocorre uma redução de $10,1 \text{ kg ha}^{-1}$ na produtividade, indicando que o momento ideal de iniciar as aplicações é aos 55 DAE.

Vale ressaltar que o valor de Limiar de Dano Econômico deve ser calculado para cada safra e situação, não sendo um valor fixo.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N. Plant pathology. 4. ed., New York: **Academic Press**, p.635, 1997.

AGRIOS, G. N. Plant Pathology, 5. ed., Amsterdam: **Academic Press**, 2005.

AGROFIT. MAPA. 2020. Agrofit - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 13 jun. 2021.

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A. Doenças da Soja. *In*: KIMATI et al. Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. 4. ed. São Paulo: **Agronômica Ceres**, v.2, p.569-588, 2005.

ALVES, S. A. M.; FURTADO, G. Q.; CARNEIRO, L. C.; GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A. Influência da temperatura e da duração do período de molhamento foliar no desenvolvimento da ferrugem da soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.127, 2005.

ALVES, V. M. Fungicidas protetores no manejo da ferrugem da soja, processos fisiológicos e produtividade da cultura. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, p.98, 2016.

ALVES, V. M.; SOUZA, F. S. de; JULIATTI, F. C. Fungicidas protetores no manejo da ferrugem da soja e componentes de produtividade da cultura. *In*: JUNIOR, A. A. B. et al. Resumos Expandidos da XXXV Reunião de Pesquisa da Soja. Londrina: Embrapa, p.201-203, 2016.

AMORIM, L. Avaliação de doenças. *In*: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. São Paulo: **Agronômica Ceres**, v.1, cap.32, p.647-671, 1995.

AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Manual de fitopatologia: Princípios e Conceitos. 5.ed. Sao Paulo: **Agronômica Ceres**, p.499-504, 2018.

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

AMTHAUER, J. A. de S. Boletim de pesquisa. Mineiros: Produzir Consultoria

Agrícola, p.25, 2018.

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. A. Ferrugem Asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2002. (Circular Técnica, 11).

ANTONELLO, L. M. Metanálise do efeito do mancozebe em misturas de fungicidas para o controle de ferrugem asiática da soja. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, p.39, 2016.

ANTUNES, M. A. H.; ASSAD, E. D.; BATISTA, G. Variação das medidas com espectrorradiômetro ao longo do crescimento da soja (*Glycine max*, L.). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., 1993, Curitiba. Anais...São José dos Campos: INPE, v.3, p.1-9, 1993.

ARAUJO, F. A. Refletância e área foliar sadia para tomada de decisão da primeira aplicação para o manejo químico da ferrugem asiática da soja. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2018.

AQUINO, V. M.; SHOKES, F. M.; BERGER, R. D.; GORBET, D. W.; KUCHAREK, T. A. Relationships among late leafspot, healthy leaf area duration, canopy reflectance, and pod yield of peanut. **Phytopathology**, v.82, n.5, p.546-552, 1992.

AZEVEDO, L. A. S. Manual de quantificação de doenças. São Paulo: **O Editor**, p.114, 1997.

AZEVEDO, L. A. S.; JULIATTI, F. C.; BALARDIN, R. S.; SILVA, O. C. *Programa Syntinela*: monitoramento da dispersão de *Phakopsora pachyrhizi* e alerta contra a ferrugem asiática da soja. Campinas: **Emopi Gráfica e Editora**, p.24, 2004.

BALARDIN, R. S.; MADALOSSO, M. G.; STEFANELLO, M. T.; MARQUES, L. N.; DEBORTOLI, M. P. Mancozeb: muito além de um fungicida. Porto Alegre: **Editora Bookman**, p.96, 2017.

BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÈRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.869-880, 2007.

BARNES, C. W.; SZABO, L. J.; BOWERSOX, V. C. Identifying and quantifying

Phakopsora pachyrhizi spores in rain. St. Paul: **Phytopathology**, v.99, p.328-338p, 2009.

BEDENDO, I. P.; AMORIM, L.; MATTOS JUNIOR, D. Ambiente e doença. *In*: AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; REZENDE, J. A. M. (eds) Manual de fitopatologia vol 1: Princípios e conceitos. 5ª ed. **Agrônômica Ceres**. Piracicaba. p.93-97, 2018.

BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. *In*: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (Eds.) Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos. 3. ed. São Paulo: **Agrônômica Ceres**, p.602-626, 1995.

BERGAMIN FILHO, A. Comparative Epidemiology: Soybean Rust and Othrt Diseases... Tsukuba, Japan, 2008.

BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C. V.; AMORIM, L.; BERGER, R. D.; HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus* beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v.87 p.506-515, 1997.

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.) Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos. 3.ed. São Paulo: **Agrônômica Ceres**, v.1, p.919, 1995.

BERGAMIN FILHO, A.; KRANZ, J. Epidemiologie der Pflanzenkrankheiten. Eine Einführung. Stuttgart. Ulmer. **Naturwissenschaften**, v. 72, n. 8, p. 419-426, 1996.

BERGER, R. D. Measuring disease intensity. *In*: TENG, P. S.; KRUPA, S. D. (Eds.). Crop loss assessment. St. Paul: University of Minnesota, p.28-31, 1980.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. *In*: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). Soja: tecnologia de produção II. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.

BLACKBURN, G. A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scale: an evaluation of some hyperspectral approaches. **Remote Sensing of Environment**, p.273-285p, 1998.

BOECHAT, L. T.; PINTO, F. A. C.; PAULA JR., T. J.; QUEIROZ, D. M.; TEIXEIRA, H. Detecção do mofo-branco no feijoeiro, utilizando características espectrais. **Revista**

Ceres, p.907-915, 2014.

BOLLER, W. Aspectos econômicos da aplicação de fungicidas em órgãos aéreos. *In*: Reis, E. M. Org. Critérios indicadores do momento para a primeira e intervalo de aplicações de fungicidas nas culturas de soja e trigo. Passo Fundo – RS, Aldeia Norte Editora, 2010.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. *In*: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). A soja no Brasil. Campinas: **ITAL**, p.1-6, 1981.

BOX GEP; COX DR. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Society*, v.26, p.211-252, 1964.

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

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. Introduction to Plant Disease Epidemiology. New York: **John Wiley & Sons**, 1990.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. The description and measurement of plant canopy structure. *In*: RUSSEL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. **Plant Canopies: Their Growth, Form, and Function**. Cambridge, Cambridge University Press, p.1-19, 1989.

CANTERI, M. G. Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, SP, p.81, 1998.

CANTERI, M. G.; DALLA PRIA, M.; SCHIEBELBEIN, L. M.; SILVA, O. C.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Relações entre área foliar sadia, produtividade, refletância e severidade da mancha angular em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p.498-501, 1998.

CANTERI, M. G.; VITTI, A. J.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade do amendoim. **Summa Phytopathologica**, v.25, n.3. p.228-233, 1999.

CARREGAL, L. H.; WEGENER, H.; SILVA, J. R. C. Doenças de Final de Ciclo: mancha parda e crestamento foliar de cercóspora ou macha púrpura da semente. Doenças da soja: Melhoramento genético e técnicas de manejo. Campinas, SP,

p.119, 2015.

CASA, R. T.; REIS, E. M.; BEZERRA, R.; HEROK, P.; SILVA, A. Efeito de manchas foliares no rendimento de grãos de trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, p.445, 2001.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série histórica das safras: soja. 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, 2021. *In*: Colheita de soja tem início e produção deve atingir 133,7 milhões de toneladas. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3788-colheita-de-soja-tem-inicio-e-producao-deve-atingir-133-7-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 15 mar. 2021.

COSTA, E. C. Epidemiologia comparativa de mancha alvo da soja no cerrado brasileiro. (Dissertação - Mestrado em Agronomia). Universidade de Brasília, Brasília, p.68, 2020.

DALLA LANA, F.; ZIEGELMANN, P. K.; MAIA, A. H. N.; GODOY, C. V.; DEL PONTE, E. M. Meta-Analysis of the Relationship Between Crop Yield and Soybean Rust Severity. *Phytopathology*, Ithaca, v.105, n.3, p.07-315, 2015.

DEBORTOLI, M. P.; TORMEN, N. R.; BALARDIN, R. S.; FAVERA, D. D.; STEFANELLO, M. T.; PINTO, F. F.; UEBEL, J. D. Spray droplet spectrum and control of Asian soybean rust in cultivars with different plant architecture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.920-927, 2012.

DELP, C.J. Fungicide resistance in North America. S. Paul: APS Press, p.133, 1988.

DHAU, I.; ADAM, E.; MUTANGA, O.; AYISI, K.; ABDEL-RAHMAN, E. M.; ODINDI, J.; MASOCHA, M. Testing the capability of spectral resolution of the new multispectral sensors on detecting the severity of grey leaf spot disease in maize crop. **Geocarto International**, p.1-14, 2017.

