

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS - CCR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Maíne Alessandra Lerner

PREDIÇÃO DE EPIDEMIAS CAUSADAS POR *Phakopsora pachyrhizi*
EM SOJA

Santa Maria, RS
2019

Maíne Alessandra Lerner

PREDIÇÃO DE EPIDEMIAS CAUSADAS POR *Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Bioecologia e Manejo de Organismos em Sistemas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

Orientador: PhD. Ricardo Silveiro Balardin

Santa Maria, RS
2019

Maíne Alessandra Lerner

PREDIÇÃO DE EPIDEMIAS CAUSADAS POR *Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Bioecologia e Manejo de Organismos em Sistemas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia.**

Aprovado em 18 de fevereiro de 2019:

Ricardo Silveiro Balardin, PhD., (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Alessandro Dal'Col Lúcio, Prof, Dr. (UFSM)

Sidinei José Lopes, Prof, Dr. (UFSM)

Juliano Perlin de Ramos, Prof, Dr, (IFF)

Mônica Paula Debortoli, Dra. (Phytus Group)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Albano Lerner (*in memoriam*), por ter sido a pessoa que mais me incentivou a continuar estudando, por ter me dando tantos conselhos e por ter dedicado a mim, um amor sem tamanho. Sem o apoio dele, jamais teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente aos meus pais, por terem me dado a vida, e por permitirem que eu vivesse ela, aproveitando cada oportunidade, com crescimento profissional e pessoal, mesmo que para isso, ainda muito jovem eu tive que sair de casa. Agradeço aos meus irmãos Marisa, Mareli e Fabiano, cunhados e sobrinhos, pelo incentivo, apoio e por compreenderem minha ausência, amo vocês.

Agradeço a UFSM, por ter me acolhido nestes mais de 11 anos de caminhada e por ter me proporcionando ensinamentos, desafios, e por ter me tornado quem sou hoje. Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de crescimento profissional.

Não tenho palavras para descrever tamanha gratidão ao Professor Ricardo Balardin, pela oportunidade de ser sua orientada e de ser um pouco sua filha. Agradeço os conselhos recebidos, sempre com muita sinceridade e sabedoria, aos ouvidos quando precisei desabafar e ao ombro quando precisei chorar.

Agradeço a amiga Mônica Paula Debortoli, pela incansável ajuda e pela amizade. Obrigada pelas tantas conversas, desabafos, discussões de resultados, ensinamentos, correções e por ser ponto de apoio sempre. Agradeço aos amigos Miriane e Júlio, por tantas conversas e conselhos e por terem feito parte da minha trajetória.

Agradeço ao Phytus Group, pela disponibilidade de sua estrutura física e de funcionários, para a condução deste trabalho, da melhor forma possível. Agradeço a todos que fazem parte desta família, em especial aos amigos: Clarice Balardin, Caroline Gulart, Paulo Santos, Carla Amaral, Paulo Lopes, Eduardo Lopes, Antão Santos, Vani Nascimento, Leandro Marques e Marlon Stefanello,

Agradeço as amigas muito especiais, Ana Júlia Zimmermann, Andressa Zago, Bruna Hettwer, Janine Menegaes, Natália Aita e Simone Minuzzi, por serem as melhores parceiras de vida que eu poderia ter, por me apoiarem, incentivarem, entenderem ausências e por estarem comigo nos melhores e piores momentos da vida. Amo muito vocês! Agradeço aos colegas e amigos Leonardo Furlani, Pablo Tuzi Serafini e Felipe Frigo, pela ajuda, trocas de informações e conselhos.

Agradeço aos professores Marcelo Madalosso, Ivan Dressler, Sidinei Lopes, Alessandro Dal'Col Lúcio e Juliano Ramos pela disponibilidade e contribuições ao trabalho, desde o processo de qualificação.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e que eventualmente não foram lembrados.

RESUMO

PREDIÇÃO DE EPIDEMIAS CAUSADAS POR *Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA

AUTORA: Maíne Alessandra Lerner
ORIENTADOR: Ricardo Silveiro Balardin

Este trabalho teve por objetivo validar um sistema de pontuação baseado em precipitação acumulada, temperatura do ar, épocas de semeadura e estádios fenológicos da soja, utilizado para determinar a ocorrência de ferrugem asiática em soja auxiliando na tomada de decisão da primeira aplicação fungicida. Foram realizados experimentos à campo nas safras agrícolas 2015/16, 2016/17 e 2017/18 em Itaara/RS, com diferentes épocas de semeadura e diferentes cultivares. Foi instalada na área uma armadilha caça-esporos que possibilitou o monitoramento da flutuação área de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* ao longo de 29 meses. No primeiro estudo, conduzido nas safras 2015/16 e 2016/17, foi validado a predição de ocorrência de ferrugem asiática com base em sistema de pontuação, em diferentes épocas de semeadura. Os resultados indicaram que o nível de risco médio/alto foi o mais adequado para indicar as aplicações dos fungicidas. No segundo estudo, realizado nas safras 2016/17 e 2017/18, o objetivo foi validar o uso do sistema de pontuação em diferentes cultivares de soja com níveis de sensibilidade distintos em relação ao patógeno. Os resultados indicaram que o sistema proposto foi confiável estável em diferentes cultivares de soja. No terceiro estudo, conduzido no período de dezembro de 2015 a janeiro de 2019, foi identificada a correlação de diferentes direções do vento com a flutuação de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* na área no período de safra e entressafra de cultivo da soja. De acordo com os resultados, a direção de vento norte e noroeste podem servir como indicação da presença de inóculo no ar.

Palavras-chave: *Glycine max*, doença, ferrugem asiática, sistema de pontuação

ABSTRACT

PREDICTION OF EPIDEMICS CAUSED BY *Phakopsora pachyrhizi* IN SOYBEAN

AUTHOR: Maíne Alessandra Lerner

ADVISOR: Ricardo Silveiro Balardin

The main strategy to control Asian rust (*Phakopsora pachyrhizi*) is the chemical control along with the use of disease risk prediction models which would help in the decision making. The studies aimed to validate a scoring system based on rain, air temperature, sowing times and soybean phenological stages. The scoring system was used to determine the risk of occurrence of Asian soybean rust and to be a tool for decision making of the first fungicide application. Experiments were carried out in the field crops in 2015/16, 2016/17 and 2017/18 in Itaara/RS, with different sowing times and different cultivars. In addition, a spore trap was installed in December 2015 at the experimental area in order to monitor the fluctuation of the spore area of *Phakopsora pachyrhizi*. In the first study, conducted during 2015/16 and 2016/17 growing seasons, the objective was to validate the levels of risk of occurrence of Asian rust determined through the scoring system at different sowing times. The results indicated that the medium / high risk level was the most adequate to start the fungicide applications. In the second study, conducted during the 2016/17 and 2017/18 period, the objective was to validate the use of the scoring system in different soybean cultivars, which presented different levels of pathogen sensitivity. The results indicated that the proposed system was reliable even on different soybean cultivars. In the third study, conducted in the period from December 2015 to January 2019, the objective was to identify the correlation of wind directions and *Phakopsora pachyrhizi* spores dispersal. According to the results, north and northwest wind directions can explain the origin of the initial incolum to the southern areas.

Key-Words: *Glycine max*, disease, asian rust, scoring system

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

- Figura 1.** Variáveis meteorológicas observadas no período experimental, na safra agrícola 2015/2016. Itaara/RS. 2019 22
- Figura 2.** Variáveis meteorológicas observadas no período experimental, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019 22

Artigo 2

- Figura 1.** Variáveis meteorológicas observadas durante o período experimental na safra 2016/2017. Itaara/RS, 2019. 50
- Figura 2.** Variáveis meteorológicas observadas durante o período experimental na safra 2017/2018. Itaara/RS, 2019. 51
- Figura 3.** Ganho produtivo (Sacos/ha⁻¹), dos tratamentos em relação a testemunha, para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019. 51
- Figura 4.** Ganho produtivo (Sacos/ha⁻¹), dos tratamentos em relação a testemunha, para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2017/2018. Itaara/RS. 2019. 52

Artigo 3

- Figura 1.** Relação entre o número de urediniósporos e a frequência da direção do vento noroeste e norte para safra 2015/2016 (A), 2016/2017 (B), 2017/2018(C) e 2018/2019 (D). Itaara/RS, 2019 61
- Figura 2.** Relação entre o número de urediniósporos e a frequência da direção do vento noroeste e norte para 2016 (A), 2017 (B) e 2018 (C) cada período de entressafra. Itaara/RS, 2019..... 65
- Figura 3.** Número de urediniósporos, precipitação acumulada (mm) e data do primeiro sintoma visível (flechas) para as safras 2016/17 e 2017/18. Itaara/RS. 2019 66
- Figura 4.** Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 31/10/2016 (A), 25/11/2016 (B), 29/12/2016 (C) e 02/01/2017 (D), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019 67
- Figura 5.** Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 30/10/2017 (A), 22/11/2017 (B), 29/12/2017 (C) e 05/01/2018 (D), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019 68
- Figura 6.** Número de urediniósporos e precipitação acumulada (mm) para as entressafras de soja 2016, 2017 e 2018. Itaara/RS. 2019 70
- Figura 7.** Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 14/07/2016 (A), 25/08/2016 (B), 22/09/2016 (C) e 29/09/2016 (D), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019 70
- Figura 8.** Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 21/07/2017 (A), 22/08/2017 (B), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019 71
- Figura 9.** Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 20/07/2018 (A) e 13/08/2018 (B), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019 72

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1. Descrição dos coeficientes atribuídos a cada variável do sistema de pontuação.....	19
Tabela 2. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), para os diferentes tratamentos.	23
Tabela 3. Produtividade (kg/ha^{-1}), para os diferentes tratamentos.	26

Artigo 2

Tabela 1. Descrição dos coeficientes atribuídos a cada variável do sistema de pontuação.....	48
Tabela 2. Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019.	48
Tabela 3. Produtividade (kg/ha^{-1}), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019.	49
Tabela 4. Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2017/2018. Itaara/RS. 2019.	49
Tabela 5. Produtividade (kg/ha^{-1}), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2017/2018. Itaara/RS. 2019.	50

Artigo 3

Tabela 1. Período avaliado em cada safra e entressafra de cultivo da soja. Itaara/RS, 2019 ..	58
Tabela 2 Coeficiente de Correlação de Spearman para o período de safra. Itaara/RS, 2019 ..	62
Tabela 3. Coeficiente de Correlação de Spearman para o período de entressafra. Itaara/RS, 2019 ..	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
Artigo 1 - Sistema de pontuação utilizado para definição da primeira aplicação fungicida visando controle de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> em soja.....	15
1. Introdução.....	17
2. Material e Métodos.....	18
3. Resultados e Discussão.....	21
4. Conclusões.....	29
Referências Bibliográficas.....	30
Artigo 2 - Influência da sensibilidade varietal a <i>Phakopsora pachyrhizi</i> sob um sistema de pontuação que indica o momento de aplicações fungicidas.....	33
1. Introdução.....	35
2. Material e Métodos.....	37
3. Resultados e Discussão.....	40
4. Conclusões.....	45
Referências Bibliográficas.....	45
Artigo 3 - Direção do vento e dispersão de urediniósporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i>....	53
1. Introdução.....	55
2. Material e Métodos.....	57
3. Resultados e Discussão.....	59
4. Conclusões.....	73
Referências Bibliográficas.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é uma cultura de destaque no cenário mundial. Segundo dados da CONAB (2019), na safra 2017/2018 foram cultivados no Brasil cerca de 35 milhões de hectares com a cultura da soja, e produção total ao redor de 119 milhões de toneladas. Essa produção ainda não é maior, devido aos diversos desafios fitossanitários que os produtores enfrentam, sendo um deles, o fungo *Phakopsora pachyrhizi*, causador da ferrugem asiática.

Esta doença é agressiva e está presente em todas regiões produtoras de soja. O sucesso da infecção deste patógeno depende da sequência de eventos determinada pela germinação de esporos que, após serem dispersos pelo vento e com condições meteorológicas adequadas, germinam e penetram no hospedeiro causando uma nova infecção (GOELLNER et al., 2010).

Melching et al. (1989), em trabalho avaliando o efeito da temperatura do ar e do período de molhamento foliar em relação a germinação dos uredósporos, mostraram que a faixa ótima para germinação do fungo foi no mínimo de 6 horas de molhamento foliar, enquanto que taxas máximas ocorreram entre 10 e 12 horas de molhamento, e a faixa ótima para germinação do fungo foi de 16° a 26,5°C não ocorrendo desenvolvimento de lesões em temperaturas abaixo de 9°C e acima de 28,5 °C, mesmo com molhamento foliar de 20 horas.

O manejo desta doença é dependente do controle químico com fungicidas. Para ser obtido controle eficaz da doença, é necessário que a primeira aplicação seja feita preventivamente (GARCÉS, 2011; LANGENBACH et al, 2016; NASCIMENTO et al, 2018). Atualmente, não há um entendimento claro quanto à determinação do momento correto para a primeira aplicação fungicida. Na maioria dos casos, essa determinação é baseada em critérios empíricos como o estágio fenológico da cultura, dias após a emergência da cultura, ou ainda no critério “pré-fechamento de entrelinha” (REIS et al., 2018).

Estes critérios, se considerados isoladamente, podem levar a aplicações em momentos em que a doença já esteja estabelecida, pelo fato de não considerarem as condições ambientais predisponentes a ocorrência da mesma. Além disso, como a presença do fungo na lavoura pode ocorrer em qualquer estágio fenológico da cultura, aplicações calendarizadas podem não proporcionar um controle efetivo da ferrugem asiática (LERNER, 2016).

Uma forma de se ter um melhor aproveitamento do controle químico dá-se através do uso de sistemas de predição de risco de ocorrência de uma certa doença. Sistemas de alerta são elementos chave no manejo integrado de doenças por reunir esforços para reduzir o uso excessivo de agrotóxicos (GLEASON et al., 2008). Modelos de predição completos devem ser

fundamentados na interação patógeno, hospedeiro e ambiente. No entanto, a maioria dos sistemas já estudados para controle da ferrugem da soja, se baseiam somente nas condições meteorológicas necessárias para infecção e multiplicação do inóculo (CANTERI, et al., 2004; REIS et al., 2004; DEL PONTE et al., 2006a).

Del Ponte et al. (2008), relatam que no Brasil os sistemas de predição de ocorrência desta doença são limitados a alertas locais específicos, relacionando temperatura do ar e molhamento foliar. Não existe no País, nenhum modelo de predição de risco que alie fatores inerentes ao patógeno, hospedeiro e ambiente, considerados de forma conjunta, mas apenas modelos que consideram as condições do ambiente para determinar o risco de ocorrência da doença.

Outro fator a ser considerado, relacionado ao hospedeiro, é a diferença na sensibilidade das diferentes cultivares à *Phakopsora pachyrhizi*. A escolha da cultivar a ser utilizada, pode fazer parte do manejo integrado da doença e ser aliado ao controle químico, com o intuito de diminuir o progresso da epidemia. As cultivares de soja apresentam diferentes níveis de expressão da resistência parcial ao patógeno, caracterizada pela variação na taxa de progresso da epidemia, seja através da diminuição do número e tamanho das lesões, ou na diminuição da produção de uredinósporos e aumento do período latente (WANG & HARTMAN, 1992; BEDIN, 2007). As diferentes cultivares podem apresentar respostas diferentes ao controle químico, alguns trabalhos relatam que cultivares mais sensíveis apresentam respostas superiores ao controle, quando comparado a cultivares menos sensíveis ou tolerantes ao fungo (SIQUERI, et al., 2011).

Além dos fatores ambientes favoráveis e cultivares com diferentes sensibilidades à doença, deve-se ainda considerar o patógeno. O monitoramento da presença ou ausência de inóculo no ar, somado às condições ambientes predisponentes e a genética da cultivar utilizada, interferem na determinação da primeira aplicação fungicida preventivamente, não sendo realizada sem a presença do inóculo ou quando a doença já estivesse estabelecida. Para tal monitoramento, seria necessária uma rede de armadilhas-caça esporos em todas as regiões de cultivo, bem como equipamentos e profissionais capacitados para as leituras. Como a rede de armadilhas ainda não existe, é assumido a presença de inóculo no ar desde o início do período de cultivo.

Com base no exposto, os objetivos deste trabalho foram: validar um sistema de pontuação com base em variáveis que determinam a ocorrência da doença e o impacto epidemiológico da data de emergência, estágio fenológico da cultura, precipitação acumulada

(mm) e temperatura média do ar, que no seu conjunto definem o risco de ocorrência da ferrugem asiática da soja; verificar as respostas do sistema de pontuação proposto, em cultivares distintas, podendo a escolha da mesma ser parte do manejo integrado da doença; e, determinar a relação da direção do vento com a concentração aérea e variação sazonal de esporos de *Phakopsora pachyrhizi*, visando servir como alerta na tomada de decisão do momento das aplicações fungicidas.

Artigo 1

Sistema de pontuação utilizado para definição da primeira aplicação fungicida visando controle de *Phakopsora pachyrhizi* em soja

*Conforme norma da Revista Brasileira de Ciências Agrárias

Resumo

Para que o controle da ferrugem asiática da soja seja eficaz, é necessário que a primeira aplicação fungicida seja realizada preventivamente. Entretanto, não há ferramentas para determinação do momento correto para esta aplicação. Uma alternativa é o uso dos sistemas de previsão da doença. Portanto, o objetivo deste estudo é validar um sistema de pontuação, que considera parâmetros da doença, e gera níveis de risco de ocorrência de ferrugem asiática, para determinar o momento da primeira aplicação fungicida. A área experimental está localizada no Rio Grande do Sul e foram conduzidos ensaios em duas safras agrícolas, com cinco épocas de semeadura em cada safra. Os tratamentos constituíram-se de diferentes momentos da aplicação fungicida, sendo: Testemunha (T1), aplicações no nível de risco baixo (T2), aplicações no nível de risco médio (T3), aplicações no nível de risco médio/alto (T4), aplicações no nível de risco alto (T5) e aplicação baseada no estágio fenológico da cultura (T6). Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Scott-Knott. O sistema de pontuação mostrou-se viável como indicador do nível de risco de ocorrência da ferrugem da soja. O nível de risco médio/alto pode ser utilizado para a determinação da primeira aplicação fungicida.

Palavras-chave: ferrugem asiática, previsão, manejo

**Scoring system used to define the first fungicide application for the control of
Phakopsora pachyrhizi in soybean**

Abstract

In order to soybean rust control to be effective, it is necessary that the first fungicide application be carried out preventively. However, there are no tools to determine the correct timing for this application. An alternative is the use of disease forecasting systems. Therefore, the objective of this study is to validate a scoring system, which considers disease parameters, and generates risk levels for Asian rust to determine the moment of the first fungicide application. The experimental area is located in the Rio Grande do Sul and trials were conducted in two growing season, with five sowing seasons in each crop. The treatments consisted of different moments of the first fungicide application, being: Check, (T1), applications at low risk level (T2), applications at medium risk level (T3), applications at the level of (T4), applications at the high risk level (T5) and application based on the phenological stage of the culture (T6). The results were submitted to analysis of variance (ANOVA) and Scott-Knott test. The scoring system proved to be feasible as an indicator of the risk of occurrence of soybean rust. The medium/high risk level can be used to determine the first fungicide application.

Key-words: soybean rust, forecasting, management

INTRODUÇÃO

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sidow & Sidow, causador da ferrugem asiática da soja, é o principal patógeno que ataca a cultura, e seu manejo é dependente do controle químico com o uso de fungicidas. Para que uma epidemia de ferrugem asiática ocorra é necessário a presença do patógeno virulento, hospedeiro suscetível e ambiente favorável que é essencial para o processo de germinação e infecção (Del Ponte et al., 2006b; Igarashi et al., 2016).

O fungo tem capacidade de infectar a planta com temperaturas do ar entre 16° e 26,5°C, e molhamento foliar mínimo de 6 horas (Melching et al., 1989). A precipitação pluvial é relatada como sendo a principal fonte de água livre nas folhas (Del Ponte et al., 2006a). Segundo Schmitz & Grant (2009), a chuva proporcionou longa duração da umidade devido ao molhamento imediato de todos os níveis do dossel. Como a infecção por *Phakopsora pachyrhizi* normalmente se inicia pelo dossel inferior, os autores concluíram que a chuva possui uma maior influência na infecção quando comparada ao orvalho.

Para que o controle desta doença seja eficaz é necessário que a primeira aplicação de um fungicida seja realizada preventivamente (Garcés, 2011; Langenbach et al., 2016; Nascimento et al., 2018). Atualmente, não há um entendimento claro quanto à determinação do momento correto para a primeira aplicação fungicida. Na maioria dos casos, essa determinação é baseada em critérios como dias após a emergência da cultura, “pré-fechamento de entrelinha” ou, mais comumente, estágio fenológico da soja (Reis et al., 2018). Estes critérios não devem ser considerados isoladamente, pelo fato de não considerarem as condições ambientais predisponentes à ocorrência da doença (Mueller et al., 2009). Além disso, como a presença do fungo na lavoura pode ocorrer em qualquer estágio fenológico da cultura, aplicações calendarizadas podem não proporcionar controle efetivo da ferrugem asiática (Lerner, 2016).