DUTRA, E. P. Uso de VANTs na Agricultura. Obtenção e tratamento de dados. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

ELLIS, M. Some species of *Corynespora*. **Commonwealth Mycological Institute**, v.65, p.15, 1957.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000. Londrina: **Embrapa Soja**, 1999 (Embrapa Soja. Documentos, 131).

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região central do Brasil. 2003/2004. Londrina: CNPSo, p.226, 2003 (Embrapa Soja. Documentos, 235).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2005. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013. Sistema de produção, 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, p.353, 2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2013/2014: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: **Embrapa Soja**, p.7, 2014.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: **Embrapa Soja**, p.6, 2016.

ESCHER, F.; WILKINSON, J. A economia política do complexo Soja-Carne Brasil-China. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.57, n.4, 2019.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3. ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, p.128, 2011.

FONSECA, E. M. S.; ARAÚJO, R. C. Fitossanidade, princípios básicos e métodos de controle de doenças e pragas. São Paulo, SP: **Editora Érica - Saraiva**, 2015.

FRAC. Fungicide Resistance Action Committee. FRAC recommendations for fungicide mixtures designed to delay resistance evolution. p.7, 2010.

FRAC. Fungicide Resistance Action Committee. 2019. Lista de risco de patógenos. Disponível em: <<https://www.frac.info/docs/default-source/publications/pathogen-risk/frac-pathogen-list-2019.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. Goiânia-GO: **Enciclopédia Biosfera– Centro Científico Conhecer**, v.7, n.12, p.1-12, 2011.

FURLAN, S. H.; LEITE, J. A. B. P.; FRANCO, D. A. S. 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, p.131-133, 2016.

FURTADO, G. Q.; MORAES, S. R. G.; ALVES, S. A. M.; AMORIM, L.; JÚNIOR, N. S. M. The Infection of Soybean Leaves by *Phakopsora pachyrhizi* during Conditions of Discontinuous Wetness. *Journal of Phytopathology*, v.159, p.165-170, 2011.

GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance if near-infrared. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.51, n.11, p.1725-1734, 1985.

GHINI, R.; KIMATI, H. Resistência de fungos a fungicidas. 2.ed. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, p.78, 2002.

GIGLIOTI, E. A.; CANTERI, M. G. Desenvolvimento de software e diagrama em escala para seleção e treinamento de avaliadores de broca-podridões complexas em cana-de-açúcar. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p.359-363, 1998.

GIORDANI, R. F. Controle de doenças de final de ciclo e oídio na cultura da soja. 2002. 102p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, p.76-87, 2002.

GODOY, C. V.; ALMEIDA, A. M. R.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C.; DIAS, W. P.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; HENNING, A. A.; YORINORI, J. T.;

FERREIRA, L. P.; SILVA, J. F. V. Doenças da soja. *In*: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 5. ed. Ouro Fino: **Agronômica Ceres**, v.2, p.657-676, 2016a.

GODOY, C. V.; CANTERI, M. G. Efeito da severidade de oídio e crestamento foliar de cercospora na produtividade da cultura da soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.526-531, 2004.

GODOY, C. V.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; IAMAUTI, M. T.; DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGER, R. D.; BERGAMIN FILHO, A. Escalas diagramáticas para a doença do feijão: desenvolvimento e validação. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, v.104, p.336-345, 1997.

GODOY, C. V.; FLAUSINO, A. M.; SANTOS, L. C. M.; DEL PONTE, E. M. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, v.34, p.056-061, 2009.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja. Brasília: **Fitopatologia brasileira**, v.31, n.1, 2006.

GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M. Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Londrina: **Embrapa Soja**, 2020.

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

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P da; SATO, L. N.; MADALOSSO, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas multissítios e fertilizantes sem controle da ferrugem - asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Embrapa Soja: Londrina, p.7, 2015. (Embrapa Soja. Circular técnica, 113).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; DIAS, A. R.; DEUNER, C. C.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.;

MOREIRA, E. N.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; FEKSA, H. R.; ARAÚJO JUNIOR, I. P.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L. M. de R.; CARNEIRO, L. C.; CARREGAL, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; VOLF, M. R.; GOUSSAIN, M.; DIAS, M. D.; DEBORTOLI, M. P.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2017/2018. EMBRAPA, CIRCULAR TÉCNICA. v.1 p.8, 2018, Londrina-PR.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; DIAS, A. R.; PIMENTA, C. B.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; MORESCO, E.; SIQUERI, F. V.; JULIATI, F. C.; JULIATI, F. C.; FAVERO, F.; ARAUJO JUNIOR, I. P.; CHAVES, I. C. P. V.; ROY, J. M. T.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; NAVARINI, L.; BELUFI, L. M. de R.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; SENGER, M.; GOUSSAIN JUNIOR, M. M.; DEBORTOLI, M. P.; MARTINS, M. C.; TORMEN, N. R.; BALARDIN, R. S.; MADALOSSO, T.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2018/19: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: **Embrapa**, p.10, 2019.

GOELLNER, K.; LOEHRER, M.; LANGENBACH, C.; CONRATH, U.; KOCH, E.; SCHAFFRATH, U. Pathogen profile *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. **Molecular Plant Pathology**, v.11, n. 2, p.169-177, 2010.

GOTTEMS, L. Resistência da ferrugem provoca retorno de fungicidas protetores. AgroLink, 2015. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/resistencia-da-ferrugem-provoca-retorno-de-fungicidas-protetores_217502.html. Acesso em: 15 jun. 2020.

GUAN, J.; NUTTER JUNIOR, F. W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. *Plant Disease*, v.85, p.865-874, 2001.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the contexto of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v.90, 2004.

HARTMAN, G.; SINCLAIR, J.; RUPE, J. **Compendium of soybean diseases**. Saint Paul: **APS**, p.128, 1999.

HARTMAN, G. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D. Breeding for resistance to soybean rust. St Paul: **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005.

HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. Rust. *In*: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (Ed.). Compendium of soybean diseases and pests. 5. ed. Saint Paul: **APS Press**, p.56-59, 2015.

HARTMAN, G. L.; WANG, T. C.; TCHANZ, A. T. Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant disease**, v.75, p.596-600, 1991.

HEANEY, S.; SLAWSON, D.; HOLLOMON, D. W.; SMITH, M.; RUSSELL, P. E.; PARRY, D. W. Fungicide resistance. Farnham: BCPC & BSPP, p.418, 1994.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. Manual de identificação de doenças de soja. 5.ed. Londrina: **Embrapa Soja**, 2014.

HENNINGS, V. P. A few new Japanese Uredinaceae. **Hedwigia**, v.42, p.107-108, 1903.

HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; SILVA, A. J. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, v.35, n.2, p.96-103, 2010.

HIRAKURI, M. H.; LORINI, I.; FRANÇA NETO, J. DE B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A.; MANDARINO, J. M. G.; DE OLIVEIRA, M. A.; BENASSI, V. DE T. Análise de aspectos econômicos sobre a qualidade de grãos de soja no Brasil. 145. ed. Londrina: **Embrapa**, p.22, 2018.

HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. Pathometry: the measurement of plant disease. *In*: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Ed.) Plant disease na advanced treatise how disease develops in populations. New York: **Academic Press**, v.2, cap.6, p.119-136, 1978.

INDEX FUNGORUM. Banco de dados para consulta de táxons fúngicos. Disponível em: <http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>. Acesso em: 15 jul. 2021.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ - IAPAR-EMATER. Agrometeorologia e Clima. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Agrometeorologia-e-Clima#>. Acesso em: 27

jul. 2021.

JAMES, W. C.; TENG, P. S. The quantification of production constraints associated with plant diseases. **Applied Biology**, v.4, p.201- 267, 1979.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2. ed. por (pesquisadores do INPE): EIPHANIO, J. C. N. (coordenador); FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. São José dos Campos: **Parêntese**, p.672, 2009.

JONG, S. M.; MEER, F. D. Remote Sensing Image Analysis: including the spatial domain, v.5, p.359. 2006.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, A. C. Manejo Integrado de Doenças na Cultura da soja. Uberlândia: **UFU**, p.327, 2004.

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

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E.; RESENDE, J. A. M. Manual de Fitopatologia, v.2. Doenças de Plantas Cultivadas, 3. ed. São Paulo, SP: **Editora Agrônômica Ceres**, p.774, 1997.

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

KOGA, L. J.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.28, p.571-579, 2007.

KOTZ, J. E. S. Efeito da aplicação de fungicida protetor multissítio em diferentes épocas na cultura da soja. 2016. 56 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2016.

KUDO, A. S. Aerobiologia de conídios e manejo das cercosporioses da soja (*Glycine max*). 2009. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Fitopatologia, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2009.