Além das condições ambientes favoráveis ao patógeno, é necessário a quantificação do inóculo no ar para que a determinação do momento de aplicação corresponda ao início mais provável da epidemia. Apesar da existência de locais com armadilhas caça-esporos, não existem informações destes dados em larga escala, tanto pela falta de uma rede de equipamentos como pela dificuldade de leitura das coletas de esporos. Sabe-se que há uma tendência de a epidemia ocorrer em estádios mais jovens, devido ao atraso na época de semeadura, que resulta em maior pressão de inóculo. Na medida do retardamento da época de semeadura, aumenta o risco de ocorrência da

epidemia, permitindo acompanhamento da evolução da disponibilidade de inóculo nas diferentes regiões do Brasil (Costamilan, 2005; Gardiano et al., 2010; Lerner, 2016).

Uma alternativa para possibilitar uma correta tomada de decisão é o uso dos sistemas de previsão da doença. Desde a década de 90, diversos estudos foram realizados no sentido de desenvolver sistemas que pudessem prever as epidemias de ferrugem asiática da soja. Del Ponte et al. (2006b), relatou em um estudo de revisão bibliográfica, a existência de 12 modelos até aquele ano. Deste total, apenas três modelos foram desenvolvidos no Brasil. Todos estes modelos relatados levaram em consideração somente fatores ambientais no início da epidemia, ou progresso das mesmas. Desde 2006 não foram desenvolvidos novos sistemas de previsão para ferrugem asiática no Brasil, sendo que os trabalhos existentes se dedicam a validar os sistemas ou modelos já existentes (Juliatti et al., 2006; Badinelli et al., 2017; Gardiano et al., 2010).

Mais recentemente, Carmona et al. (2015) realizou ensaios de validação de um sistema de pontuação para determinação de aplicação visando controle de manchas foliares em soja. No sistema proposto, os autores consideraram diversos parâmetros envolvidos na predisposição da ocorrência de manchas, além das condições ambientes, sendo uma ferramenta eficaz para definir o início do programa de controle fungicida.

Utilizando modelos preditivos, onde a indicação do momento correto para a aplicação de fungicidas é anterior ou mesmo no momento inicial da infecção, haverá melhor eficácia dos fungicidas, permitindo-lhes atuar de forma preventiva ou em uma situação pós-infecção muito precoce (Mueller et al., 2009). Segundo Yuen & Mila (2015), nenhum sistema evoluiu no sentido de considerar os três componentes do triângulo da doença, o que proporcionaria maior assertividade nas previsões de risco da doença.

Portanto, o objetivo deste estudo foi validar um sistema de pontuação, baseado em diferentes parâmetros dos componentes da interação ambiente, patógeno e hospedeiro, eficiente para orientar a tomada de decisão relativa ao momento da primeira aplicação de fungicidas em soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de pontuação, previamente desenvolvido e ajustado por Lerner (2016), baseia-se nas variáveis que determinam a predisposição à ocorrência da doença e ao impacto epidemiológico de cada uma, sendo elas: data de emergência, estágio fenológico da cultura, precipitação acumulada (mm) e temperatura média do ar (Tabela 1). A data de emergência da cultura é considerada, neste sistema, como uma medida indireta da

quantidade de inóculo no ar, tendo em vista que a doença ocorre mais cedo em épocas mais tardias (Costamilan, 2005; Lerner, 2016) quando as condições ambientes forem favoráveis. Já, o estágio fenológico da cultura é considerado aqui, como uma sinalização do avanço da cultura no decorrer da safra, indo em direção a uma maior pressão de inóculo bem como de estádios com maior sensibilidade das plantas ao avanço da doença.

Tabela 1. Descrição dos coeficientes atribuídos a cada variável do sistema de pontuação.

Fatores de risco	Níveis do fator	Pontuação
Precipitação acumulada em 10 dias anteriores	1 a 25 mm	3
	26 a 50 mm	6
	51 a 75 mm	12
	> 75 mm	18
Temperatura média em 10 dias anteriores	15°C a 25°C	2
	> 25°C	1
Data de emergência da Cultura	15/09 a 30/09	1
	01/10 a 15/10	2
	16/10 a 31/10	3
	01/11 a 15/11	4
	16/11 a 30/11	5
	01/12 a 15/12	6
	16/12 a 31/12	8
	01/01 a 15/01	10
	16/01 a 31/01	12
	01/02 a 15/02	14
	16/02 a 28/02	16
01/03 a 15/03	18	
16/03 a 31/03	20	
Estádio fenológico atual da cultura	V1 a V3	1
	V4 a V6	3
	V7 a Vn	7
	R1 a R3	11
	R4 a R5	15
	R5.1 a R5.5	19
	R6	23

Cada variável do sistema de pontuação recebeu um coeficiente relacionado à relevância no impacto na epidemia de ferrugem asiática, de acordo com a tabela 1. Para determinação do escore final, o produto dos pontos foi obtido para cada situação em que se quiser determinar o risco, de acordo com as observações atuais ou em dez dias anteriores ao dia em que se quer determinar o risco. Dependendo do resultado da

combinação dos fatores, o sistema de pontuação determina quatro cenários possíveis: 0 - 300 pontos o risco é considerado baixo, 301-600 pontos o risco é considerado médio, 601-900 pontos o risco é considerado médio/alto e > 900 pontos o risco é considerado alto, de ocorrência de ferrugem asiática da soja.

Para validar os níveis de risco previamente determinados, foram realizados experimentos nas safras agrícolas, 2015/2016 e 2016/2017, em cinco épocas de semeadura distintas em cada safra, nas instalações da estação experimental do Phytus Group, localizada no município de Itaara, região central do Rio Grande do Sul, latitude 29°35' S, longitude 53°48' W e altitude de 444m.

A área de cultivo está inserida na região fisiográfica do Planalto Médio, e o solo é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico típico. Segundo a classificação de Köppen, a variedade climática é do tipo Cfa, caracterizada pela ocorrência de precipitações entre 1.700 e 1.800 milímetros anuais bem distribuídos em todos os meses e temperatura média do ar do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio entre 3 e 18°C.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso em um bifatorial com parcelas subdivididas, sendo o fator épocas de semeadura, casualizado na parcela principal e fator momentos de aplicação fungicida casualizado na subparcela, totalizando 30 tratamentos com quatro repetições, para cada safra agrícola. Cada repetição constituiu-se de uma parcela de cinco fileiras, com 5,0 m de comprimento e 2,5 m de largura, equivalente a uma área de 12,5 m², sendo a área útil considerada para as avaliações as três fileiras centrais, excluindo-se 50 cm de cada extremidade, totalizando uma área útil de 6 m².

Na safra 2015/2016, as semeaduras, em sistema de semeadura direta, ocorreram em 22/11/2015, 04/12/2015, 17/12/2015, 28/12/2015 e 08/01/2016 e para a safra 2016/2017 em 21/11/2016, 02/12/2016, 16/12/2016, 06/01/2017 e 23/01/2017.

A cultivar utilizada foi a BMX Tornado RR, precoce, considerada sensível ao patógeno. O manejo de pragas e plantas daninhas, e todas práticas necessárias para proteção da cultura, foram realizadas conforme as recomendações técnicas para a cultura soja, com exceção da aplicação de fungicidas (Oliveira & Rosa, 2014).

Os tratamentos constituíram-se de diferentes momentos da primeira aplicação fungicida, sendo: Testemunha, sem aplicação de fungicida (T1), aplicações iniciadas quando o sistema indicar nível de risco baixo (T2), aplicações iniciadas quando o sistema indicar nível de risco médio (T3), aplicações iniciadas quando o sistema indicar nível de

risco médio/alto (T4), aplicações iniciadas quando o sistema indicar nível de risco alto (T5) e aplicação calendarizada, iniciada no estágio V7 da cultura (T6). As aplicações subsequentes foram realizadas com aproximadamente 15 dias de intervalo, podendo variar para mais ou para menos, conforme as condições meteorológicas, totalizando quatro aplicações para todos os tratamentos. A fim de equalizar o fator fungicida, foi escolhido a mistura trifloxistrobina (60 g i.a ha⁻¹) + protioconazol (70 g i.a ha⁻¹) aplicado com adjuvante a base de óleo metilado de soja a 0,25% v/v para ser utilizada em todas as aplicações.

As aplicações dos fungicidas foram realizadas com pulverizador pressurizado à CO₂, acoplado a barra de pulverização provida de quatro pontas do tipo leque plano (XR 110 02), espaçamento de 0,50 m, pressão de trabalho de 30 psi aplicando volume de calda de 150 L ha⁻¹.

As avaliações de severidade da doença foram realizadas a cada sete dias, a partir dos primeiros sintomas até início da desfolha da planta. Foram avaliados, separadamente, os terços inferior, médio e superior e utilizado a média de severidade por parcela. As notas de severidade corresponderam à percentagem de tecido atacado, determinado com auxílio da escala diagramática proposta por Godoy et al. (2006). A partir dos resultados de severidade, foi calculada a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), de acordo com o proposto por Campbell & Madden (1990).

Após o período de maturação, as plantas foram colhidas, trilhadas e determinada a umidade. As amostras foram pesadas em balança de precisão, em Kg/ha⁻¹ e a produtividade calculada corrigindo-se a umidade para 13%.

Os resultados obtidos, considerando a AACPD e a produtividade, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott Knott para a comparação múltipla de médias com 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2008). Após a análise no delineamento bifatorial, para cada safra agrícola, foi aplicado o teste do F máximo de Hartley (1950), para os quadrados médios dos resíduos obtidos em cada ano. Para ambas variáveis, os critérios de homogeneidade foram atendidos, procedendo-se assim, a análise conjunta dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a condução dos experimentos, nas duas safras agrícolas, as condições ambientes foram favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem asiática. Na safra 2015/2016 (Figura 1), no mês de dezembro, houve precipitação acumulada superior a 100

mm, nos meses de janeiro e fevereiro o acumulado de precipitação foi reduzido pela metade, voltando a subir nos meses de março e abril. As temperaturas mínimas e máximas, foram de 17°C e 24,5°C na média do período de cultivo. Na safra 2016/2017 (Figura 2), houve picos de precipitações acumuladas superiores a 100 mm. As temperaturas médias mínimas e máximas foram de 16,7°C e 26,0°C.

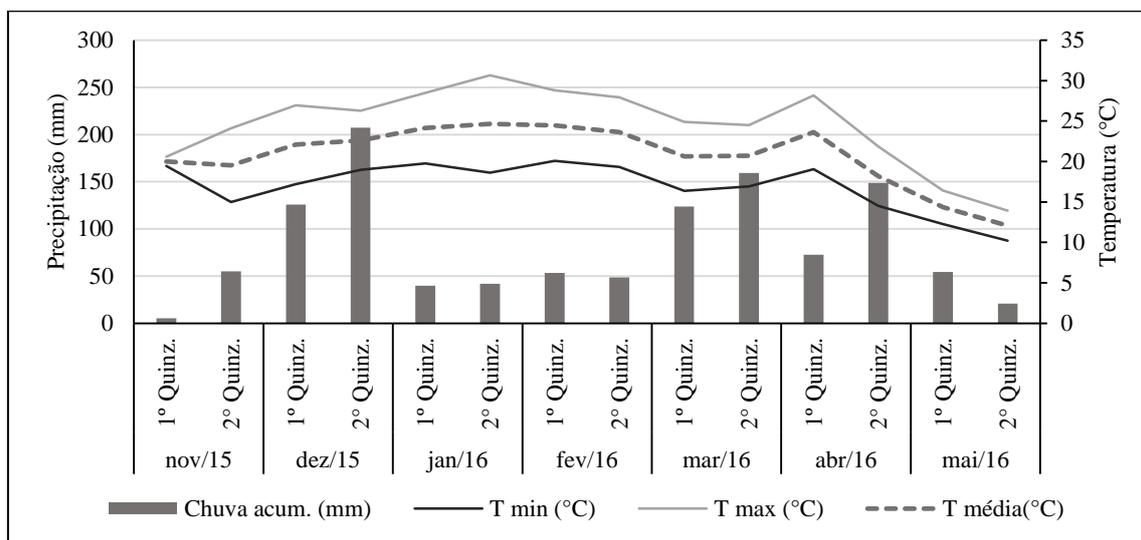


Figura 1. Variáveis meteorológicas observadas no período experimental, na safra agrícola 2015/2016. Itaara/RS. 2019

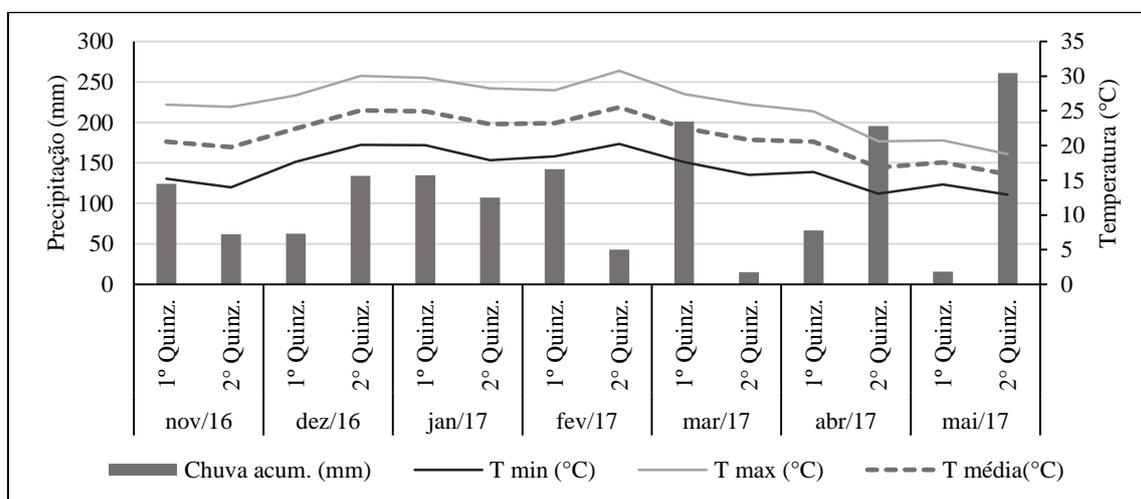


Figura 2. Variáveis meteorológicas observadas no período experimental, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019

De acordo com a análise conjunta dos dados, houve interação entre anos e tratamentos, indicando haver diferenças significativas entre as safras agrícolas estudadas, tanto para a variável AACPD, quanto para a variável produtividade. Em ambas safras, as maiores severidades da ferrugem asiática e consequentemente maiores AACPD, foram observadas nos tratamentos testemunhas, sendo estes, significativamente superiores aos

demais tratamentos, em todas as épocas de semeaduras. De maneira geral, a AACPD dos tratamentos testemunhas, em todas as épocas, foram superiores na segunda safra, reflexo dos índices pluviométricos elevados desde o início do período de cultivo. Na safra 2016/2017, foram observadas as maiores produtividades, mesmo com condições mais favoráveis ao patógeno, reflexo das condições meteorológicas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas em todo o ciclo. Resultados semelhantes foram obtidos por Melo et al. (2015), em estudo com diferentes genótipos de soja, onde obteve maiores produtividades, mesmo com elevada epidemia de ferrugem asiática, em virtude de condições meteorológicas favoráveis às plantas.

Para a semeadura de 22/11/2015, os tratamentos que ocasionaram menores AACPD e diferiram significativamente dos demais, foram com o momento de aplicação no nível de risco indicado como médio/alto e alto (Tabela 2). Na semeadura de 21/11/2016, os melhores tratamentos foram com a aplicação no nível de risco indicado como médio/alto e com a aplicação calendarizada. As aplicações baseadas no sistema de pontuação não diferiram nas duas safras, para todos os níveis de risco, enquanto que, a aplicação calendarizada apresentou diferença significativa, indicando ter respostas diferentes nas safras.

Tabela 2. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), para os diferentes tratamentos.

		Momentos de aplicação fungicida						
Safra	Semeadura	Testemunha	Baixo	Médio	Médio/Alto	Alto	Calendarizado	
2015/2016	22/11	585 dB	259 iB	269 iB	141 kB	96 kB	345 hA	
	04/12	799 cB	505 fA	235 jB	144 kB	298 iA	194 jB	
	17/12	992 bA	664 eA	512 fA	365 hA	341 hA	494 fA	
	28/12	1776 bA	455 gA	347 hA	276 iB	527 fA	691 eA	
	08/01	1814 aA	463 gA	343 hA	191 jB	831 dA	230 jB	
2016/2017	21/11	845 eA	230 hB	172 iB	91 jB	172 jB	97 jB	
	02/12	942 dA	290 gB	187 hB	111 jB	125 jB	219 hB	
	16/12	1062 cA	332 fB	281 gB	78 jB	93 jB	201 hB	
	06/01	1883 bA	227 hB	193 hB	207 hB	225 hB	237 hB	
	23/01	2098 aA	148 iB	176 iB	191 hB	193 hB	334 fB	

CV(%): 7,71

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0.05$). Letras minúsculas comparam diferentes tratamentos para cada safra e maiúsculas comparam as diferentes safras para cada tratamento.

Para a semeadura de 22/11/2015, a primeira aplicação do tratamento calendarizado foi realizada no dia 04/01/2016, e a aplicação baseada no sistema de

pontuação, indicou risco médio/alto, no estágio reprodutivo R2 em 01/02/2016. Nos estádios vegetativos (V6/V7), não havia uma quantidade de chuva acumulada elevada em janeiro e quando a cultura entrou no período reprodutivo, como os estádios fenológicos da soja tem um coeficiente no sistema de pontuação, para sinalizar o avanço na safra em direção a maior pressão de inóculo, com cerca de 50 mm de chuva acumulada houve indicação no nível de risco médio/alto.

Na safra 2016/2017, em virtude de um acumulado de precipitação muito elevado, ao redor de 145 mm em dez dias, o nível de risco médio/alto, foi indicado no estágio V7 e realizado somente dois dias após o tratamento calendarizado, no dia 04/01/2017. Isto explica a semelhança nos valores de severidade da doença e produtividade, destes dois tratamentos. Com isso foi possível observar que a aplicação baseada no sistema de pontuação possibilitou melhor posicionamento em ambas safras, enquanto que o tratamento baseado em estágio foi efetivo em apenas uma safra.

As épocas de semeadura 2 e 3, realizadas na primeira quinzena de dezembro, ainda estavam dentro do período de semeadura recomendada para soja no estado do Rio Grande do Sul. Para a semeadura de 04/12/2015, dentre os tratamentos com indicação de aplicação pelo sistema de pontuação, o tratamento que continha indicação no nível médio/alto foi o tratamento que teve a menor AACPD. Na semeadura de 02/12/2016, os tratamentos baseados nos níveis de risco médio/alto e alto, não diferiram entre si, ocasionando menores AACPD.

Na semeadura de 04/12/2015, a aplicação do tratamento calendarizado ocorreu em 19/01/2016 e no nível de risco médio/alto, em 01/02/2016, já em início do florescimento da soja. No momento V7, não havia nenhuma precipitação acumulada. Antes da aplicação de R1, haviam cerca de 50 mm de precipitação acumulada, que, somada aos demais fatores, proporcionou a indicação de risco médio/alto. Já na safra 2016/2017, as aplicações indicadas pelo sistema que ocasionaram menores severidades, foram realizadas antes da aplicação calendarizada. Para os níveis de risco médio/alto e alto foram realizadas nos estádios V5/V6, nos dias 04/01/2017 e 08/01/2017 respectivamente, em função de um acumulado de precipitação bastante elevado já nestes estádios. Novamente, foi observado melhor ajuste na aplicação realizada com base no sistema de pontuação nas duas safras agrícolas, sendo que o tratamento calendarizado não ficou posicionado corretamente em nenhuma das safras, em virtude de possibilitar as maiores severidades e menores produtividades, provavelmente devido à menor eficácia de controle.

Nas semeaduras de 17/12 e 16/12, nas duas safras estudadas, os níveis médio/alto e alto, apresentaram menores AACPD, não diferindo entre si, mas superando o tratamento calendarizado. Na semeadura de 17/12/2015, a aplicação calendarizada ocorreu no dia 27/01/2016, com precipitação acumulada de cerca de 20 mm em 10 dias antes da aplicação. A precipitação acumulada aumentou, e no momento da indicação do nível e risco médio/alto haviam 70 mm de precipitação, sendo aplicado no estágio Vn, em 05/02/2016. Já na semadura de 16/12/2016, a aplicação indicada pelo sistema no nível de risco médio/alto, foi realizada no estágio V6 (26/01/2017), anteriormente a aplicação calendarizada, realizada em 31/01/2019.

Para as épocas de semeadura consideradas tardias, já fora do período de semeadura recomendada para o Estado, foi observado que, para a semeadura de 28/12/2015, a menor severidade foi obtida pelo tratamento médio/alto, superando os demais. Já na semeadura de 06/01/2017, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos, no entanto a menor severidade absoluta foi obtida no tratamento com o nível de risco médio.