LANGENBACH, C.; CAMPE, R.; BEYER, S. F.; MUELLER, A. N.; CONRATH, U. Fighting Asian soybean rust. Lausanne Switzerland: **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.797, 2016.

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

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Remote sensing and image interpretation. New York: **John Wiley & Sons**, p.897, 2007.

LOPES, D. B.; BERGER, R. D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, v.20, p.143-151, 1994.

MAHLEIN, A. K.; RUMPF, T.; WELKE, P.; DEHN, H. W.; PLÜMER, L.; STEINER, U.; OERKE, E. C. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. **Remote Sensing of Environment**, v.128, p.21-30, 2013.

MALUF, R. S. Introdução ao Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, p.68, 2001.

MARTINS, F. G. Desenvolvimento de modelos de ponto crítico para quantificação de danos causados pelo complexo de doenças foliares em soja. (Dissertação – Mestrado em Agronomia). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, 2007.

MARTINS, J. A. S.; JULIATTI, F. C.; SANTOS, V. A.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C. Período latente e uso da análise de componentes principais para caracterizar a resistência parcial à ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica**, v.33, n.4, p.364-371, 2007.

MARTINS, M. C. Produtividade da soja sob influência de ocorrência natural de *Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsuo & Tomoyasu) Gardner, com e sem controle químico. 2003. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Piracicaba, 2003.

MARTINS, M. C.; GUERZONI, R. A.; CÂMARA, G. M. S.; MATTIAZZI, P.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.179-184, 2004.

MARQUES, G.; TERNISKI, W. J. Avaliação da eficiência de fungicidas sistêmicos associados a multissítios após simulação de chuva no controle de mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*) na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). 2019. 16f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia). UNICESUMAR - Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2019.

MATOS, E. P. Associação de fungicida sistêmicos no controle de mancha alvo na cultura da soja. Paraíba: **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2016.

MENDONÇA, R. C.; DA SILVA, L. H. C. P.; FILHO, L. C. L. Avaliação de fungicidas no controle de mancha alvo e no rendimento da cultura da soja para a região de Rio Verde. **Cientific@ Multidisciplinary Journal**, v.8, n.1, p.1-7, 2021.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, 2012.

MICHEL, C. A.; TOLEDO, H.; PEREIRA, M. J. Z.; PEREIRA, N. M. Z.; Reação de genótipos de soja a doenças foliares de final de ciclo. *In*: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 28., 2000, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM, p.116, 2000.

MILES, M. R.; LEVY, C.; HARTMAN, G. L. (2004) Summary of the USDA fungicide efficacy trials to control soybean rust in Zimbabwe 2003- 2004. Integrated Pest Management Reviews. Disponível em: <www.ipmcenters.org/NewsAlerts/soybeanrust/Zimbabwe2004EfficacyTrials.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2021.

MOLINA, J. P. E.; PAUL, P. A.; AMORIM, L.; DA SILVA, L. H. C. P.; SIQUERI, F. V.; BORGES, E. P.; CAMPOS, H. D.; VENANCIO, W. S.; MEYER, M. C.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; CARLIN, V. J.; GRIGOLLI, J. F. J.; BELUFI, L. M. DE R.; NUNES JUNIOR, J.; GODOY, C. V. Effect of target spot on soybean yield and factors affecting this relationship. **Plant Pathology**, v.68, p.107-115, 2018.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4. ed. Viçosa, MG: **UFV**, p.422, 2011.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.223-231, 2004.

MOREIRA, R. C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. 2000. 114 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

MUELLER, T. A.; MILES, M. R.; MOREL, W.; MAROIS, J. J.; WRIGHT, D. L.; KEMERAIT, R. C.; LEVY, C.; HARTMAN, G. L. Effect of fungicide and timing of application on soybean rust severity and yield. **Plant Disease**, v.93, p.243-248, 2009.

MUMFORD, J. D.; NORTON, G. A. Economics of Decision Making in Pest Management. **Annual Review of Entomology**, v.29, p.157-74, 1984.

NANUCI, R. L. Aplicação de fungicidas multissítios em mistura e de forma isolada no manejo da resistência de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. 2020. 37f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas) Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2020.

NASCIMENTO, J. M.; GAVASSONI, W. L.; BACCHI, L. M. A.; OLIVEIRA, J. L.; LABORDE, M. C.; PONTIM, B. C. A.; MENDES, M. P. Manejo da ferrugem asiática da soja com aplicações de fungicidas iniciadas na detecção do patógeno ou posteriores. **Agrarian**, v.11, n.39, p.42-49, 2018.

NAVARRO, J. C.; NAKASATO, R.; UTIAMADA, C. M.; YORINORI, J. T. First report of Asian soybean rust in Bolivia. Proceedings VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja (Brazilian Soybean Congress), Foz do Iguaçu, PR. P.85- 86, 2004.

NICOLAS, H. Using remote sensing to determine the date of a fungicide application on winter wheat. **Crop Protection**, v.23, p.853- 863, 2004.

NILSSON, H. E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. Canadian. Ottawa: **Journal of Plant Pathology**, v.17, p.154-166, 1995.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo, **Edgard Blucher**, p.308, 1992.

NUNES, C. D. M.; MARTINS, J. F. S.; DEL AGUILA, S. H.; FRIEDRICH, F. F.;

RAMOS, R.S. Eficiência do número de aplicações de fungicida no controle da ferrugem asiática da soja, safra 2011/12. *In: XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 2012: Seminário Técnico. Passo Fundo. Anais...* Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 181-184, 2012.

NUNES, C. D. M.; MARTINS, J. F. S.; PONTE, E. M. Validação de Modelo de Previsão de Ocorrência da Ferrugem Asiática da Soja com Base em Precipitação Pluviométrica. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, p.13, 2018.

NUTTER JUNIOR, F. W. Detection and measurement of plant disease gradients in peanut with a multispectral radiometer. **Phytopathology**, St. Paul, v.79, n.9, p.958-963, 1989.

NUTTER JUNIOR, F. W.; GLEASON, M. L.; JENCO, J. H.; CHRISTIANS, N. C. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and interrater reliability of disease assessment systems. **Phytopathology**, v.83, 1993.

NUTTER JUNIOR, F. W.; LITTREL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection, Guilford**, v.15, n.2, p.135-142, 1996.

OLIVEIRA, L. G. L.; PONZONI, F. J.; MORAES, E. C. Conversão de dados radiométricos orbitais por diferentes metodologias de caracterização atmosférica. São Paulo: **Revista Brasileira de Geofísica**, v.27, n.1, 2009.

OLIVEIRA, R. R.; AGUIAR, B. D. M.; TESSMANN, D. J.; PUJADERENAUD, V.; VIDA, J. B. Chlamydospore formation by *Corynespora cassiicola*. **Tropical Plant Pathology**, v.37, n.6, p.415-418, 2012.

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

ORMSBY, J. P.; CHOUDHURY, B. J.; OWE, M. Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.9, p.1301-1306, 1987.

PARREIRA, D. F.; NEVES, W. DOS S.; ZAMBOLIM, L. Resistência de Fungos a Fungicidas Inibidores de Quinona. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.3, n.2, p.24, 2009.

PASSOS, A. M. A.; GODINHO, V. de P. C.; MARCOLAN, A. L.; BROGIN, R. L.; AKER, A. M. Avaliação de cultivares de soja de ciclo precoce em área de pastagem na região sudoeste da Amazônia. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, p.319-328, 2014.

PAVAN, D. et al. Avaliação da eficiência de fungicidas visando controle da ferrugem asiática da soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, n.3, 2017.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; BIEL, C.; SERRANO, L.; SAVE, R. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, n.10, p.1887-1905, 1993.

PESQUEIRO, A. S.; BACCHI, L. M. A.; GAVASSONI, W. L. Associação de fungicidas no controle da antracnose da soja no Mato Grosso do Sul. **Revista Ciência Agrônômica**, v.47, n.1, p.203-212, 2016.

PLOPER, L. D. (Ed.). Management of economically important diseases of soybean in Argentina. **World Soybean Research Conference**, 1999.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R., MADEIRA NETTO, J. S. (Org.) Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília: **Editora da UNB**, p.157-199, 2001.

R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Austria: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

REIS, E. M. Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégia para retomar eficiência de controle. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.21, n.141, p.21-27, 2014.

REIS, E. M.; CARREGAL, L. H.; ZANATTA, M. Comparison of the efficacy of QoI fungicides, alone or in mixture with triazoles, in Asian soybean rust control, 2016/17 growing season. **Summa Phytopathologica**, v.45, n.1, p.28-32, 2019.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BEVILAQUA, L. C. Modelo de ponto crítico para estimar danos causados pela ferrugem da folha da aveia branca. **Summa Phytopathologica**, v.34, n.3, p.238-241, 2008.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L. Efeito do oídio causado por *Erysiphe*

graminis f. sp. *tritici*, sobre o rendimento de grãos de trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v.22, p.492-495, 1997.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L.; MENDES, C. M. Efeito da ferrugem da folha no rendimento de grãos de trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v.25, p.67-71, 2000.