Para a semeadura de 28/12/2015, a aplicação no nível de risco médio/alto, foi realizada no dia 05/02/2017, quando a soja estava em Vn, com um acumulado de precipitação de 70 mm. No tratamento calendarizado a aplicação foi realizada em 31/01/2017. Na semeadura de 06/01/2017, o tratamento calendarizado, teve a primeira aplicação realizada no início de março, enquanto que o tratamento com base no sistema de pontuação indicou a aplicação de forma antecipada, em meados de fevereiro, com a soja em estágio V4, em virtude de a precipitação acumulada ser elevada, ao redor de 80 mm, ocasionando assim, menores severidades e maiores produtividades.

Para a semeadura de 08/01/2016, o nível de risco médio/alto, não diferiu do tratamento calendarizado, embora com menor severidade. Na semeadura de 23/01/2017, as menores severidades foram obtidas nos níveis baixo e médio, não diferindo entre si.

Na semeadura de 08/01/2016, a aplicação indicada pelo sistema, ocorreu em V6, no dia 16/02/2016, sendo realizada três dias antes da aplicação calendarizada e ocasionando valores semelhantes de AACPD e produtividade destes tratamentos. Na semeadura de 23/01/2017, a aplicação melhor posicionada, indicada pelo sistema, foi antecipada em relação ao tratamento calendarizado, em virtude de um acumulado de precipitação de quase 100 mm desde os estádios iniciais da soja, sendo realizada em V4.

Em relação a produtividade (Tabela 3), para a primeira época de semeadura (22/11), na safra 2015/2016, as maiores produtividades foram observadas nos tratamentos

com nível de risco médio/alto e alto, superando o calendarizado. Na safra 2016/2017, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos com nível de risco médio/alto e calendarizado. Embora sem diferenças significativas, valores absolutos devem ser considerados como ganhos produtivos, pelo fato de todos os tratamentos terem tido o mesmo investimento econômico nas aplicações. Portanto, as maiores produtividades foram obtidas no tratamento contendo aplicações no momento indicado como médio/alto para as duas safras agrícolas, chegando a ganhos de 8,4 sacos/ha⁻¹ na primeira safra e 1,2 sacos/ha⁻¹ na segunda, em relação ao tratamento calendarizado.

Tabela 3. Produtividade (kg/ha⁻¹), para os diferentes tratamentos.

Safra	Semeadura	Testemunha	Momentos de aplicação fungicida					Calendarizado
			Baixo	Médio	Médio/Alto	Alto		
2015/2016	22/11	1898,1 cB	2840,6 bB	2852,2 bB	3252,0 aB	3213,0 aB	2749,2 bB	
	04/12	2133,5 cB	2759,0 bB	2954,0 bB	3166,5 aB	3046,2 aB	3079,0 aB	
	17/12	1769,7 cB	2743,6 bA	2882,4 bA	3144,6 aA	3304,6 aA	2787,7 bA	
	28/12	1401,2 dB	1965,2 dB	2539,9 bB	2535,8 bB	2027,0 dB	2096,0 cB	
	08/01	673,8 fA	1177,6 eB	1480,5 dB	2204,5 cA	1095,6 eB	2110,6 cA	
2016/2017	21/11	2824,2 cA	3671,0 bA	3737,8 bA	3988,4 aA	3755,0 bA	3917,2 aA	
	02/12	2838,0 cA	3437,1 bA	3906,7 aA	4285,6 aA	4213,8 aA	4136,7 aA	
	16/12	2274,7 dA	2697,8 cA	2702,8 cA	3166,3 cA	2878,4 cA	2760,1 cA	
	06/01	1412,9 eB	2410,0 cA	2778,6 cB	2559,3 cB	2471,5 cA	2411,0 cB	
	23/01	396,0 fB	1686,8 eA	1534,9 eB	1418,4 eB	1377,5 eB	1156,7 eB	

CV(%): 12,47

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (p<0.05). Letras minúsculas comparam diferentes tratamentos para cada safra e maiúsculas comparam as diferentes safras para cada tratamento

Para a semeadura de 04/12/2015, o tratamento com indicação no nível de risco médio/alto, ocasionou as maiores produtividades em valores absolutos, nos dois anos, mas sem diferença significativa do tratamento calendarizado. Foram obtidos ganhos de 1,5 sacos /ha⁻¹ na safra 2015/2016 e 2,5 sacos/ha⁻¹ na safra 2016/2017, para este tratamento, em relação ao calendarizado.

Nas semeaduras de 17/12 e 16/12, em relação a produtividade, na safra 2015/2016, o maior ganho produtivo foi obtido pelo nível alto, embora sem distinção do nível médio/alto e na safra 2016/2017, o maior ganho foi obtido pelo nível médio/alto, mas sem distinção significativa dos demais tratamentos. Em valores absolutos, o tratamento baseado no nível de risco alto, possibilitou ganho produtivo de 8,6 sacos/ha⁻¹ na safra

2015/2016 e o médio/alto 6,8 sacos/ha⁻¹ na safra 2016/2017, em relação ao tratamento calendarizado.

Na semeadura de 28/12/2015 os maiores valores foram obtidos pelos tratamentos com nível de risco médio e médio/alto. Na safra 2016/2017 não houve diferenças significativas entre os tratamentos, no entanto maiores valores absolutos foram obtidos no nível de risco médio. Os ganhos produtivos foram de 7,7 sacos/ha⁻¹ na primeira safra para o nível médio/alto e de 6,1 sacos/ha⁻¹ no nível médio na segunda safra, em relação ao tratamento calendarizado.

Para a semeadura de 08/01/2016, a maior produtividade foi obtida no nível médio/alto em valores absolutos, mas não diferindo do calendarizado. Na semeadura de 23/01/2017 a maior produtividade foi pelo tratamento com nível de risco baixo, embora sem diferença significativa entre os tratamentos. Foram obtidos ganhos produtivos de 1,5 sacos/ha⁻¹, na safra 2015/2016 para o nível médio/alto e 8,8 sacos/ha⁻¹ no nível baixo, na safra 2016/2017, em relação ao tratamento calendarizado.

No momento de indicação de aplicação médio/alto, para todas as épocas de semeadura, foi observado que, se houver tanto condição de precipitação média, como na safra 2015/2016, como precipitação mais elevada, como na safra 2016/2017, a tendência do sistema é adiantar a indicação médio/alto como momento de aplicação, para estádios mais jovens da soja, com o atraso da época de semeadura. Isto ocorre pelo fato da data de emergência da cultura ser considerada como medida indireta de pressão de inóculo no sistema de pontuação proposto. Pelas respostas positivas de severidade e produtividade, esta medida indireta demonstra estar próximo da realidade. Segundo Del Ponte et al, (5) além da chuva, o progresso da doença é muito influenciado pela quantidade de inóculo inicial, o que explicou a variação observada na severidade da doença em semeaduras tardias no seu estudo, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

Em relação a precipitação acumulada, quando a mesma era baixa, como ocorreu na primeira safra, em épocas de semeadura até meados de dezembro, a tendência do sistema de pontuação foi atrasar a aplicação em relação ao tratamento calendarizado. Já, em épocas de semeadura tardia, e com um aumento de chuvas mesmo que não tão elevadas, as primeiras aplicações foram em momentos próximos aos estádios final do vegetativo e início do florescimento. Na safra 2015/2016, as severidades das testemunhas foram menores que na safra 2016/2017, principalmente das duas primeiras épocas, mas pelo contrário, a média de severidade observada nos tratamentos foi maior. Como as precipitações foram mais elevadas no final do ciclo da soja, propiciando um aumento

significativo no progresso da epidemia neste período, provavelmente ocorreu uma falta de residual no final do ciclo, dos tratamentos aplicados em estádios mais jovens e os tratamentos aplicados mais tardiamente ocasionaram menores severidades, mas ainda assim, com severidades elevadas. Neste caso, talvez fosse necessário mais uma aplicação de fungicida para se observar melhores resultados em relação à severidade e manutenção do inóculo em níveis baixos. No entanto, considerando a produtividade, a diferença entre os tratamentos foi superior, com maiores ganhos produtivos, do que o observado na segunda safra.

Em um ano com precipitações elevadas, desde os estádios iniciais, como observado na safra 2016/2017, a severidade das testemunhas foi elevada já nas primeiras épocas de semeadura, e a tendência do sistema foi adiantar as aplicações para estádios anteriores ao V7, sendo que os tratamentos apresentaram menor severidade. Mesmo com precipitações elevadas durante todo o ciclo, as severidades foram inferiores na segunda safra, indicando que, programas de controle realizados de forma com que se tenha uma construção de sanidade de planta, sob condição predisponente à ocorrência da doença, desde os estádios iniciais, levam a melhores resultados em relação à severidade e, talvez, sem a necessidade de mais uma aplicação fungicida. No entanto, os ganhos produtivos foram inferiores nesta safra, para os tratamentos baseados no sistema, quando comparado a safra 2015/2016, em função das precipitações serem regulares e auxiliarem na manutenção da produtividade da soja, mesmo com epidemia de ferrugem asiática.

Devido as melhores respostas terem sido obtidas pelos tratamentos baseados no sistema de pontuação, em anos chuvosos, é sugerido que os coeficientes atribuídos a precipitação estão corretos. Del Ponte et al, (2006a) confirmou que 85% da variação de máxima severidade da ferrugem asiática pode ser explicada pela precipitação, sendo que esta, contribui para o aumento da duração do molhamento foliar, redução da temperatura dentro do dossel, e liberação de uredósporos da urédia.

Em anos mais secos foi observado que o sistema de pontos pode não estar totalmente bem posicionado, em função de considerar peso elevado às chuvas, no entanto, ainda melhor posicionado e com melhores resultados, em relação às aplicações calendarizadas e levando a ganhos produtivos com o mesmo investimento econômico para o sojicultor. Em anos de precipitação elevada e chuvas regulares, foi obtido um posicionamento mais correto do sistema de pontuação, mantendo o inóculo mais baixo e menores severidades, com diferenças produtivas menores, mas ainda com ganhos para o

produtor. Na safra 2015/2016, foi obtido uma média de ganho do nível médio/alto, em relação ao estádio, ao redor de 5,0 sacos/ ha⁻¹ e na safra 2016/2017, de 3,5 sacos/ ha⁻¹.

De maneira geral, analisando o incremento produtivo de cada nível do sistema de pontuação, comparados ao tratamento com a primeira aplicação baseada no estádio fenológico da cultura, foi observado que, os maiores incrementos foram obtidos pelo tratamento com indicação no nível médio/alto, com uma média geral de 4,2 sacos/ha⁻¹, para as duas safras e as cinco épocas de semeaduras. Na época de novembro, o ganho médio deste tratamento foi de 4,8 sacos/ha⁻¹, nas épocas de dezembro, dentro da janela de semeadura, o ganho médio foi de 4,2 sacos/ ha⁻¹ e nas épocas tardias, fora da janela de semeadura recomendada, o ganho médio foi de 3,9 sacos/ ha⁻¹. Das dez situações estudadas, a aplicação baseada em estádio fenológico, não acarretou em maiores produtividades em nenhuma situação, indicando não ser um parâmetro adequado para determinar o início das aplicações fungicidas em diferentes épocas de semeadura e diferentes safras agrícolas.

Mesmo que, em algumas situações, outros níveis de risco tenham proporcionado em maior produtividade, podemos concluir que, utilizar o nível médio/alto como padrão de indicação de aplicação no sistema proposto, produz uma maior quantidade de acertos na determinação das aplicações fungicidas e, conseqüentemente, um ganho produtivo.

Apesar do fator safra ter apresentado interação significativa com os momentos de aplicação fungicida, foi observado um posicionamento melhor, das aplicações baseadas em um sistema de pontuação, nas duas safras estudadas, mesmo que o comportamento do progresso da epidemia tenha sido diferente.

O sistema de pontuação, com base nos fatores que predispõe a ocorrência de epidemias de ferrugem asiática, pode servir como ferramenta na tomada de decisão do momento da primeira aplicação fungicida na cultura da soja. Comparações específicas dos resultados obtidos, com outros trabalhos, não foram possíveis pelo fato desse estudo utilizar uma versão do sistema de pontuação único e exclusivo.

CONCLUSÕES

O sistema de pontuação proposto é viável para ser utilizado como indicador do nível de risco de ocorrência da ferrugem da soja. O nível de risco médio/alto é mais eficiente para a determinação da primeira aplicação fungicida. Novas variáveis podem ser incluídas no sistema proposto, no sentido de melhorar sua precisão. No entanto, para cada alteração, novas validações devem ser realizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badinelli, P.G.; Ogoshi, C.; Uhry Junior, D.F.; Zanon, A.J.; Waldow, D.A.G.; Menegal, E. Sistema de alerta da ferrugem asiática como ferramenta para o manejo sustentável da doença em terras baixas. Anais. Gramado: X Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado – CBAI, 2017. http://www.cbai2017.eventos.dype.com.br/conteudo/view?ID_CONTEUDO=392. 15 dez. 2018.
- Campbell, C.L.; Madden, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: John Wiley e Sons, 1990. 532 p.
- Carmona, M.; Sautua, F.; Perelman, S.; Gally, M.; REIS, E.M. Development and validation of a fungicide scoring system for management of late season soybean diseases in Argentina. Crop Protection, v.70, p.83-91, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.019>.
- Costamilan, L.M. et al. Evolução de ferrugem em quatro épocas de semeadura de soja. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v.30, p. 118, 2005.
- Del Ponte, E.M.; Godoy, C.V.; Li, X.; Yang, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. American Phytopathological Society, v.96. p.797-803. 2006a. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0797>.
- Del Ponte, E.M.; Godoy, C.V.; Canteri, M.G.; Reis, E.M.; Yang, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. Fitopatologia Brasileira, v.31, p.533-544, 2006b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582006000600001>.
- Ferreira, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium, v.6, p. 6-41, 2008.
- Garcés, F. R. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. Artículo de Revisión – Ciencia y Tecnología, v.4, n.2, p.45-60, 2011. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4149429.pdf>. 22 dez. 2018.
- Gardiano, C.G.; Balan, M.G.; Falkoski Filho, J.; de Camargo, L.C.M.; de Oliveira, G.M.; Igarashi, W.T.; Sudo, L.T.; Igarashi, S.; Abi Saab, O.J.G.; Canteri, M.G. Manejo químico da ferrugem asiática da soja, baseado em diferentes métodos de monitoramento. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v.77, n.3, p.497-504, 2010. <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000168407>. 20 dez. 2018.
- Godoy, C.V.; Koga, L.J.; Canteri, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean

rust severity. *Fitopatologia Brasileira*, v.31, p.63-68, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582006000100011>.

Igarashi, W.T.; França, J.A.; Silva, M. A.A.; Igarashi, S.; Abi Saab, O.J.G. Application of prediction models of asian soybean rust in two crop seasons, in Londrina, PR. *Semina: Ciências Agrárias*, v.37, n.5, p.2881-2890, 2016. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n5p2881>.

Juliatti, F. C.; Reis, E. M.; Occhiena, E. M.; Silva Júnior, J. L.; Moura, E. A. C.; Polizel, A. C. Validação de um modelo climático de alerta da ferrugem asiática da soja e determinação de danos baseados na incidência foliolar e severidade sob inoculação artificial. In: Reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil, 2016, Londrina. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, Fundação Meridional, Fundação Triângulo, D 08, p. 150-152, 2006.

Langenbach, C.; Campe, R.; Beyer, S.F.; Mueller, A.N.; Conrath, U. Fighting Asian Soybean Rust. *Frontiers in Plant Science*. Seattle, v.7, p.797, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00797>.

Lerner, M.A. Algoritmo para predição de risco de epidemia de *Phakopsora pachyrhizi* em soja. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. 79 p. Dissertação Mestrado. <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5165/LERNER,%20MAINE%20ALESSANDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 10 dez. 2018.

Melching, J.S.; Dowler, W.M.; Koogler, D.L.; Royer, M.H. Effect of duration, frequency, and temperature of leaf wetness period on soybean rust. *Plant Disease*, v.73, p.117-122, 1989.

https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1989Articles/PlantDisease73n02_117.PDF. 10 jan. 2019.

Melo, C.L.P.; Roese, A.D.; Goulart, A.C.P. Tolerância de genótipos de soja à ferrugem-asiática. *Ciência Rural*, v.45, n.8, p.1353-1360, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141309>.

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. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-3-0243>.

Nascimento, J.M.; Gavassoni, W.L.; Bacchi, L.M.A.; Oliveira, J.L.; Laborde, M.C.; Pontim, B.C.; Mendes, M.P. Manejo da ferrugem asiática da soja com aplicações de

fungicidas iniciadas na detecção do patógeno ou posteriores. *Revista Agrarian*, v.11, n.39, p. 42-49, 2018. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i39.4396>.

Oliveira, A.C.B.; Rosa, A.P.S.A. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. 1. Ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2014. 124p.

Reis, E.M.; Reis, A.C.; Zanatta, M. Reflexo econômico e desenvolvimento da resistência de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas em função do número de aplicações. *Summa Phytopathologica*, v.44, n.3, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/176382>.

Schmitz, H.F; Grant, R. H. Precipitation and dew in a soybean canopy: Spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, n.10, p.1621–1627, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.05.001>.

Yuen, J. e Mila, A. Landscape-Scale Disease Risk Quantification and Prediction. *Annual Review of Phytopathology*, v.53, p.22, 2015. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120406>.

Artigo 2

Influência da sensibilidade varietal a *Phakopsora pachyrhizi* sob um sistema de pontuação que indica o momento de aplicações fungicidas

*Conforme normas da revista Summa Phytopathologica

RESUMO

Atualmente a tomada de decisão do momento de aplicação fungicida, visando controle da ferrugem asiática, é feita empiricamente e uma alternativa seria o uso de sistemas de previsão da doença. Para que um sistema seja confiável e estável, ele deve propiciar respostas positivas independentemente da cultivar que está sendo utilizada. Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência da sensibilidade varietal à ferrugem asiática, a um programa de controle com aplicações indicadas por um sistema de pontuação que determina o nível de risco de ocorrência da doença. Foram realizados experimentos, em duas safras agrícolas, 2016/2017 e 2017/2018, com nove cultivares na primeira safra e quatro cultivares na segunda. Os tratamentos constituíram-se de diferentes momentos de aplicação fungicida, sendo: Testemunha, sem aplicação (T1), aplicações iniciadas no estágio fenológico da soja V7, seguida de aplicações em R1, 21 dias após a segunda e 15 dias após a terceira (T2), aplicações iniciadas quando o sistema de pontuação indicou nível de risco médio/alto (T3). Os resultados obtidos, da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e produtividade foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott Knott. O sistema de pontuação proposto, demonstrou estabilidade nos resultados nas diferentes cultivares, em uma época de semeadura considerada tardia, em duas safras agrícolas.

PALAVRAS – CHAVE: soja, ferrugem asiática, previsão

**Influence of varietal sensitivity on *Phakopsora pachyrhizi* under a scoring system
that indicates the timing of fungicidal applications**

ABSTRACT

At present, the decision making of the moment of fungicide application, aiming to control the Asian rust, is done empirically and an alternative would be the use of disease forecasting systems. For a system to be reliable and stable, it must provide positive responses regardless of which cultivar is being used. Therefore, the objective of this work was to verify the influence of varietal sensitivity to Asian rust, to a control program with applications indicated by a scoring system that determines the level of risk of occurrence of the disease. Experiments were carried out in two growing season, 2016/2017 and 2017/2018, with nine cultivars in the first and four cultivars in the second cropping season. The treatments consisted of different moments of fungicide application, being: Check, without application (T1), applications started at the soybean V7 phenological stage, followed by applications at R1, 21 days after the second and 15 days after the third (T2), applications started when the scoring system indicated medium / high risk level (T3). The results obtained from area under disease progress curve (AUDPC) and productivity were submitted to analysis of variance (ANOVA) and to the Scott Knott test. The proposed scoring system showed stability in the results in the different cultivars, in a sowing season considered late, in two agricultural crops.

KEY-WORDS: soybean, soybean rust, forecasting

INTRODUÇÃO

Devido a rápida perda de eficiência dos fungicidas utilizados no controle da ferrugem asiática da soja, outras estratégias de controle devem ser acrescentadas ao controle químico, para que as ferramentas atuais tenham maior longevidade possível. A utilização de cultivares com resistência parcial ao fungo é uma forma de manejo possível de ser aliada ao controle químico (7).

Devido à grande variabilidade e adaptabilidade de *Phakopsora pachyrhizi*, cultivares de soja com resistência total, são difíceis de serem conseguidas. Neste caso, a resistência parcial é muito mais durável e estável para este tipo de patógeno (11). Esse tipo de resistência é caracterizada pela redução da taxa da epidemia através da diminuição do número e tamanho das lesões, a diminuição da produção de urediniosporos e o aumento do período latente. Isso faz com que a população do patógeno seja reduzida, diminuindo a quantidade de inóculo produzida e a severidade final da doença (1, 19).