REIS, E. M.; LEITES, A.; FORCELINI, C. A. Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância da radiação solar e rendimento de grãos na cultura do trigo Embrapa 16. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.447-454, 2006.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. Doenças da soja I: Ferrugem asiática. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, p.48, 2006.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. Manual de fungicidas: guia para o controle químico racional de doenças de plantas. Passo Fundo: **Berthier**, 2016.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M.; DANELLI, A. L. D. Ferrugem Asiática. *In*: REIS, E. M.; CASA, R. T. Doenças da Soja. Passo Fundo: **Berthier**, p.69-101, 2012.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; ZANATTA, M.; SILVA, L. H. C. P.; SIQUERI, F. V.; SILVA, J. R. C. Evolução da redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégia para recuperar a eficiência de controle. 3 ed. Passo Fundo: **Berthier**, p.103, 2017.

REIS, E. M.; ZANATA, M.; REIS, A. C. Controle de doenças no trigo. Disponível em: < <http://www2.senar.com.br/Noticias/Detalhe/13283>>. Acesso em: 18 de dezembro 2021.

RICHETTI, A.; ROESE, A. D. Custo do controle químico da ferrugem asiática da soja em Dourados, MS, para a Safra 2010/2011. **Comunicado técnico 161**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p.6, 2011.

RIETJENS, A. R., DECLOQUEMENT, J., FONSECA, R. A. Eficiência da pulverização de combinações químicas no controle de complexos de doenças. **Mais Soja**, v.1, p.1-13, 2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In*: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. *Proceedings...* Washington, DC: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological - spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n.3, p.183-192p, 1990.

RUPE, J.; SCONVERS, L. Soybean rust. **The Plant Health Instructor**, 2008.

SACON, D.; NETTO, A.; TONELLO, E. S.; FOCHESSATO, M.; TORTELLI, B.; MILANESI, P. M. Número de aplicações de fungicida e comparação entre cultivares com e sem tolerância no controle da ferrugem asiática da soja. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.7, n.4, p.47-58, 2018.

SANTOS, O. A cultura da soja, 1: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná. 2. ed. São Paulo: **Globo**, p.20-176, 1995.

SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, C. A.; CRAIG, I. R.; STAMMLER, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-outerinhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science**, v.7, p.378-88, 2014.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v.153, p.1394-1411, 2015.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v.67, n.8, p.1051-1056, 1977.

SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; AZEVEDO, L. S. G. (2021). AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences. R package version 1.2.1. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>.

SILVA, A. J., CANTERI, M. G., SANTIAGO, D. C., HIKISHIMA, M., DA SILVA, A. L. The reflectance in the estimate of the effect of fungicides in the control of asian soybean rust. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.1, p.53-56, 2009.

SILVA, L. H. C. P. D.; CAMPOS, H. D.; SILVA, J. R. C.; REIS, E. M. Control of Asian soybean rust with mancozeb, a multi-site fungicide. **Summa Phytopathologica**, v.41, n.1, p.64-67, 2015.

SILVA, V. A. S.; JULIATTI, F. C.; SILVA, L. A. S. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.42, n.9, p.1261-1268, 2007.

SIMÕES, K.; HAWLIK, A.; REHFUS, A.; GAVA, F.; STAMMLER, G. First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Plant Disease and Protection**, v.125, p.21-26, 2018.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean Rust Workshop. **Urbana: Proceedings**, p.68, 1995.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean rust. *In*: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (Eds.) Compendium of soybean diseases. Saint Paul MN. **APS Press**, p.3-4, 1999.

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

SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA, M. C. N. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha alvo da soja. **Tropical Plant Pathology**, v.34, n.5, p.333-338, 2009.

SOUZA, P. H. N.; GAVASSONI, W. L.; COMPARIN, P. J. S.; DIAS, A. S. Associação de mancozeb com misturas Qols, DMIs e ISDHs no controle da ferrugem da soja. *In*: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Maceió, p.49, 2016.

ST-MARSEILLE, A. F. G.; BOURGEOIS, G.; BRODEUR, J.; MIMÉE, B. Simulating the impacts of climate change on soybean cyst nemotod and distribution of soybean. **Agricultural and Forest Metereology**, v.264, p.178-187, 2019.

SUMABAT, L. G.; KEMERAIT, R. C.; KIM, D. K.; MEHTA, Y. R.; BREWER, M. T. Clonality and geographic structure of host-specialized populations of *Corynespora cassiicola* causing emerging target spot epidemics in the southeastern United States. **PLoS One** v.13, p.1-19, 2018.

TECNOLOGIAS de produção de soja – Região Central do Brasil 2013. Londrina: Embrapa, 2013.

TERAMOTO, A.; MEYER, M. C.; SUASSUNA, N. D.; DA CUNHA, M. G. Sensibilidade de *Corynespora cassiicola* isolado de soja a fungicidas in vitro e controle químico de mancha-alvo da soja no campo. **Summa Phytopathologica**, v.43, n.4, p.281-289, 2017.

TORMEN, N. R.; DA SILVA, F. D. L.; DEBORTOLI, M. P.; UEBEL, J. D.; FAVERA, D. D.; BALARDIN, R. S. Drop deposition on canopy and chemical control of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.802-808, 2012.

TYAGI, P.; BHOSLE, U. Radiometric Correction of Multispectral Images Using Radon Transform. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v.42, n.1, p.23-34, 2014.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; LIBERATO, J. R.; SOUZA, C. A. Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro. *In*: VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Viçosa: UFV, 2004.

VARGAS, I. C. (2011) A agricultura de precisão. Disponível em: <http://www.webrural.com.br/webrural/artigos/tecnologia/ap/ap.htm>. Acesso em: 17 jun. 2021.

VIEIRA, T. G.; ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C.; VEIGA, R. D.; EPIPHANIO, J. C. N. Crop parameters and spectral response of coffee (*Coffea arabica* L.) areas within the state of Minas Gerais, Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v.1, n.2, p.111-118, 2006.

WEBB, K. M.; CALDERÓN, F. J. Mid-Infrared (MIR) and Near-Infrared (NIR) Detection of *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIIB on Barley-Based Artificial Inoculum. **Applied Spectroscopy**, v.69, n.10, p.1129-1136, 2015.

WEST, J. S., BRAVO, C., OBERTI, R., LEIMARE, D., MOSHOU, D., MCCARTNEY, H. A. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v.41, p.593-614, 2003.

WIEGAND, C. L.; EVERITT, J. H.; RICHARDSON, A. J. Comparison of multispectral video and SPOT-HRV observations for cotton affected by soil salinity. **International Journal of Remote Sensing**, v.13, n.8, p.1511-1525, 1992.

XAVIER, S. A.; CANTERI, M. G.; BARROS, D. C. M.; GODOY, C. V. Sensitivity of *Corynespora cassiicola* from soybean to carbendazim and prothioconazole. **Tropical Plant Pathology**, v.38, p.431-435, 2013.

YANG, X. B.; TSCHANZ, A. T.; DOWLER, W. M.; WANG, T. C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.81, n.11, p.1420-1426, 1991.

YASSUE, R.M. Tolerância da soja à ferrugem asiática em dialelo multivariado e ambientes contrastantes de fungicidas. 2018. 84f. Dissertação (Mestrado). ESALQ – Piracicaba, SP, 2018.

YORINORI, J. T. A ferrugem "asiática" da soja no continente americano: evolução, importância econômica e estratégias de controle. In: JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; HAMAWAKI, O. T. (Ed.). I Workshop brasileiro sobre a ferrugem asiática. Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 21–37.

YORINORI, J. T. et al. Doenças da soja. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. Boletim de Pesquisa de Soja.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*): identificação e controle. **Informações Agrônomicas**. Londrina, n.104, p.5-8, 2003.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. E.; GODOY, C. V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, Saint Paul, v.89, p.675-677, 2005.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; FERNANDEZ, P. F. T. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2000/01 e 2001/02. Resumo. In: Congresso Brasileiro de Soja, Foz do Iguaçu, p.94, 2002.

ZADOKS, J. C. On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. **Annual Review of Phytopathology**, v.23, p.455-473, 1985.

ZAMBENEDETTI, E. B.; ALVES, E.; ARAUJO, D. V. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.32, n.2, p.156-160, 2007.

ZAMBENEDETTI, E. B.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; ARAÚJO, D.V.; GODOY, C. V.
Avaliação de parâmetros monocíclicos e da intensidade da ferrugem asiática
(*Phakopsora pachyrhizi*) em diferentes genótipos de soja e posições de copa.
Summa Phytopathologica, v.33, n.2, p.178-181, 2007.