O controle da ferrugem asiática da soja pode ser realizado com a utilização integrada de um conjunto de estratégias que visem a redução da doença. O uso de cultivares que apresentem menor sensibilidade ao patógeno aliado com um número adequado de aplicação de fungicida, utilizados no momento correto, mostra-se como promissora para minimizar as perdas provocadas pela doença e a consequente preservação da eficiência dos produtos fungicidas existentes no mercado (16).

Atualmente, a definição do momento de aplicações fungicidas é realizada de forma empírica, sendo baseada em estágio fenológico da cultura, em dias após a emergência da cultura, ou ainda no critério “pré-fechamento de linha” tendo em vista a falta de ferramentas para tal determinação (17). Estes critérios, se considerados isoladamente, sem a observação das condições ambientais predisponentes a doença,

podem ocasionar aplicações fungicidas após a infecção do patógeno, ou ainda muito antes disso, tendo alguma aplicação desnecessária (14).

Uma alternativa para auxiliar na definição do momento das aplicações fungicidas, é o uso de sistemas, que combinando diferentes variáveis, possam prever o risco de ocorrência da epidemia de ferrugem asiática.

Para que um sistema de predição de risco seja confiável, ele deve propiciar respostas positivas, independentemente da cultivar que está sendo utilizada. Cordova et al. (4), estudando um sistema de previsão com base em variáveis ambientes, visando controle de antracnose e podridão do morangueiro, com dados de 39 locais em diferentes anos e diferentes cultivares, concluíram que o sistema em estudo era confiável para uso na maioria das cultivares de morangueiro, independentemente da localização e das condições ambientais da área. Entretanto, eles observaram que para uma cultivar muito sensível a antracnose, o manejo químico baseado no sistema de previsão foi inferior ao manejo com aplicações calendarizadas.

De forma semelhante, Jarroudi et al. (10), estudando um sistema de previsão de doenças, em diferentes cultivares de trigo, ao longo de 10 anos, observou ganhos das aplicações baseadas no sistema, em relação ao calendarizado, nos diferentes locais e cultivares, mostrando a estabilidade do sistema. Em estudo recente, desenvolvendo e validando um sistema de pontuação para controle de manchas foliares em soja, Carmona et al. (2), utilizou duas safras agrícolas, com diferentes épocas de semeadura em cada uma e diferentes cultivares, para validar o sistema proposto. Os autores concluíram que o sistema gerou respostas positivas de rendimento nos diferentes cenários, apresentando, portanto, estabilidade.

No caso da ferrugem asiática da soja, poderia se esperar que, ao utilizar sistemas de previsão da doença para indicar o momento da aplicação fungicida, e que, se for

associado ao uso do sistema, a escolha de uma cultivar com menor sensibilidade ao fungo, pode ter ganhos produtivos mais significativos do que o uso em cultivares com maior sensibilidade.

O objetivo deste trabalho foi verificar a resposta de cultivares de soja, com diferentes níveis de sensibilidade à ferrugem asiática, a um programa de controle com aplicações indicadas por um sistema de pontuação que determina o nível de risco de ocorrência da doença.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de pontuação foi previamente desenvolvido e ajustado, no trabalho preliminar de Lerner (12) e baseia-se nas variáveis que predispõe a ocorrência da doença e o impacto epidemiológico de cada uma, sendo elas: data de emergência, e estágio fenológico da soja, precipitação acumulada (mm) e temperatura média do ar. Cada variável do sistema de pontuação recebeu um coeficiente de acordo com seu impacto na epidemia de ferrugem asiática de acordo com a tabela 1. Para determinação do score final, procedeu-se à multiplicação dos pontos para a situação em que se quer determinar o risco, de acordo com as observações atuais ou em dez dias anteriores ao dia em que se quer determinar o risco. Dependendo do resultado da combinação dos fatores, o sistema de pontuação determina quatro cenários possíveis: 0 - 300 pontos o risco é considerado baixo, 301-600 pontos o risco é considerado médio, 601-900 pontos o risco é considerado médio/alto e > 900 pontos o risco é considerado alto, de ocorrência de ferrugem asiática da soja. Foi previamente determinado que a indicação de nível de risco médio/alto seria a indicação padrão para início do programa de controle fungicida.

Os experimentos foram conduzidos nas safras agrícolas 2016/2017 e 2017/2018, nas instalações da estação experimental do Phytus Group, localizado no município de

Itaara, região central do Rio Grande do Sul, em latitude 29°35' S, longitude 53°48' W e altitude de 444m. A cultura da soja foi semeada em 23/12/2016 na primeira safra e 20/12/2017 na segunda safra, consideradas semeaduras tardias, para as condições do Rio Grande do Sul, visando a maior pressão da doença.

A semeadura foi realizada em sistema direto e o manejo de pragas e plantas daninhas, bem como todas as práticas necessárias para a proteção da cultura, foram realizadas conforme as recomendações técnicas para a cultura, exceto a aplicação de fungicidas (15).

O delineamento experimental foi blocos ao acaso e, na primeira safra, um bifatorial com um fator em faixas, sendo o fator A nove cultivares e o fator B três programas de controle, totalizando 27 tratamentos com quatro repetições cada. Na safra 2017/2018, em virtude da indisponibilidade de algumas cultivares, foi utilizado um bifatorial com um fator em faixas, sendo o fator A quatro cultivares e o fator B três programas de controle, totalizando 12 tratamentos com quatro repetições cada. Cada repetição constituiu-se de uma parcela de cinco fileiras, com 5,0 m de comprimento e 2,5 m de largura, equivalente a uma área de 12,5 m², sendo a área útil, considerada para as avaliações, as três fileiras principais, excluindo-se 50 cm de cada extremidade, totalizando uma área útil de 6 m².

Os tratamentos constituíram-se de diferentes momentos de aplicação fungicida, sendo: Testemunha, sem aplicação de fungicida (T1), aplicações calendarizadas iniciadas no estágio fenológico da soja V7, seguida de aplicações no estágio R1, 21 dias após a segunda e 15 dias após a terceira (T2), aplicações iniciadas quando o sistema de pontuação indicasse nível de risco médio/alto em todas as aplicações (T3).

As cultivares utilizadas na safra 2016/17 foram: BMX Ativa RR, NS 6700 IPRO, NS 5445 IPRO IPRO, NA 5909 RG, BMX Tornado RR, DM 5958 RSF IPRO,

M5947 IPRO, DM 6563 RSF IPRO e TMG 7062 IPRO e na safra 2017/18, as cultivares BMX Ativa RR, BMX Tornado RR, DM 5958 RSF IPRO e M5947 IPRO.

Estas cultivares foram escolhidas por expressarem diferentes taxas de progresso da doença e, por consequência, diferente sensibilidade à *Phakopsora pachyrhizi*, de acordo com trabalhos realizados na Estação Experimental do Phytus Group e dados não publicados.

Os fungicidas utilizados foram escolhidos de acordo com um programa de controle padrão e recomendado para manejo da resistência do patógeno. Foi utilizado o mesmo programa de controle para os dois tratamentos, sendo a 1º aplicação de Trifloxistrobina (60 g i.a/ha⁻¹) + Protioconazol (70 g i.a/ha⁻¹) + Óleo metilado de soja a 0,25% v/v, 2º aplicação de Fluxapiraxade (50,1 g i.a/ha⁻¹) + Piraclostrobina (99,9 g /i.a ha⁻¹) + Mancozebe (1125 g i.a/ha⁻¹) + Óleo mineral (0,5 L/ha⁻¹), 3º aplicação de Azoxistrobina (60,1 g i.a/ ha⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g i.a /ha⁻¹) + Mancozebe (1125 g i.a/ ha⁻¹) + Óleo mineral (0,6 L/ha⁻¹) e a 4º aplicação de Trifloxistrobina (60 g i.a/ha⁻¹) + Protioconazol (70 g i.a /ha⁻¹) + Óleo metilado de soja a 0,25% v/v.

As aplicações dos fungicidas foram realizadas com um pulverizador costal pressurizado por CO₂, munido de barra com quatro pontas de pulverização, utilizando pressão de trabalho de 30 psi, aplicando volume de calda de 150 L/ha.

As avaliações de severidade da doença foram realizadas a cada sete dias, a partir dos primeiros sintomas da doença, até a desfolha da planta, sendo avaliado separadamente o terço inferior, terço médio e superior. As notas representam a percentagem de tecido foliar atacado, obtido com auxílio da escala diagramática proposta por Godoy et al. (6). A partir dos resultados de severidade, foi calculada a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), segundo Campbell & Madden (1). Os resultados obtidos da AACPD e da produtividade foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott

Knott para a comparação múltipla de médias com 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar (3).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados meteorológicos (Figuras 1 e 2), na safra 2016/17, a média de precipitação acumulada durante o período de condução do experimento, foi superior a obtida na safra 2017/18, principalmente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Entretanto, em nenhuma das safras, houve ocorrência de déficit hídrico prolongado, sendo ambas condições favoráveis a ocorrência da ferrugem asiática. No entanto, observa-se que, na safra 2016/17, nos meses de dezembro e janeiro, as médias das temperaturas mínimas foram mais elevadas, quando comparadas ao mesmo período na safra 2017/18, o que pode explicar a ocorrência de uma epidemia mais tardia na segunda safra.

A análise de variância dos dados apresentou valores de F significativos para cultivares, programas de controle e a interação entre esses dois fatores, tanto para severidade, quanto para produtividade, nos dois anos de estudo. Em virtude do número de cultivares serem reduzidas na safra 2017/18, cada experimento foi analisado de forma independente.

Na safra 2016/17, de acordo com os resultados de AACPD descritos na Tabela 2, foi observado que, para todas as cultivares, os tratamentos com fungicidas reduziram significativamente a severidade da doença quando comparados ao tratamento testemunha sem aplicação. A primeira aplicação, indicada pelo sistema de pontuação, ocorreu aos 35 dias após a emergência, quando as plantas de soja se encontravam entre o final do estágio V7 e início do estágio V8.

Em relação as diferenças entre cultivares, considerando o tratamento sem aplicação, foi observado que, todas as cultivares diferiram entre si, indicando os diferentes

níveis de sensibilidade ao patógeno, com exceção das cultivares NA 5909 RG e M5947 IPRO, que não diferiram significativamente. Quando utilizado o tratamento fungicida, as diferenças entre elas diminuíram, indicando algumas respostas semelhantes ao uso de controle químico, tanto para o tratamento com aplicações calendarizadas quanto para o uso do sistema de pontuação indicando aplicações.

Para as cultivares com maior sensibilidade ao patógeno, que apresentaram maiores valores de AACPD nas parcelas sem aplicação, (BMX Ativa RR, NS 6700 IPRO, NS 5445 IPRO IPRO, NS 5909 RG e M5947 IPRO) a resposta ao tratamento com indicação de aplicação no nível de risco médio/alto, foi significativamente superior ao tratamento calendarizado. A mesma resposta ocorreu para a cultivar DM 5958 RSF IPRO. Para as demais cultivares, consideradas medianamente sensíveis ou tolerante (TMG 7062), não houve diferença significativa entre os tratamentos calendarizado e com base no sistema de pontuação, embora, analisando dados brutos, este último tenha apresentado menores valores de AACPD.

De acordo com os resultados de produtividade da safra 2016/17 (tabela 3), foi observado que, para todas as cultivares, os tratamentos fungicidas propiciaram incremento produtivo significativo quando comparados a testemunha sem aplicação.

Em relação aos resultados de produtividade para cada cultivar, para o tratamento testemunha, não houve a mesma tendência de diferenças entre elas, como observado nos dados de AACPD. Algumas cultivares que foram significativamente diferentes em relação a severidade, nas parcelas testemunhas, foram semelhantes em relação a produtividade. Por exemplo, as cultivares BMX Ativa e TMG 7062, sendo a primeira, a cultivar mais sensível ao patógeno e a última, a cultivar com menor sensibilidade, sendo que ambas, não diferiram entre si na produtividade.

Houve incrementos produtivos significativos no tratamento indicado pelo sistema de pontuação, em comparação ao calendarizado, tanto para as cultivares consideradas mais sensíveis (BMX Ativa RR, NS 6700 IPRO e NS 5445 IPRO), quanto para cultivares menos sensíveis, como a BMX Tornado RR e a TMG 7062 IPRO coreispondendo com os resultados da AACPD. Nas demais cultivares os tratamentos foram equivalentes.

Quando foi analisado os resultados dos tratamentos fungicidas, no tratamento com aplicações seguindo as indicações do sistema, de maneira geral, houve resposta semelhante ao observado na severidade, onde as cultivares mais sensíveis respondem com um maior incremento produtivo do que as menos sensíveis.

O maior ganho produtivo (Figura 3), foi obtido no tratamento com indicação do sistema, variando de 6,1 sacos/ha⁻¹ até 22 sacos/ha⁻¹, obtendo uma média de ganho produtivo, em relação ao tratamento testemunha, entre todas as cultivares, de 13,1 sacos/ha⁻¹, enquanto a média de ganho produtivo do tratamento calendarizado foi de 8,3 sacos/ha⁻¹.

Houve uma tendência de aumento do ganho produtivo do tratamento com indicação do sistema de pontuação em relação ao calendarizado para as cultivares com maior severidade, diminuindo a diferença de ganho entre os dois tratamentos para as cultivares com menor severidade, sendo em torno de 7 sacos/ha⁻¹ na média, para as três cultivares que apresentaram maior severidade (BMX Ativa RR, NS6700 IPRO e NS 5445 IPRO IPRO) e ao redor de 3,5 sacos/ha⁻¹ para o restante das cultivares.

Na safra 2017/18 o comportamento das cultivares, em relação a severidade da ferrugem asiática, foi muito semelhante a safra anterior, embora com valores menores, em função da epidemia da ferrugem asiática ter sido mais lenta e ter seu avanço acelerado somente no final do ciclo.

De acordo com a AACPD (Tabela 4), a cultivar BMX AtivaRR foi novamente a que apresentou maior sensibilidade ao patógeno, sendo significativamente inferior as demais, nas parcelas testemunhas. As cultivares M5947 IPRO e BMX Tornado RR não diferiram entre si, mas apresentaram maiores severidades do que a cultivar DM 5958 RSF IPRO, que foi a de menor sensibilidade, neste experimento.

Nos diferentes momentos de aplicação fungicida, o tratamento baseado no nível de risco médio/alto, do sistema de pontuação, foi significativamente superior ao calendarizado, tanto na cultivar mais sensível, BMX Ativa, quanto na cultivar de menor sensibilidade, a DM 5958 RSF IPRO. Já nas cultivares M5947 IPRO e BMX Tornado RR, não houve diferenças significativas entre os dois momentos de aplicação.

Considerando os dados de produtividade (Tabela 5), foi observado incremento produtivo significativo, para todas as cultivares, dos tratamentos com aplicação fungicida, em relação aos tratamentos testemunhas. Dentre estas, a maior produtividade foi obtida pela cultivar DM 5958 RSF IPRO, seguida da cultivar BMX Ativa RR, que mesmo com maiores severidades da doença, obteve produtividade superior às cultivares M5947 IPRO e BMX Tornado RR.

Comparando os dois momentos de aplicação fungicida, houve diferença significativa do tratamento baseado no sistema de pontuação, em relação ao calendarizado, somente na cultivar DM 5958 RSF IPRO, não sendo obtidas diferenças significativas nas demais. Entretanto, em dados brutos, o tratamento baseado no nível de risco médio/alto foi superior, na cultivar BMX Ativa RR e inferior na cultivar M5947 IPRO.

De acordo a figura 4, o ganho produtivo observado em cada tratamento, na média das quatro cultivares, o tratamento baseado no sistema de pontuação obteve ganhos de

13,4 sacos/ha⁻¹ e o tratamento calendarizado 12,2 sacos/ha⁻¹, em relação a testemunha sem aplicação.

Nas duas safras estudadas, a cultivar BMX Ativa foi a que apresentou maior severidade de ferrugem asiática, e também a que apresentou redução de 79% na AACPD pelo uso do controle químico, na média dos dois momentos de aplicação, em relação a testemunha.

Em relação a produtividade, a mesma tendência foi observada, sendo as cultivares mais sensíveis as que apresentaram maiores ganhos produtivos em média, quando realizado controle químico. Harrington (9), afirmou que o uso de fungicidas em soja gerou maior retorno produtivo em soja, quando doenças foliares estavam presentes. O mesmo foi observado por Wegulo et al. (20), com maior retorno produtivo em epidemias severas. Corroborando com estes resultados, Siqueri et al. (18), comparando diferentes tratamentos fungicidas, em uma cultivar de soja com menor sensibilidade ao patógeno, com tecnologia Inox, e uma cultivar convencional, com maior sensibilidade, observou ganho produtivo, em relação aos tratamentos testemunhas, muito superiores, quando realizado controle químico na cultivar mais sensível, em comparação a cultivar menos sensível.

Resultados muito semelhantes foram obtidos por Grichar (8), estudando o uso de fungicidas em soja, com baixa pressão de ferrugem asiática, observou retorno produtivo positivo em somente 13% dos casos, comparando com situações sem aplicação. Corroborando com estes resultados, Jarroudi et al. (10), estudando doenças da cultura do trigo, observaram que, em geral, quando ocorreu condições desfavoráveis ao progresso da epidemia ou cultivares com resistência parcial, a probabilidade de um retorno líquido de produtividade positivo, devido à aplicação de fungicida, foi reduzida. Já com

epidemias severas das doenças, a probabilidade de um retorno líquido positivo, em função da aplicação fungicida foi maior.

Algumas cultivares que foram significativamente diferentes em relação a severidade, nas parcelas testemunhas, foram semelhantes em relação a produtividade. Isto indica que, mesmo em condições agressivas de ferrugem asiática, algumas cultivares conseguiram manter os mesmos níveis de produtividade ou até superior ao de cultivares com menor severidade. Os estudos de Melo et al. (13) e Garcia et al. (5), corroboram com estes resultados, que indicam a tolerância de algumas cultivares de soja, com reduzida queda de produtividade em condições de estresse pela ferrugem asiática, em função de fatores genéticos e rusticidade dos materiais.

CONCLUSÕES

O sistema de pontuação proposto demonstrou estabilidade mesmo quando aplicado em diferentes cultivares, época de semeadura tardia, e em duas safras agrícolas. Em cultivares com maior severidade, houve maior potencial de dano de produtividade, e o sistema de pontuação proposto é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão para aplicações fungicidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bedin, C.; Mendes, L.B.; Trecente, V.C.; Lopes, R.L.B.; Bosquê, G.G. Técnicas disponíveis para o controle da ferrugem asiática na cultura da soja. **Revista científica eletrônica de agronomia**, ano VII, n.12, 2007.
2. Carmona, M.; Sautua, F.; Perelman, S.; Gally, M.; REIS, E.M. Development and validation of a fungicide scoring system for management of late season soybean diseases in Argentina. **Crop Protection**. Surrey, v.70, p.83-91, 2015.

3. Ferreira, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.
4. Cordova, L.G.; Madden, L.V.; Amiri, A.; Schnabel, G.; Peres, N. A. Meta-Analysis of a Web-Based Disease Forecast System for Control of Anthracnose and Botrytis Fruit Rots of Strawberry in Southeastern United States. **Plant Disease**, Saint Paul, n.101, p.1910-1917, 2017.
5. Garcia, C.F.F.; Campos, H.D.; Barroso, A. L. L.; Simon, G. A. Comportamento de diferentes genótipos de soja à aplicação de fungicida para o controle da ferrugem asiática. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.11, n.03, p.286-297, 2018.
6. Godoy, C.V.; Koga, L.J.; Canteri, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, p.63-68, 2006.
7. Godoy, C.V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2017/2018: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Circular técnica**. Embrapa Soja, Londrina, n.138, 2018.
8. Grichar, W.J. Soybean (*Glycine max* L.) Response to Fungicides in the Absence of Disease Pressure. **International Journal of Agronomy**, New York, p.1-5,2013.
9. Harrington, J. Foliar fungicides for soybeans increase yield potential. In **APS Crop Protection and Management Collection**. Saint Paul, 2009. Disponível em: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/news/2009/FoliarFungicides2/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
10. Jarroudi, M.E.L.; Kouadio, L.; Beyer, M.; Junk, J.; Hoffmann L.; Tychon, B.; Maraite, H. Bock, C.H. Delfosse, P. Economics of a decision–support system for managing the main fungal diseases of winter wheat in the Grand-Duchy of Luxembourg. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.172, p.32–41, 2015.

11. Juliatti, F.C.; Borges, E.N.; Passos, R.R.; Caldeira Júnior, J.C.; Juliatti, F.C.; Brandão, A.M. Doenças da soja. **Cultivar**, Pelota, v.47, p.3-14, 2003.
12. Lerner, M.A. Algoritmo para predição de risco de epidemia de *Phakopsora pachyrhizi* em soja. 2016. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
13. Melo, C.L.P.; Roesse, A.D.; Goulart, A.C.P. Tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1353-1360, 2015.
14. 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**, Saint Paul, v.93, p.243-248. 2009.
15. Oliveira, A.C.B.; Rosa, A.P.S.A. **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. 1. Ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2014. 124p.
16. Polizel, A.C.; Menezes, P.C.; Silva, A.R.B.; Guimarães, S.L.; Silva, M.A.P. Teor de clorofila e severidade da ferrugem asiática em função de cultivares, aplicação de fungicida e época de semeadura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, 2011.
17. Reis, E.M.; Reis, A.C.; Zanatta, M. Reflexo econômico e desenvolvimento da resistência de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas em função do número de aplicações. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.44, n.3, 2018.
18. Siqueri, F.V.; Koch, C.; Oliveira, W.F.; Alves, L.C.F.; Oliveira, M.A.P. A nova cultivar Inox (TMG 803) em interação com o fungicida azoxystrobin & ciproconazole no controle da ferrugem asiática da soja. **Revista Biodiversidade**, Rondonópolis, v. 10, n. 1, 2011.
19. Wang, T.C.; Hartman, G.L. Epidemiology of soybean rust and breeding for host resistance. **Plant Protection Bulletin**, Yenimahalle v.34, p.109-149, 1992.

20. Wegulo, S.N., Zwingman, M.V., Breathnach, J.A., Baenziger, P.S. Economic returns from fungicide application to control foliar fungal diseases in winter wheat. **Crop Protection**, Surrey, n.30, p. 685–692. 2011.

Tabela 1. Descrição dos coeficientes atribuídos a cada variável do sistema de pontuação

Fatores de risco	Níveis do fator	Pontuação
Precipitação acumulada em 10 dias anteriores	1 a 25 mm	3
	26 a 50 mm	6
	51 a 75 mm	12
	> 75 mm	18
Temperatura mínima média em 10 dias anteriores	15°C a 25°C	2
	> 25°C	1
Data de emergência da Cultura	15/09 a 30/09	1
	01/10 a 15/10	2
	16/10 a 31/10	3
	01/11 a 15/11	4
	16/11 a 30/11	5
	01/12 a 15/12	6
	16/12 a 31/12	8
	01/01 a 15/01	10
	16/01 a 31/01	12
	01/02 a 15/02	14
	16/02 a 28/02	16
	01/03 a 15/03	18
16/03 a 31/03	20	
Estádio fenológico atual da cultura	V1 a V3	1
	V4 a V6	3
	V7 a Vn	7
	R1 a R3	11
	R4 a R5	15
	R5.1 a R5.5	19
	R6	23

Tabela 2. Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019.

Cultivar	Tratamentos		
	Testemunha	Calendarizado	Sistema de Pontuação
BMX Ativa RR	981,8 aA	241,7 bA	170,5 cA
NS 6700 IPRO	763,0 aB	163,3 bB	82,3 cB

NS 5445 IPRO	736,8	aC	113,8	bC	72,8	cC
NS 5909 RG	628,3	aD	88,4	bD	61,3	cC
M5947 IPRO	621,3	aD	69,3	bE	43,6	cD
BMX Tornado RR	591,5	aE	108,5	bC	92,2	bB
DM 5958 IPRO	533,8	aF	123,7	bC	68,1	cC
DM 6563 IPRO	484,8	aG	40,8	bF	22,9	bE
TMG 7062 IPRO	116,4	aH	13,5	bG	8,1	bE
CV (%)	5,95		11,33		5,32	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$).

Tabela 3. Produtividade (kg/ha^{-1}), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS. 2019.

Cultivar	Tratamentos					
	Testemunha		Calendarizado		Sistema de Pontuação	
BMX Ativa RR	2788,5	cB	3714,9	bA	4109,2	aA
NS 6700 IPRO	2894,4	cB	3234,3	bB	3794,8	aB
NS 5445 IPRO	3062,8	cA	3546,0	bA	3924,3	aA
NS 5909 RG	2722,7	bB	3048,9	aC	3274,5	aC
M5947 IPRO	2786,7	bB	3542,6	aA	3769,1	aB
BMX Tornado RR	3152,8	cA	3647,1	bA	3890,6	aA
DM 5958 IPRO	3288,6	bA	3521,0	aA	3653,6	aB
DM 6563 IPRO	3114,8	bA	3586,9	aA	3660,5	aB
TMG 7062 IPRO	2908,2	cB	3373,9	bB	3718,7	aB
CV (%)	5,48		8,91		4,75	

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$).

Tabela 4. Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2017/2018. Itaara/RS. 2019.

Cultivar	Tratamentos					
	Testemunha		Calendarizado		Sistema de Pontuação	
BMX Ativa RR	595,0	aA	115,5	bA	76,5	cB
M5947 IPRO	487,4	aB	37,2	bB	37,8	bC
BMX Tornado RR	485,6	aB	110,3	bA	103,3	bA

DM 5958 IPRO	359,6 aC	78,1 bC	45,9 cC
CV (%)	5,84	3,37	5,85

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$).

Tabela 5. Produtividade (kg/ha^{-1}), para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2017/2018. Itaara/RS. 2019.

Cultivar	Tratamentos		
	Testemunha	Calendarizado	Sistema de Pontuação
BMX Ativa RR	2730,2 bB	3556,6 aB	3726,7 aB
M5947 IPRO	2519,3 bC	3222,2 aC	3105,8 aC
BMX Tornado RR	2082,5 bD	3128,7 aC	3119,0 aC
DM 5958 IPRO	4237,0 cA	4582,7 bA	4842,2 aA
CV (%)	2,81	5,60	4,10

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$).

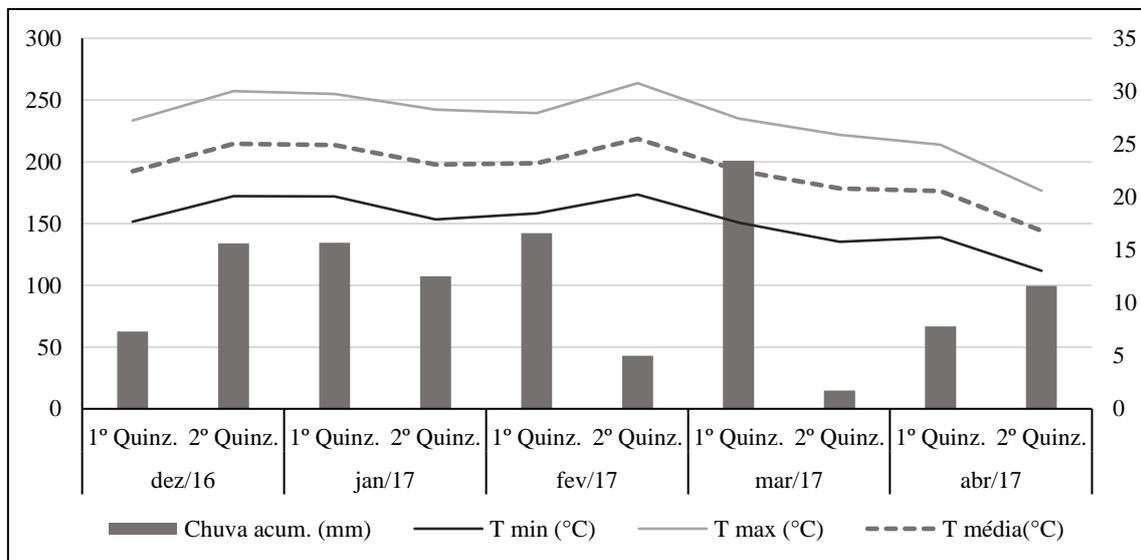


Figura 1. Variáveis meteorológicas observadas durante o período experimental na safra 2016/2017. Itaara/RS, 2019.

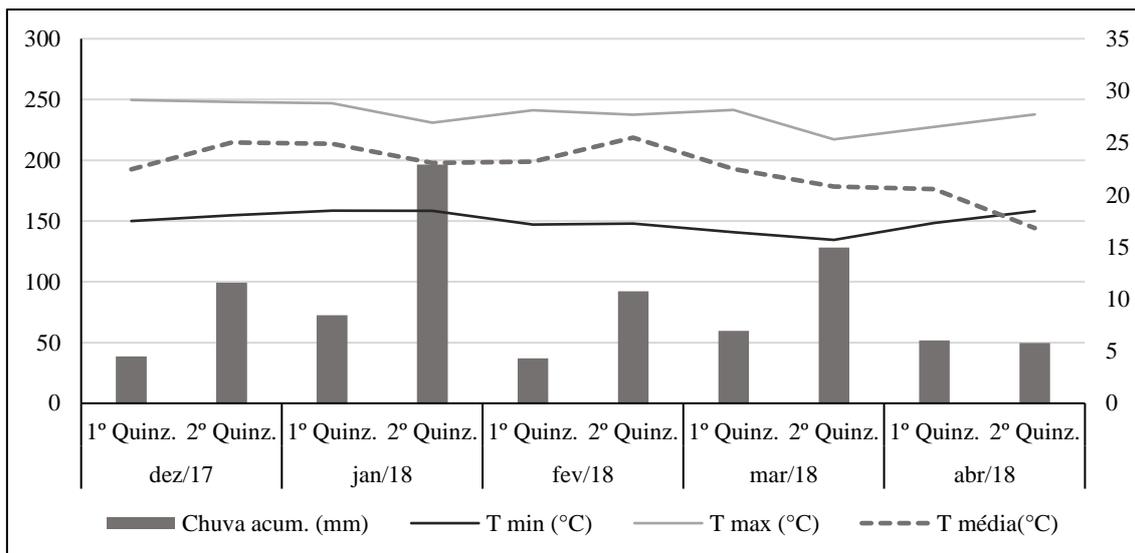


Figura 2. Variáveis meteorológicas observadas durante o período experimental na safra 2017/2018. Itaara/RS, 2019.

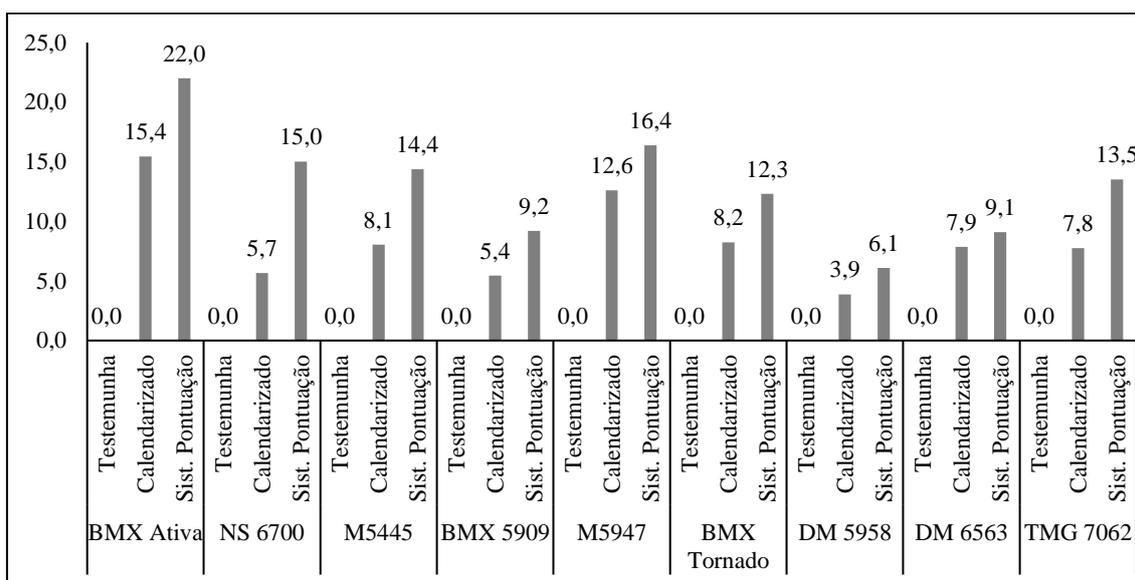


Figura 3. Ganho produtivo (Sacos/ha⁻¹), dos tratamentos em relação a testemunha, para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2016/2017. Itaara/RS, 2019.

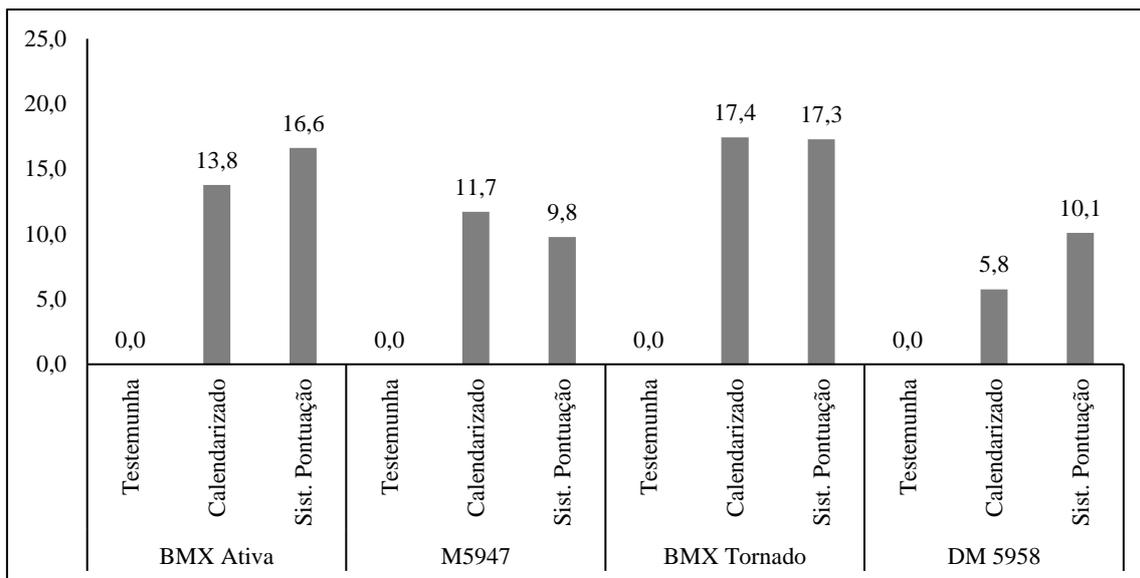


Figura 4. Ganho produtivo (Sacos/ha⁻¹), dos tratamentos em relação a testemunha, para as diferentes cultivares, na safra agrícola 2017/2018. Itaara/RS. 2019.

Artigo 3

Direção do vento e dispersão de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi*

*Conforme norma da Revista Brasileira de Ciências Agrárias

Resumo

O inóculo de *Phakopsora pachyrhizi*, pode ser transportado pelo vento e sua disseminação é possível durante todo o ano. Para o correto posicionamento das aplicações fungicidas, além das condições ambientais, deve-se ter informação da presença do inóculo no ar. Portanto, o objetivo deste trabalho foi monitorar a variação área de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* e identificar sua relação com a direção do vento, nos períodos de safra e entressafra do cultivo da soja. Foi instalada uma armadilha caça-esporos no município de Itaara, região central do Rio Grande do Sul, no período compreendido entre dezembro de 2015 e janeiro de 2019. As trocas das lâminas da armadilha foram feitas a cada sete dias em média. Foram feitas observações diárias da direção do vento e calculadas as frequências das direções oeste, norte e noroeste, bem como a velocidade do vento e precipitação. Os dados coletados, foram submetidos ao teste do Coeficiente de correlação de postos de Spearman. Foram realizadas simulações de trajetória de massas de ar através do modelo HYSPLIT. A precipitação pode ocasionar a deposição dos urediniósporos, dificultando a coleta por armadilha caça-esporos. As direções do vento norte e noroeste para região central do Rio Grande do Sul, podem servir de indicativo da presença de inóculo de ferrugem asiática no ar, durante todo o ano.

Palavras-chave: soja, ferrugem asiática, correlação

Wind direction and dispersion of urediniospores of *Phakopsora pachyrhizi*

Abstract

The *Phakopsora pachyrhizi* inoculum can be carried by the wind, its spread is possible throughout the year. For the correct positioning of the fungicide applications, in addition to the environmental conditions, information of the inoculum presence in the air is required. Therefore, the objective of this work was to monitor the urediniospores variation of *Phakopsora pachyrhizi* and to identify its relation with the direction of the wind, on the cropping season and off-season periods of soybean cultivation. A spore trap was installed in the municipality of Itaara, central region of Rio Grande do Sul, in the period from December 2015 to January 2019. The blades changes were made every seven days on average. Daily observations of wind direction were made and the frequencies of the west, north and northwest wind directions were calculated, as well as wind speed and precipitation. The data collected were submitted to the Spearman rank correlation coefficient test. Air mass trajectories were performed using the HYSPLIT model. The precipitation can cause the deposition of the uredospores, making difficult the collect by spore trap . The directions of the north and northwest wind to the central region of Rio Grande do Sul can be indicative of the presence of Asian rust inoculum in the air, throughout the year.

Key-words: soybean, soybean rust, correlation

INTRODUÇÃO

O controle químico da ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sidow & Sidow, ainda é a principal estratégia de manejo desta agressiva doença. No entanto, nas últimas safras agrícolas tem-se observado uma perda de eficácia significativa dos diferentes produtos fungicidas, tornando-os cada vez mais sensíveis ao momento das aplicações fungicidas (Godoy, et al., 2018).

Segundo Scherm et al. (2009), níveis muito baixos de severidade da doença, ao redor de 0,05%, poderiam ser tolerados antes da primeira aplicação, sem comprometer a eficácia do produto fungicida. A nível de campo se torna praticamente impossível identificar níveis tão baixos de doença, antes da primeira aplicação.

As epidemias de ferrugem asiática, que ocorrem em todo o mundo, podem ter duas origens: uma que necessita da dispersão de inóculo à longas distâncias a partir de uma área de origem, por não ter o fungo presente durante o ano todo e outra, onde a presença de hospedeiros e clima favorável possibilita a permanência do fungo durante o ano todo próximo as áreas de cultivo (Li et al., 2010). No caso do Brasil, Paraguai e Bolívia, as condições ambientais são favoráveis a sobrevivência do patógeno o ano todo, em grande parte do território, enquanto que, em países como Argentina e Estados Unidos é necessária a dispersão dos urediniosporos de áreas distantes dessas regiões (Godoy, 2016).

Segundo alguns autores, a intensidade da epidemia está diretamente ligada à quantidade de inóculo inicial, além da quantidade de umidade presente nas folhas, principalmente devido a precipitação pluvial (Canteri et al., 2007; Del Ponte et al, 2006; Minchio, 2011).

Uma das formas de se fazer a identificação da presença, ou ausência de inóculo inicial durante o período de cultivo, é o uso de armadilhas caça-esporos. Estudos sobre a utilização de métodos de monitoramento podem constituir-se uma ferramenta valiosa na decisão do controle químico da doença. (Gardiano, 2010; Isard, 2006; Zambolim, 2006). Existem diversos trabalhos relacionando condições ambientais ao risco de ocorrência da doença no Brasil. No entanto, nenhum deles considera em seus modelos a presença ou ausência de inóculo (Reis, 2004; Canteri et al., 2007; Del Ponte et al, 2006; Del Ponte; Esker, 2007; Reis, 2009; Reis & Casa, 2009). Para o correto posicionamento das aplicações fungicidas, além das condições ambientais, o ideal seria que os produtores tivessem alguma informação relacionada a presença do inóculo.

No entanto este tipo de monitoramento apresenta algumas dificuldades. A principal delas é a necessidade de pessoas treinadas a fazerem a leitura das lâminas e identificação dos urediniósporos coletados (Jackson e Bayliss, 2011; Seixas et al., 2018). Outra dificuldade é a que se refere a equipamentos, pois não é possível fazer a identificação de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* sem o auxílio de um microscópio ótico, equipamento este que não é comumente encontrado fora de laboratórios de pesquisa.

Com exceção do Rio Grande do Sul, treze estados brasileiros e o Distrito Federal, instituíram períodos chamados de vazios fitossanitários, onde não pode haver cultivo de soja no campo. O Paraguai aderiu esta prática no ano de 2011, realizando a pausa fitossanitária, de 1º de junho a 30 de agosto. No entanto, apesar destes períodos de vazios serem muito efetivos, alguns problemas interferem no seu pleno objetivo. Grande parte dos grãos de soja, principalmente da região centro-oeste brasileira, onde concentra-se a maior produção brasileira, são escoados via terrestre e a perda de grãos ao longo das rodovias é recorrente. Estes grãos dão origem a plantas voluntárias, que servem de hospedeiras do fungo *P. pachyrhizi* durante todo o ano. Além da manutenção de ferrugem asiática durante o ano todo dentro do país, o fungo permanece viável também em regiões do Paraguai e Bolívia e possui diversos hospedeiros alternativos (Godoy et al, 2014).

O inóculo de ferrugem asiática pode ser transportado pelo vento, a partir de seu ponto de origem, por centenas de quilômetros de distância. Portanto não há barreiras que impeçam sua disseminação ao longo de todo o ano (Rupe & Sconyers, 2008). Em virtude da dificuldade de mensuração da presença do inóculo diretamente por meio das armadilhas, uma alternativa é a determinação da direção do vento que está mais relacionada com a chegada dos urediniósporos. Esta determinação pode servir como alerta do risco de ocorrência da doença, somada às condições meteorológicas favoráveis.

No estado do Rio Grande do Sul, segundo o Atlas Eólico (2014), as mudanças de direção do vento estão frequentemente relacionadas com as passagens de sistemas frontais oriundos da Argentina e Polo Sul. Em ambos os sistemas ocorrem o predomínio dos ventos leste-nordeste sobre o estado, durante todo o ano, com ênfase em vento leste.

Na região onde situa-se Santa Maria, embora a direção predominante do vento, seja do quadrante leste, Heldwein et al. (2003) verificaram que as rajadas de vento forte mais frequentes são de direção norte e que os eventos que determinam a ocorrência dos ventos com direção norte, noroeste e nordeste muitas vezes ocorrem por vários dias. Já as rajadas com direção sul, sudoeste e sudeste geralmente se devem a eventos de curta

duração, como a passagem de uma linha de instabilidade ou da chegada de uma frente fria.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi monitorar a variação área de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* e identificar sua relação com a direção do vento, nos períodos de safra e entressafra do cultivo da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi instalada uma armadilha caça-esporos nas dependências da estação experimental do Phytus Group, localizada no município de Itaara, região central do Rio Grande do Sul, latitude 29°35' S, longitude 53°48' W e altitude de 444m. A área está inserida na região fisiográfica do Planalto Médio, e segundo a classificação de Köppen, a variedade climática é do tipo Cfa, caracterizada pela ocorrência de precipitações entre 1.700 e 1.800 milímetros anuais bem distribuídos em todos os meses e temperatura média do ar do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio entre e 3 e 18°C.

Os dados meteorológicos de direção e velocidade do vento utilizados foram obtidos através da plataforma online do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), provenientes da estação localizada no município de Cruz Alta – RS. A estação está a 427,0 metros de altitude e foi escolhida por ser a de altitude semelhante a área onde foi instalada a armadilha. Os dados de precipitação pluvial foram obtidos na estação meteorológica localizada dentro da área experimental do Phytus Group.

A armadilha caça-esporos utilizada foi construída com base no modelo criado pelo Dr. Seiji Igarashi em 1986 (Nota..., 2011). É constituída por um tubo cilíndrico de PVC, com abertura frontal de tamanho maior, em formato cônico, acoplado a uma haste de ferro, para fixação no solo. Na parte traseira da armadilha, há uma aleta que facilita o direcionamento da mesma em direção ao vento predominante. No interior do tubo de PVC há um espaço para instalação de uma lâmina de microscopia, feita de vidro, medindo 26mm x 76 mm e com espessura de 1 mm. Nesta lâmina foi colado um pedaço de fita adesiva dupla face, direcionando a parte adesiva para a abertura frontal da armadilha, de modo que, os urediniósporos que foram carregados pelo vento que entrou na armadilha, ficassem aderidos na fita adesiva.

A armadilha foi instalada na área no dia 17/12/2015 e permaneceu exatamente no mesmo local até a data de 05/01/2019, sem interrupções na coleta. Durante os períodos de verão, houve semeadura de soja na área e cultivo de trigo no inverno. Foi considerado o período de safra de outubro a janeiro e de entressafra, junho a setembro. Os dados

coletados, dos meses de fevereiro, março, abril e maio, não foram utilizados pelo fato de que, nestes meses, haviam epidemias de ferrugem asiática na área onde foi instalada a armadilha, o que poderia não justificar a vinda dos urediniósporos de longa distância.

A troca das lâminas da armadilha foi realizada semanalmente. Após retiradas, as lâminas eram levadas ao laboratório, onde foram realizadas as contagens do número de urediniósporos em 0,5 cm² da lâmina. A demarcação desta área para leitura foi feita sempre na parte central da lâmina. As leituras foram realizadas no Microscópio Biológico Binocular Nikon Eclipse E200 com 40 vezes de aumento.

A partir da instalação da armadilha o período de safra avaliado compreendeu 14 meses e 49 contagens e entressafra 12 meses e 46 contagens, conforme tabela 1. A caracterização da direção predominante do vento foi realizada para um período de dez dias anteriores a data da troca da lâmina. Foram feitas análises de duas observações diárias da direção do vento, realizadas as 00:00 horas e 12 horas, pela estação meteorológica. No total dos dez dias, obteve-se 20 observações de direções do vento, e procedeu-se o seguinte cálculo para determinação da frequência de ocorrência do vento:

$$f(x) = \frac{n}{N} \times 100 \text{ onde,}$$

f(x): frequência de ocorrência do vento em uma determinada direção;

n: número de ocorrências de uma determinada direção;

N: número total de observações.

Tabela 1. Período avaliado em cada safra e entressafra de cultivo da soja. Itaara/RS, 2019

SAFRA	Período avaliado
2015/2016	Dezembro e janeiro
2016/2017	Outubro, novembro, dezembro e janeiro
2017/2018	Outubro, novembro, dezembro e janeiro
2018/2019	Outubro, novembro, dezembro e início de janeiro
ENTRESSAFRA	
2016	Junho, julho, agosto e setembro
2017	Junho, julho, agosto e setembro
2018	Junho, julho, agosto e setembro

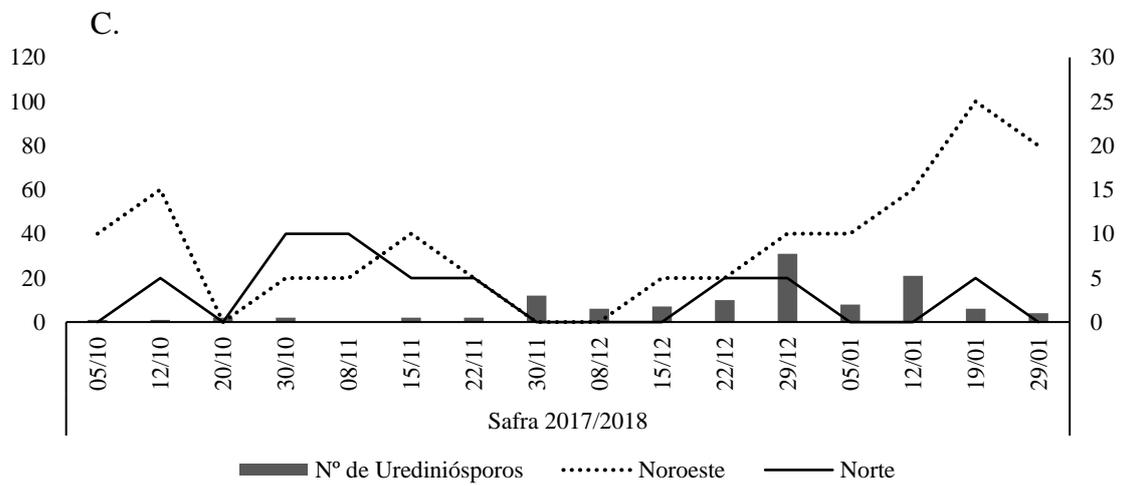
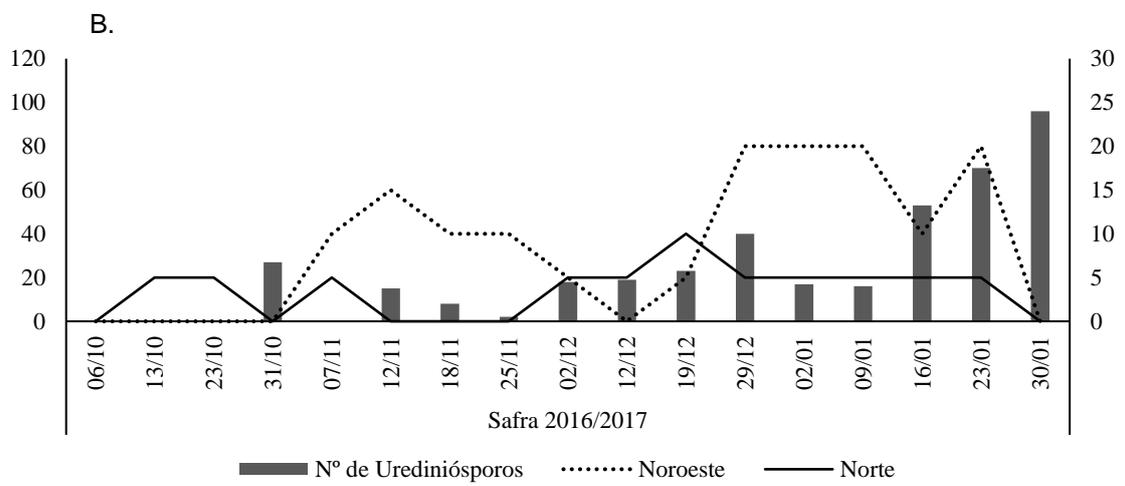
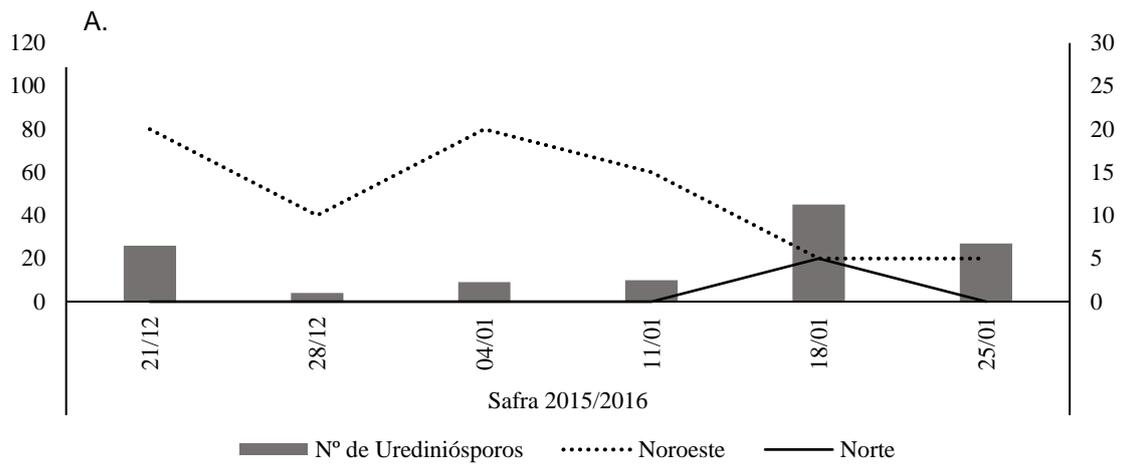
Foram avaliadas somente as direções de vento oeste, noroeste e norte, por serem estas direções vindas das regiões da Argentina, Paraguai, Bolívia, e Centro-Oeste Brasileiro, locais com incidência de ferrugem asiática.

Para os dados de velocidade do vento foram feitas análises de duas observações diárias da velocidade do vento, realizadas as 00:00 horas e 12 horas, pela estação meteorológica. Foram analisadas 20 observações de velocidade, dos dez dias anteriores a troca da lâmina. Foi calculada a frequência de velocidade do vento, conforme fórmula descrita acima, para dois intervalos de velocidade, entre 0 e 3 m/s e entre 3-5 m/s e para velocidade média do vento. Para os dados de chuva acumulada, foi utilizada a soma de precipitação ocorrida em dez dias anteriores a troca da lâmina da armadilha.

Os dados de frequência de direção do vento, frequência de velocidade do vento e precipitação coletados, foram submetidos ao teste de correlação de postos de Spearman, com auxílio do Programa Genes (Cruz, 2013), separadamente para período de safra e entressafra. Foram realizadas simulações de trajetória de massas de ar através do modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) (Stein et al., 2015), pertencente ao NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, a fim de identificar a possível rota dos urediniósporos captados na armadilha caça-esporos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Urediniósporos de *P. pachyrhizi* foram observados em praticamente todos os momentos avaliados, conforme figura 1. Do total de observações, entre períodos de safra e entressafra, foram detectados esporos em 80% delas, sendo que destas, ao redor de 58% foram observados no período de safra e 42% na entressafra. A média de número de urediniósporos coletados, por observação na safra, considerando também os períodos em que não houve coleta foi de 15,2 urediniósporos, enquanto que na entressafra foi de 5,5 em média. Mesmo com número reduzido, as observações do período de entressafra são significativas, e alertam para o fato de haver a presença de inóculo quase que constantemente, durante todo o ano. Considerando a média em cada um dos meses da safra, foi observado que, no mês de outubro a média de coleta foi de 5,6 urediniósporos, novembro foi de 7,7, dezembro foi de 17,0 e janeiro foi de 28,0 urediniósporos. Já para o período de entressafra, o número médio coletado foi de 9,9 para junho, 8,0 para julho, 1,6 para agosto e 2,2 urediniósporos em setembro.



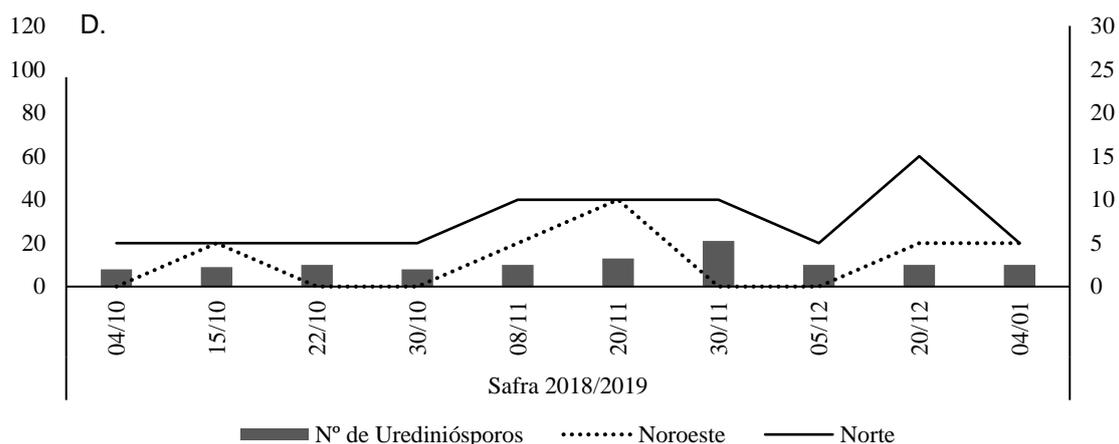


Figura 1. Relação entre o número de urediniósporos e a frequência da direção do vento noroeste e norte para safra 2015/2016 (A), 2016/2017 (B), 2017/2018(C) e 2018/2019 (D). Itaara/RS, 2019

Na safra 2015/2016 (Figura 1A), após a armadilha ter sido instalada na área, foram observados urediniósporos em todos os momentos avaliados, com quantidades mais elevadas a partir da segunda quinzena de janeiro. Na safra 2016/2017, (Figura 1B) não foi observada a presença de urediniósporos no ar, do início de outubro até 23 de outubro e na data de 07/11, no restante das avaliações, em todos os momentos foram observados urediniósporos. Nesta safra, foram observadas quantidades mais elevadas de urediniósporos no ar, já a partir do início de dezembro, com picos ainda superiores na segunda quinzena de janeiro.

Na safra 2017/2018 (Figura 1C), a partir do início de outubro haviam urediniósporos de *P. pachyrhizi* no ar, em pequenas quantidades, aumentando a partir do final de dezembro, no entanto com quantidades inferiores a safra anterior. Na safra 2018/2019 (Figura 1D), foram observados urediniósporos a partir do início de outubro, com quantidades superiores, em comparação as duas safras anteriores. Em todas as avaliações, até início de janeiro, urediniósporos foram identificados.

De acordo com os resultados de correlação, para todo o período de safras de forma conjunta, (Tabela 2), não houve correlação significativa para nenhuma das variáveis, em relação ao número de urediniósporos avaliado. Essa ausência de correlação pode ser devido aos dados de direção e velocidade do vento serem realizadas em apenas duas observações diárias, havendo a probabilidade de ocorrer condições favoráveis à dispersão dos urediniósporos em outros momentos do dia, não captadas pelos sensores. Outra dificuldade pode ser em relação as coletas, pelo fato das lâminas serem trocadas somente de sete em sete dias e não haver a definição do dia exato, dentro desse período, da chegada dos urediniósporos.

Tabela 2. Coeficiente de Correlação de Spearman para o período de safra. Itaara/RS, 2019

	NºUred.	Oeste	Noroeste	Norte	Vel.méd	0-3m/s	3-5m/s	Chuva
NºUred.	1,00	-0,27	0,14	0,35	-0,14	0,02	-0,18	-0,04
Oeste	-0,27	1,00	0,20	-0,08	-0,22	0,15	0,39	0,07
Noroeste	0,14	0,2	1,00	-0,13	0,06	0,20	0,21	0,51**
Norte	0,35ns	-0,08	-0,13	1,00	0,05	0,30	0,18	0,11
Vel.méd	-0,14	-0,22	0,06	0,05	1,00	0,01	0,24	0,07
0-3m/s	0,02	0,15	0,20	0,30	0,01	1,00	-0,66*	0,00
3-5m/s	-0,18	0,39	0,21	0,18	0,24	-0,66*	1,00	0,43
Chuva	-0,04	0,07	0,51**	0,11	0,07	0,00	0,43	1,00

*Coeficiente significativo a 5% de probabilidade. NºUred. = Número de urediniósporos; Oeste= Frequência de direção de vento oeste; Noroeste= Frequência de direção de vento noroeste; Norte= Frequência de direção de vento norte; Vel.méd = Velocidade média do vento; 0-3m/s= Frequência de vento com velocidade entre 0 e 3 m/s; 3-5m/s= Frequência de vento com velocidade entre 3 e 5 m/s; Chuva= Chuva acumulada em mm.

A direção do vento oeste apresentou correlação negativa, indicando que, quanto maior sua frequência, menor foi o número de urediniósporos coletados. Para as direções de vento noroeste e norte, apesar de não ter havido correlação significativa, a correlação foi positiva, indicando que, quanto maior a ocorrência de ventos nestas direções, maiores serão os números de urediniósporos coletados

Outro ponto a ser discutido é em relação a velocidade do vento, tanto a velocidade média, quanto a frequência de velocidade entre 3 e 5 m/s, apresentaram correlação negativa, indicando que, quanto maior a velocidade do vento, menor o número de urediniósporos. Os coeficientes de correlação observados, foram de -0,14 para velocidade média e -0,18 para frequência de vento entre 3 e 5 m/s. Para os dados de precipitação acumulada, embora com coeficientes de correlação próximo a zero (-0,04), houve tendência de correlação negativa também. Corroborando com estes resultados, Zauza, et al. (2014), avaliando a dispersão aérea de urediniósporos de *Puccinia psidii*, causador da ferrugem do eucalipto, observou correlação negativa significativa, da velocidade do vento com o número de urediniósporos coletados, com coeficiente de Spearman de -0,11. Uma correlação negativa também foi observada com a precipitação acumulada em 10 horas antes da coleta pela armadilha, com coeficiente de -0,77. O baixo coeficiente de correlação para a precipitação acumulada, pode ser devido ao fato dos dados compreenderem o período de dez dias anteriores a coleta da armadilha, período muito diferente do praticado por Zauza et al. Talvez para esta variável, o período avaliado deva ser menor, por exercer influência na deposição dos esporos que estão no ar.

Quando observado graficamente, a direção do vento noroeste e norte com os dados do número de urediniósporos, os eventos de vento noroeste parecem ser mais

correlacionados com a presença de urediniósporos, embora, em termos de correlação, o vento norte tenha apresentado um coeficiente maior. No período de 21/12/15 a 11/01/16 não foi observada nenhum evento de vento norte e a presença de urediniósporos foi observada, em contrapartida, no mesmo período foi observada alta frequência de vento noroeste. No período de 06/10/16 a 23/10/16 não houveram eventos de vento noroeste e não foi observada presença de urediniósporos no ar, mesmo com frequência de vento norte. Na mesma safra, nas datas de 12/11 a 25/11 não houveram ocorrências de vento norte, houve alta frequência de vento noroeste e a presença de urediniósporos foi observada. Na safra 2017/18, nos períodos de 30/11 a 15/12 e 05/01 e 12 /01, não foram observados eventos de vento norte e a presença de urediniósporos foi detectada, bem como a alta frequência de vento noroeste.

A safra 2018/19, foi a que apresentou maior frequência de vento norte, de forma homogênea e a não ocorrência de vento noroeste em alguns momentos, mesmo havendo presença de urediniósporos no ar.

Se forem comparadas as safras 2016/17 e 2017/18, onde tem-se o mesmo período de avaliações, foi observado que, o número de urediniósporos, a partir de meados de dezembro, é muito superior na primeira safra do que na segunda. Foi observado maiores frequências de ventos noroeste, superiores a 10%, na primeira safra quando comparado com a segunda, bem como uma maior frequência de ventos norte, o que ocasionou picos muito superiores de esporos, a partir do mês de dezembro, na primeira safra.

Para os dados de correlação para a direção de vento noroeste, no período de safra, a frequência de vento com velocidade entre 3 -5 m/s e a chuva acumulada apresentaram coeficiente de correlação positivo, sendo que a chuva obteve correlação significativa, com coeficiente de 0,51. Isso significa que, quanto mais aumentam estes eventos, maior é a frequência de vento noroeste. No entanto, estas mesmas variáveis, apresentaram correlação negativa em relação ao número de urediniósporos. Portanto, subentende-se que, estas variáveis podem estar ocasionando a não coleta de urediniósporos, mesmo com eventos de vento noroeste ocorrendo. Alguns autores relatam que, eventos de precipitação favorecem a deposição de urediniósporos, por ter potencial de remover os esporos do ar e depositar no hospedeiro, o que dificultaria a coleta por armadilhas. Um total de precipitação de 25,4 mm pode resultar em uma deposição de 63,2% dos urediniósporos presentes no ar (Isard et al. 2005; Isard et al., 2011).

Para os resultados da análise de correlação para o período de entressafra (Tabela 3), foram observados coeficientes muito baixos, próximo a zero, não sendo possível

determinar através do coeficiente qual a direção do vento que exerceu maior influência. Para a variável de velocidade média do vento, novamente foi observada correlação negativa, embora não significativa, em relação ao número de urediniósporos. Já para a variável de frequência do vento com velocidade entre 3-5 m/s, diferentemente do período de safra, houve correlação positiva significativa com o número de urediniósporos. Para a variável chuva acumulada, embora sem correlação significativa, foi obtido um coeficiente positivo também (0,13).

Tabela 3. Coeficiente de Correlação de Spearman para o período de entressafra. Itaara/RS, 2019

	NºUred.	Oeste	Noroeste	Norte	Vel.méd	0-3m/s	3-5m/s	Chuva
NºUred.	1,00	0,02	0,02	0,01	-0,31	0,05	0,67*	0,13
Oeste	0,02	1,00	0,44*	0,01	-0,04	0,04	0,18	0,06
Noroeste	0,02	0,44*	1,00	0,17	-0,08	0,24	0,78**	-0,18
Norte	0,01	0,01	0,17	1,00	-0,21	0,10	-0,54	-0,14
Vel.méd	-0,31	-0,04	-0,08	-0,21	1,00	-0,54**	0,14	0,17
0-3m/s	0,05	0,04	0,24	0,10	-0,54**	1,00	-0,51*	-0,36*
3-5m/s	0,67*	0,18	0,78**	-0,54	0,14	-0,51*	1,00	-0,22
Chuva	0,13	0,06	-0,18	-0,14	0,17	-0,36*	-0,22	1,00

*Coeficiente significativo a 5% de probabilidade. NºUred. = Número de urediniósporos; Oeste= Frequência de direção de vento oeste; Noroeste= Frequência de direção de vento noroeste; Norte= Frequência de direção de vento norte; Vel.méd = Velocidade média do vento; 0-3m/s= Frequência de vento com velocidade entre 0 e 3 m/s⁻¹; 3-5m/s⁻¹= Frequência de vento com velocidade entre 3 e 5 m/s⁻¹; Chuva= Chuva acumulada em mm.

De acordo com a figura 2, foi observado que não foram coletados urediniósporos de 25/08/ a 29/09/, para a entressafra 2016 (Figura 2A), de 11 a 31/08 e em 19/09, para a entressafra 2017 (Figura 2B) e em 07, 14 e 27/07 e 13/08, para a entressafra 2018 (Figura 2C), representando somente 30% do total de observações, sem a presença de urediniósporos. Como nenhuma direção do vento se sobressaiu, são apresentadas nos gráficos as três direções estudadas. Analisando os casos onde houve coleta de urediniósporos, em cinco deles não houve vento com direção oeste, em oito não houve vento com direção noroeste e em 13 não houve vento norte. Quando foram coletados dez ou mais urediniósporos, considerado aqui como um número elevado para período de entressafra, houve vento com direção oeste em todas as observações e vento com direção noroeste e norte em 77% delas.

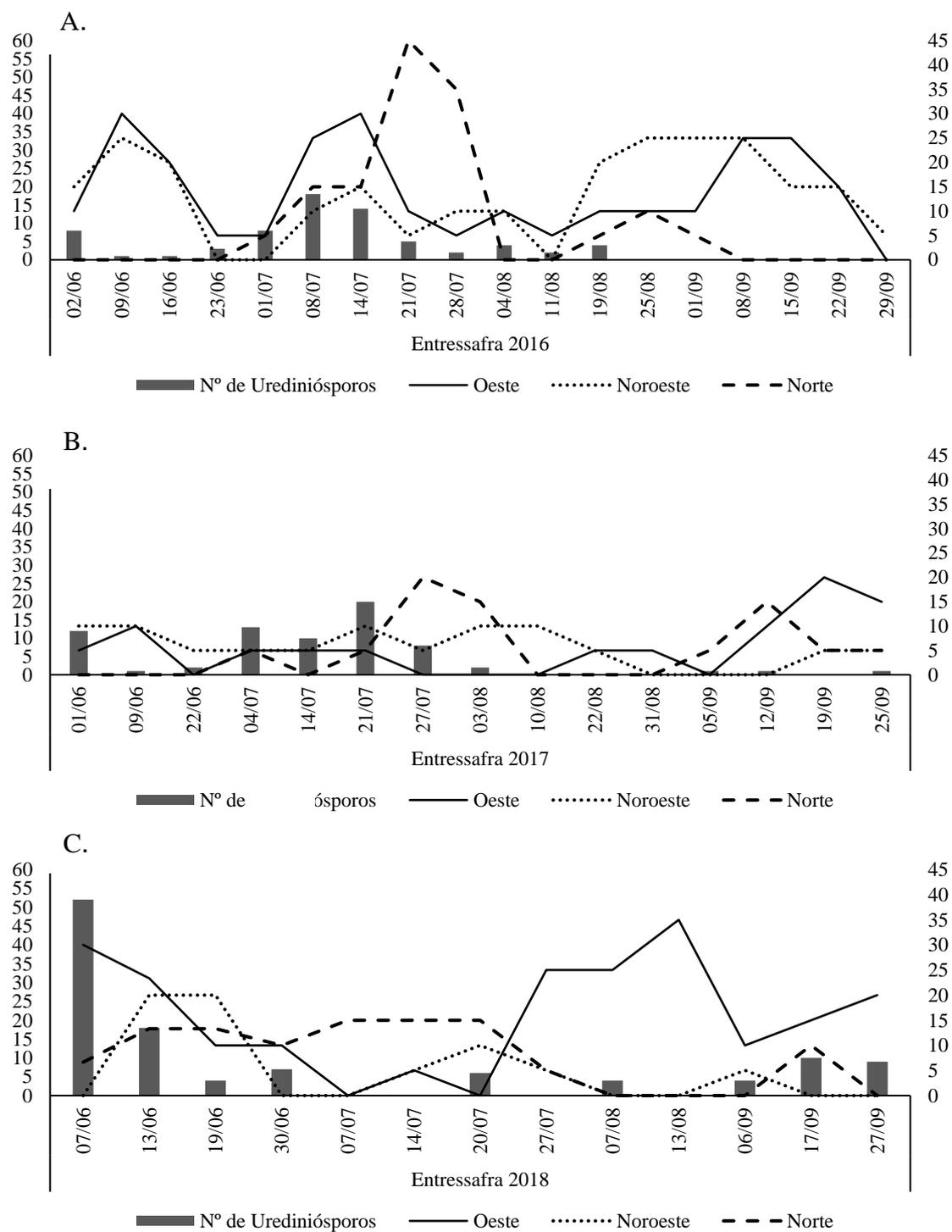


Figura 2. Relação entre o número de urediniósporos e a frequência da direção do vento noroeste e norte para 2016 (A), 2017 (B) e 2018 (C) cada período de entressafra. Itaara/RS, 2019

Na figura 3, são analisados dados de duas safras agrícolas, com período completo de observações do número de urediniósporos, bem como a precipitação acumulada ocorrida nos dez dias anteriores a cada troca da lâmina da armadilha caça-esporos. Considerando uma semeadura de dez de dezembro, com a cultivar BMX Tornado, na

mesma área experimental onde estava instalada a armadilha, em ambas as safras, foi detectado o primeiro sintoma visível de ferrugem asiática, na data de 13/01/2017 para a safra 2016/17 e 30/01/2018 para a safra 2017/2018 (dados não publicados). Foi observado que, quando houve altos índices de precipitação acumulada, ocorreu a diminuição do número de urediniósporos coletados.

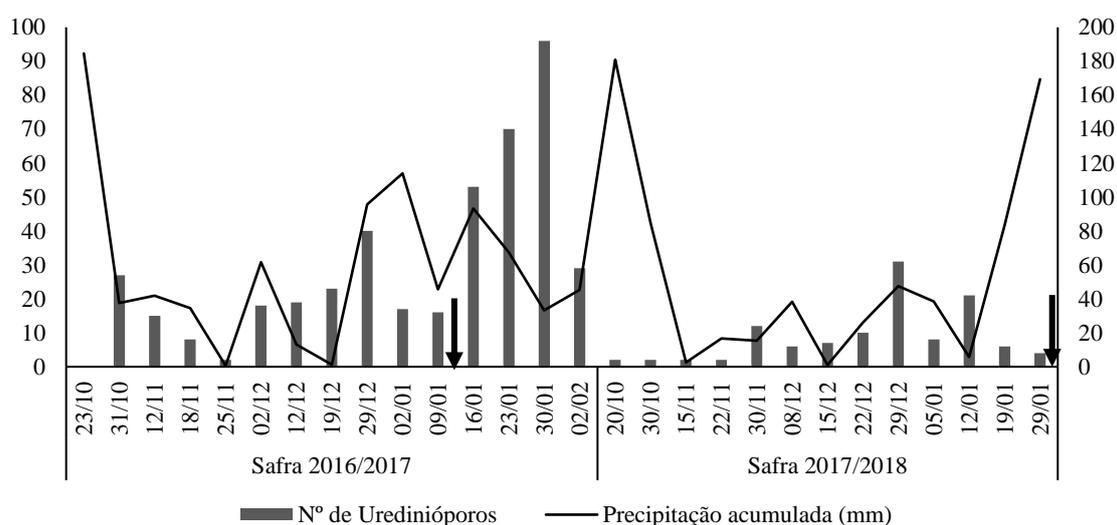


Figura 3. Número de urediniósporos, precipitação acumulada (mm) e data do primeiro sintoma visível (flechas) para as safras 2016/17 e 2017/18. Itaara/RS. 2019

Para a safra 2016/2017, o primeiro pico de urediniósporos coletados, foi no dia 31/10/2016. De acordo com a trajetória de massas de ar simulada em dez dias anteriores a esta data (Figura 4A), o deslocamento passou pelo Estado do Paraná, região de Londrina, adentrando o Estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Frederico Westphalen e Erechim, até atingir Itaara. Segundo o Consórcio Antiferrugem, os primeiros relatos de ferrugem asiática em lavoura comercial de soja, no Estado do Paraná para aquela safra, ocorreram em 16 e 18/11, cerca de 15 dias depois da detecção da rota que atingiu Itaara. Para o estado do Rio Grande do Sul, o primeiro relato no Consórcio Antiferrugem ocorreu em 20/12/2016.

Na data de 25/11/2017, ocorreu uma grande redução do número de urediniósporos coletados, e analisando a trajetória das massas de ar (Figura 4B), foi observado que em dez dias não haviam ocorrido trajetórias na direção norte e noroeste de Itaara. No mês de dezembro ocorreu o maior pico de coleta em 29/12, mesmo com muita precipitação acumulada, e simulando a trajetória das massas (Figura 4C), foi observado uma rota com direção norte, passando pelos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná,

atingindo o Rio Grande do Sul na direção nordeste. Em 02/01/2017, ocorreu novamente uma redução no número de urediniósporos coletados, no entanto houveram quase 115 mm de precipitação acumulada em dez dias anteriores a troca da lâmina. Para a trajetória das massas de ar (Figura 4D), foi observado rota norte e noroeste, passando pelo centro-este brasileiro e Paraguai, atingindo Itaara por direção sudeste. Portanto, a redução na coleta pode ser devido a alta precipitação.

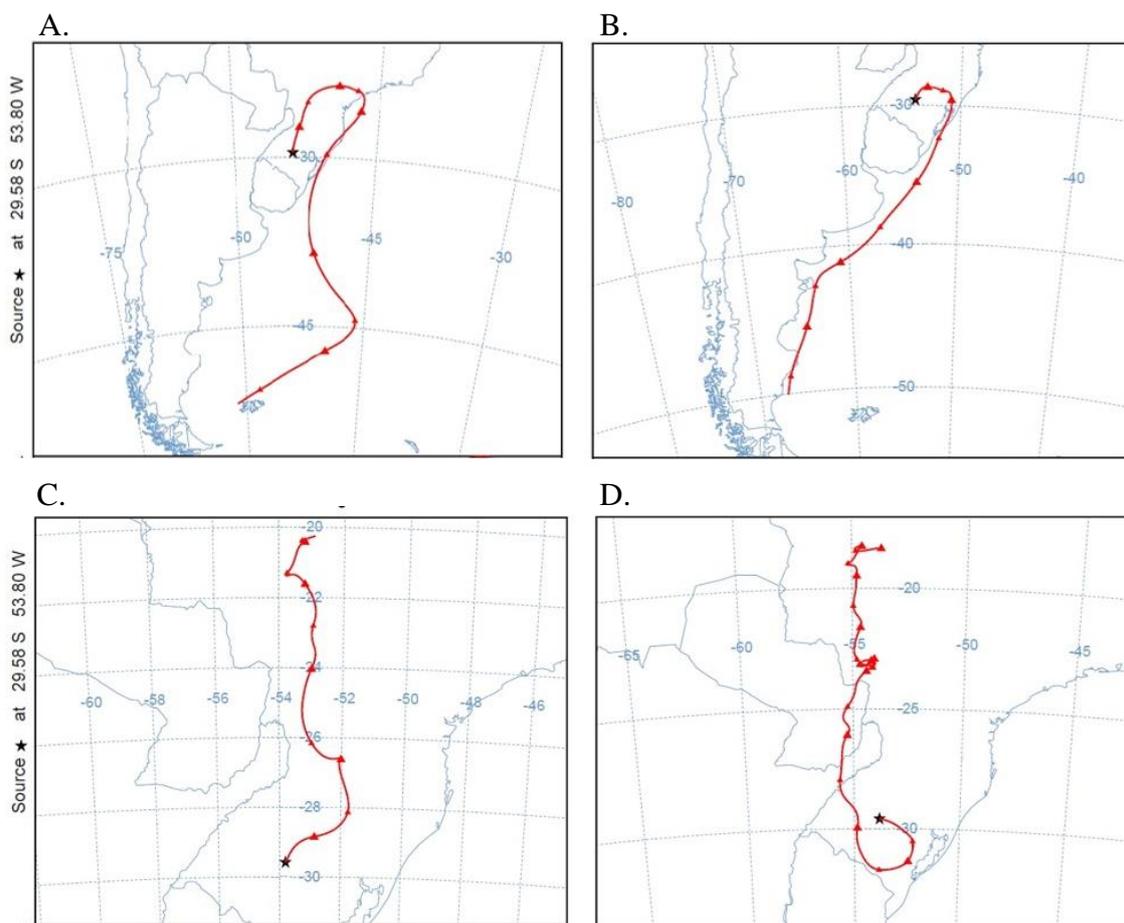


Figura 4. Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 31/10/2016 (A), 25/11/2016 (B), 29/12/2016 (C) e 02/01/2017 (D), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019

Para a safra 2017/2018, na data de 30/10, o número de urediniósporos coletados, em comparação com a safra anterior, foi muito inferior. De acordo com a trajetória simulada para o período anterior (Figura 5A), foi observado que a rota foi no sentido norte, atingindo áreas no Paraguai, mas houve um acumulado de precipitação de cerca de 260 mm de 10/10 a 30/10, o que pode ter ocasionado dificuldade na coleta de um número maior de urediniósporos. Em 22/11, ocorreu um número reduzido de urediniósporos,

sendo que não havia grande volume de precipitação acumulada. No entanto, para a trajetória das massas de ar (Figura 5B), foi observado que a rota estava em direção sudeste de Itaara, sendo que na direção Norte, no estado do Paraná, já haviam relatos de ferrugem asiática em lavouras.

Semelhante a safra anterior, novamente o maior pico de coleta do mês de dezembro ocorreu em 29/12/17, mesmo com precipitação acumulada. Observado a trajetória das massas de ar (Figura 5C), foi observado que, novamente houve deslocamentos pelos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná, atingindo o Rio Grande do Sul pela direção Nordeste. Em 05/01/2018 ocorreu uma redução no número de uredinósporos coletados e, segundo a simulação da trajetória das massas de ar (Figura 5D), não houve deslocamento de massas na direção norte e noroeste de fora do Rio Grande do Sul, adentrando o estado através da direção Sudoeste de Itaara, indo na direção norte do estado, na região de Frederico Westphalen e retornando a Itaara.

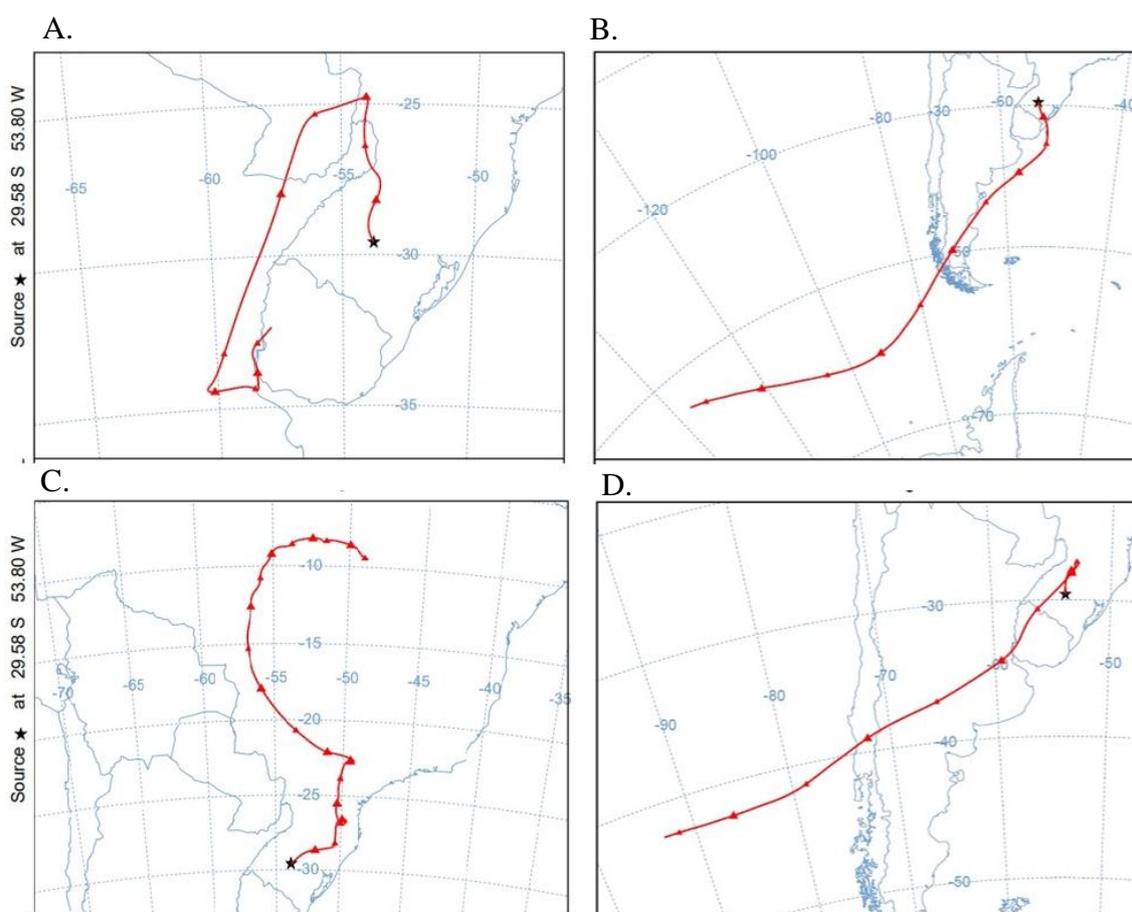


Figura 5. Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 30/10/2017(A), 22/11/2017 (B), 29/12/2017 (C) e 05/01/2018 (D), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019

Em resumo, na safra 2016/2017, houve uma precipitação acumulada ao redor de 196 mm, no mês de dezembro, distribuídas em 11 dias. Mesmo com uma elevada precipitação acumulada, houve uma maior coleta de urediniósporos, indicando a grande quantidade de inóculo disponível. Já na safra 2017/2018, o acumulado de precipitação no mês de dezembro foi de 137 mm, distribuídos em oito dias, sendo que houve um período de doze dias seguidos sem nenhuma precipitação, e uma menor quantidade de urediniósporos no ar, indicando menor quantidade de inóculo disponível. Em razão disso, o primeiro sintoma visível encontrado foi 17 dias mais tarde na safra 2017/18.

Para os períodos de entressafra, demonstrados na figura 6, novamente houve uma tendência de redução da coleta com o aumento da precipitação acumulada. Na entressafra de 2016, foi observado um pico de coleta de urediniósporos na data de 14/07, período de inverno no Rio Grande do Sul, com temperatura mínima média de 11°C em dez dias anteriores a esta data. Para a trajetória das massas de ar (Figura 7A), a rota predominante ocorreu entre a direção noroeste e norte de Itaara, passando pelo Paraguai. Na data de 25/08, não foi coletado nenhum urediniósporos, no entanto houve 50 mm de precipitação acumulada.

Analisando a trajetória das massas de ar (Figura 7B), a rota era predominantemente a norte de Itaara e havia passado pelo Paraguai e pelos estados do Mato Grosso do Sul e Paraná. Após esta data, eventos de elevada precipitação seguiram ocorrendo e urediniósporos não foram coletados, no entanto as chuvas diminuiram nas datas de 22/09, chegando a zero na data de 29/09. Analisando as trajetórias das massas, na data de 22/09 (Figura 7C), foi observado direção norte, no entanto somente atingindo o estado do Paraná, pela região de Guarapuava e Curitiba, regiões estas que possuem inverno rigoroso também. Já na data de 29/09 (Figura 7D) a direção das massas era sudoeste e mesmo com nenhuma precipitação, nenhum urediniósporo foi coletado.

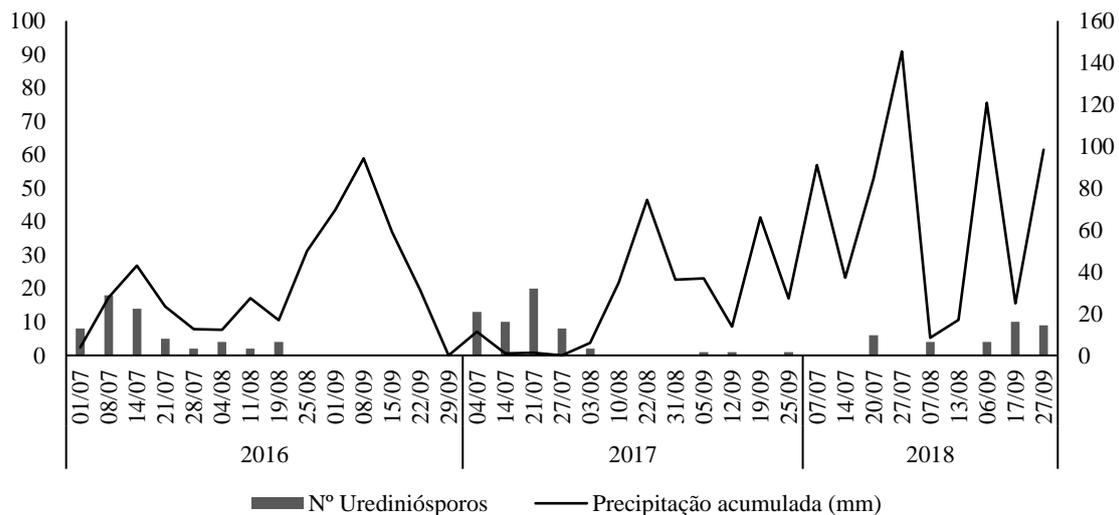


Figura 6. Número de urediniósporos e precipitação acumulada (mm) para as entressafras de soja 2016, 2017 e 2018. Itaara/RS. 2019

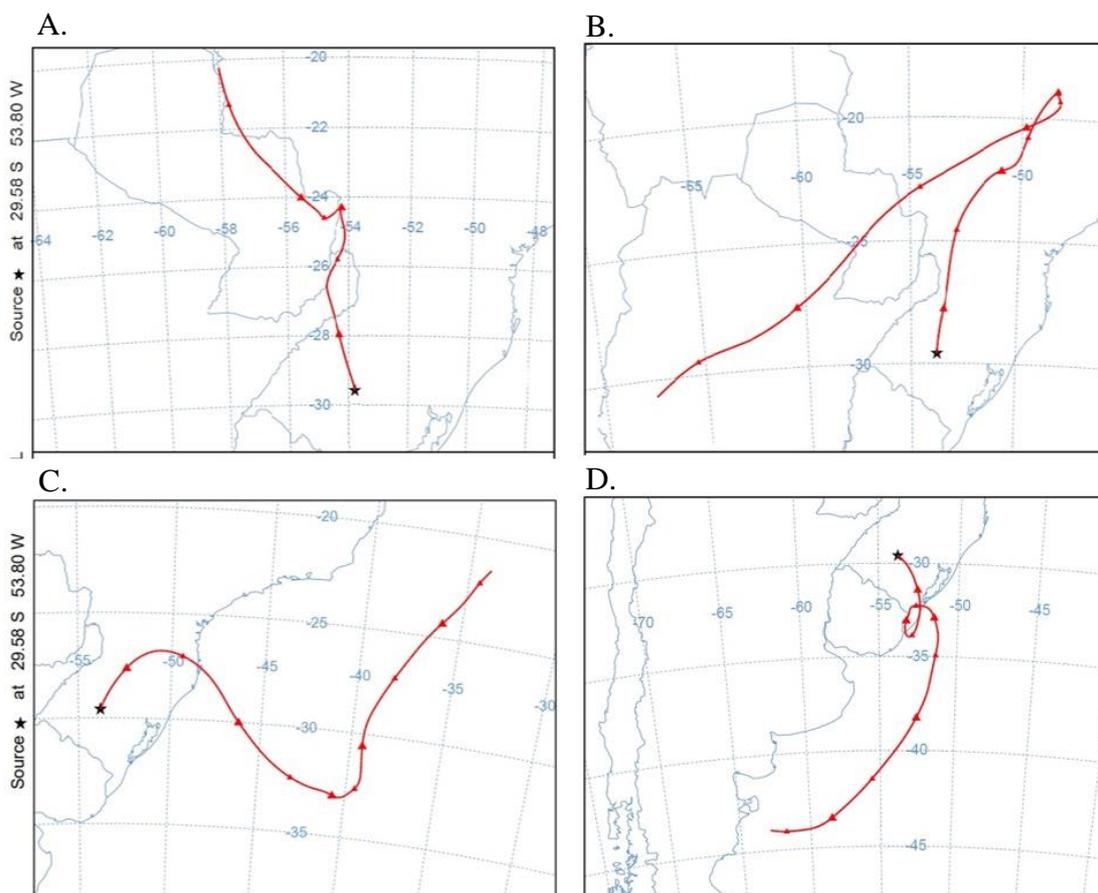


Figura 7. Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 14/07/2016 (A), 25/08/2016 (B), 22/09/2016 (C) e 29/09/2016 (D), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019

Para entressafra de 2017, em períodos semelhantes à safra anterior, ocorreu pico de coleta de urediniósporo em 21/07, com período de temperatura mínima média de 10°C e nenhuma coleta na data de 22/08. Para as trajetórias das massas de ar (Figura 8), em 21/07 a direção era entre norte e noroeste de Itaara, passando pelo centro-oeste brasileiro e Paraguai, e em 22/08 a direção era nordeste e não havia rota de trajetória de fora do Estado.

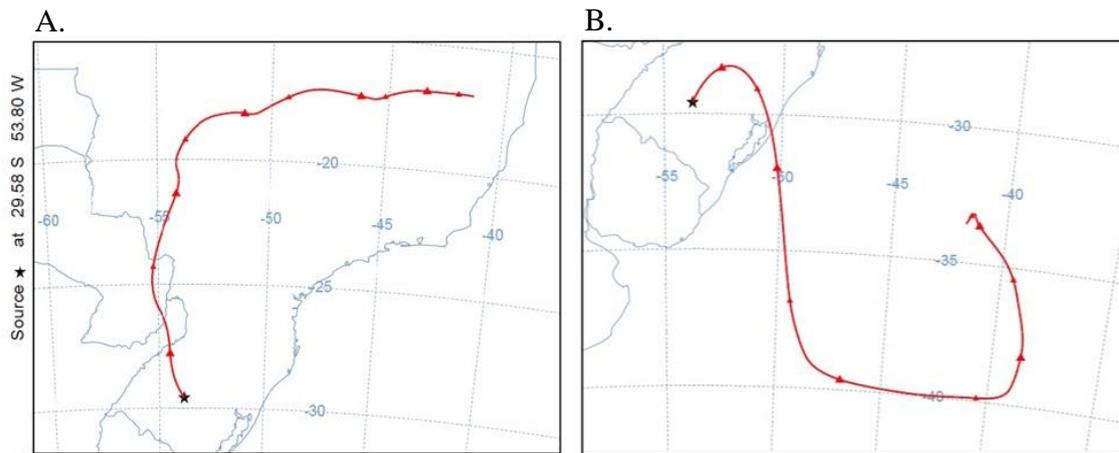


Figura 8. Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 21/07/2017 (A), 22/08/2017 (B), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019

Resultados semelhantes foram observados para a entressafra de 2018, quando houve coleta de urediniósporos em 20/07, com temperatura mínima média de 12°C, e rota direção norte/noroeste na simulação das trajetórias das massas de ar (Figura 9), que haviam passado pelo Paraguai. Já para a data de 13/08, onde não houve coleta de urediniósporos, a rota das massas de ar foi de direção norte, no entanto com trajetória somente pelo estado do Paraná, novamente próximo a Guarapuava e Curitiba.

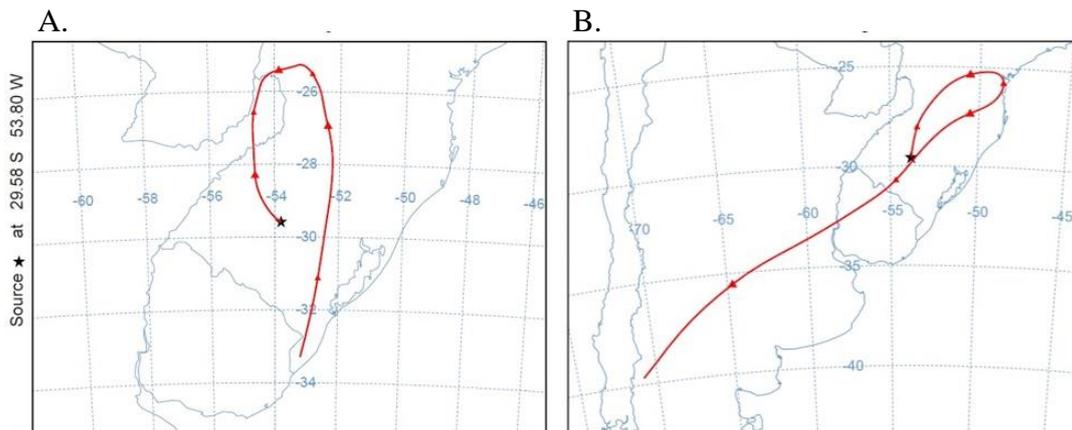


Figura 9. Trajetórias de massas de ar simuladas pelo modelo HYSPLIT, para o período de dez dias anteriores às datas: 20/07/2018 (A) e 13/08/2018 (B), tendo como fonte receptora o município de Itaara/RS. Itaara/RS. 2019

A simulação de trajetórias através do modelo HYSPLIT, para ferrugem asiática da soja foi muito utilizada por diversos autores. Grande parte dos estudos com este modelo, foram feitos com o objetivo de simular a origem e entrada de *Phakopsora pachyrhizi* em áreas onde a ferrugem asiática ainda não ocorria, tendo o mesmo objetivo para outras doenças e culturas (Pam, et al., 2006; Tao et al., 2009; Wang et al., 2010).

Nas trajetórias simuladas para este estudo, foi observado a relação da direção das massas de ar norte e noroeste, com a coleta de urediniósporos em maior quantidade, tanto nos períodos de safra como em entressafra, o que corrobora com a tendência observada nas correlações com a direção do vento apresentadas. De maneira geral, para os períodos avaliados, não foram coletados urediniósporos, ou a coleta foi sensivelmente reduzida, quando as direções das massas de ar ocorreram entre os quadrantes nordeste-leste-sul-oeste. Apesar de, em algumas situações, na chegada na região central, a direção tenha obtido tendência para o quadrante norte-nordeste, as maiores relações de coleta, estão entre a direção norte e noroeste.

Estas simulações indicam que, em períodos que não houve coleta de urediniósporos ou mesmo quando a mesma foi diminuída, pode ter havido um efeito da quantidade de precipitação, dificultando a coleta ou não ter havido rota de massas de ar de direção norte e noroeste.

Ficou evidente a contribuição das regiões centro-oeste brasileira e do Paraguai, na manutenção de inóculo durante todo o ano, sendo disperso pelo ar para o estado do Rio Grande do Sul.

As observações para o município de Itaara, podem servir de alerta para as regiões norte, noroeste e planalto, do estado do Rio Grande do Sul. Baseado nos resultados deste estudo, quando ocorrer direções de vento norte e noroeste para estas regiões do estado, há uma grande tendência de haver inóculo de ferrugem asiática no ar e havendo hospedeiro, e condições ambientais favoráveis, epidemias podem ocorrer.

CONCLUSÕES

As direções do vento norte e noroeste medidas na região central do Rio Grande do Sul, influenciaram na presença de inóculo de ferrugem asiática no ar durante todo o ano.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao NOAA Air Resources Laboratory (ARL) pelo fornecimento do modelo de transporte e dispersão da HYSPLIT disponível no site <http://www.ready.noaa.gov>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canteri, M.G.; Tsukahara, R.Y.; Silva, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007. Fitopatologia Brasileira, v. 32. p. 65-66, 2007.
- Consórcio Antiferrugem. Embrapa. <https://www.embrapa.br/soja/ferrugem/consorcioantiferrugem>. 15 jan. 2019.
- Cruz, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Del Ponte, E.M.; Godoy, C.V.; Li, X.; Yang, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. *Phytopathology*, v.96, n.7, p.797-803, 2006. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0797>.
- Del Ponte, E.M.; Esker, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007. Fitopatologia Brasileira, 2007. v. 32. p. S58-S60.

Godoy, C.V.; Seixas, C.D.S.; Meyer, M.C.; Adegas, F.S. O risco incessante da ferrugem asiática na cultura da soja. *Cultivar Grandes Culturas*, nº 184, setembro, 2014. <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/o-risco-incessante-da-ferrugem-asiatica-na-cultura-da-soja>.

Godoy, C.V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2017/2018: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular Técnica. Embrapa Soja, n.138 2018. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094386/eficiencia-de-fungicidas-para-o-controle-da-ferrugem-asiatica-da-soja-phakopsora-pachyrhizi-na-safra-20172018-resultados-sumarizados-dos-ensaios-cooperativos>.

Heldwein, A.B.; Streck, N.A.; Buriol, G.A.; Sandri, M.A.; Trentin, G.; Spohr, R.B.; Silva, J.C.; Alberto, C.M.; Faria, N.S. Frequência de ocorrência de ventos fortes em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 285-291, 2003.

Isard, S. A.; Russo, J. M.; Ariatti, A. The Integrated Aerobiology Modeling System applied to the spread of soybean rust into the Ohio River valley during September 2006. *Aerobiologia*, v. 23, p. 271-282, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9073-z>.

Isard, S.A.; Barnes, C.W.; Hambleton, S.; Ariatti, A.; Russo, J.M.; TENUTA, A.; Gay, D.A.; Szabo, L.J. Predicting soybean rust incursions into the North American continental interior using crop monitoring, spore trapping, and aerobiological modeling. *Plant Disease*, v. 95, p. 1346–1357, 2011. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-11-0034>.

NOTA de esclarecimento. Agência UEL de Notícias, Londrina, 12 set. 2011. http://www.uel.br/com/agenciaueldenoticias/index.php?arq=ARQ_not&FWS_An%20o_Eicao=1&FWS_N_%20Edicao=1&FWS_N_Texto=12973&FWS_Cod_Categoria=2. 05 jan. 2019.

Minchio, C.A. Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença. Paraná: Universidade Estadual de Londrina, 2011. 116p. Dissertação Mestrado. <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000172314>.

Pan, Z., Yang, X.B., Pivonia, S., Xue, L., Pasken, R. & Roads, J. Long-term prediction of soybean rust entry into the continental United States. *Plant Disease*, v. 90, p. 840-846. 2006. <http://dx.doi.org/10.1094/PD-90-0840>.

Reis, E.M. Previsão de doenças de plantas. Passo Fundo: UPF, 2004. 316 p.

- Reis, E.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo climático. In: REIS, E.M. (Org.) Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, p.103-109, 2009.
- Reis, E.M.; Casa, R.T. Análise crítica dos critérios atuais. In: Reis, E.M. (Org.) Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, p.135- 147. 2009.
- Rupe, J. e L. Sconyers. Ferrugem asiática da soja, Ferrugem da soja. Portuguese translation by Rubens Cherubini Alves and Emerson M. Del Ponte, The Plant Health Instructor. 2008.
- Scherm, H.; Christiano, R.S.C.; Esker, P.D.; Del Ponte, E.M.; Godoy, C.V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. *Crop Protection*, n. 28, p. 774–782, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.05.006>.
- Stein, A.F., Draxler, R.R, Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v.96, p. 2059-2077, 2015. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.
- Tao, Z.; Malvick, D.; Claybrooke, R.; Floyd, C.; Bernacchi, C. J.; Spoden, G.; Kurle, J.; Gay, D.; Bowersox, V.; Krupa, S. Predicting the risk of soybean rust in Minnesota based on an integrated atmospheric model. *International Journal of Biometeorology*, v. 53, p. 509–521. 2009. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0239-y>.
- Wang, H.; Yang, X. B.; Ma, Z. Long-distance spore transport of wheat stripe rust pathogen from Sichuan, Yunnan, and Guizhou in southwestern China. *Plant Disease*. v. 94, p. 873-880. 2010. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-94-7-0873>.
- Zauza, E.A.V.; Lana, V.M.; Maffia, L.A.; Araujo, M.M.F.C.; Alfenas, R.F.; Silva, F.F; Alfenas, A.C. Wind dispersal of *Puccinia psidii* urediniospores and progress of eucalypt rust. *Forest Pathology*, 2014. <https://doi.org/10.1111/efp.12133>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, o uso de parâmetros no processo de tomada de decisão do momento da primeira aplicação fungicida em soja pode tornar o controle da ferrugem asiática mais eficaz. O patossistema *Phakopsora pachyrhizi* × *Glycine max*, não suporta que a determinação de momento da aplicação fungicida seja feita de forma empírica, sem acarretar danos produtivos, na maioria dos casos.

A tomada de decisão, do momento de aplicação de fungicida, realizada sem ser baseada em nenhum parâmetro ambiental, ou relacionado ao patógeno e ao hospedeiro, não é estável ao longo dos anos, podendo acarretar em erros em uma safra e ganhos em outra, gerando risco para o sojicultor. Se forem utilizados parâmetros ajustados e validados, tornando a ferramenta estável, os riscos diminuem, mesmo sendo utilizados em cultivares de soja com diferentes níveis de sensibilidade ao patógeno. Cultivares muito sensíveis, que apresentem maiores severidades da doença, podem ser mais sensíveis também ao momento da primeira aplicação, obtendo maiores ganhos produtivos quando a tomada de decisão é feita baseada nos parâmetros relacionados ao triângulo da doença.

A precipitação pluvial sendo considerada como fator determinante para o estabelecimento de uma epidemia de ferrugem asiática, em um sistema de pontuação para prever o risco de ocorrer a doença, mostrou-se adequada.

Além disso, juntamente com os demais parâmetros, o monitoramento da presença de inóculo no ar faz-se necessário. Em razão da dificuldade do monitoramento diretamente, o estudo da direção do vento pode ser uma alternativa e servir como alerta para determinadas regiões, pelo fato da dispersão de urediniosporos de *Phakopsora pachyrhizi*, ser possível durante o ano todo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEDIN, C.; MENDES, L. B.; TRECENTE, V. C.; LOPES, R. L. B.; BOSQUÊ, G. G. Técnicas disponíveis para o controle da ferrugem asiática na cultura da soja. **Revista científica eletrônica de agronomia**. Ano VII, n.12, 2007.

CANTERI, M.G. Mapas de Risco de Epidemias. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, 29 (suplemento):S27-S28. 2004.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, nº 4, quarto levantamento, V6 - Safra 2018-2019, janeiro, 2019.

GARCÉS, F. R. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. Artículo de Revisión – **Ciencia y Tecnología**, Quevedo, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2011.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. **American Phytopathological Society**, v. 96. p. 797-803. 2006.

DEL PONTE, E. M., e ESKER, P. D. Meteorological factors and Asian soybean rust epidemics - A system approach and implications for risk assessment. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 88-97. 2008.

GLEASON, M.L. et al. Review: obtaining weather data for input to crop disease-warning systems: leaf wetness duration as a case study. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 76-87, 2008.

LANGENBACH, C.; CAMPE, R.; BEYER, S.F.; MUELLER, N. A.; CONRATH, U. Fighting Asian Soybean Rust. **Frontier Plant Science**. v.7, p. 797, 2016.

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

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

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

WANG, T.C.; HARTMAN, G.L. Epidemiology of soybean rust and breeding for host resistance. **Plant Protection Bulletin**, v.34, p.109-149, 1992.