

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ASSOCIADAS A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA NA FASE ASSINTOMÁTICA

Ademir de Cássio Machado **Peransoni**¹, Waterloo **Pereira Filho**², Gisieli **Kramer**² e
Cristiano Niederauer **da Rosa**³

(1 - Universidade Federal do Pampa, ademirperansoni@unipampa.edu.br,
<https://orcid.org/0000-0003-2861-8921>; 2 - Universidade Federal de Santa Maria,
waterloopf@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6449-6322>, gisieli@outlook.com.br,
<https://orcid.org/0000-0003-0784-3898>, 3 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
cristianonrd@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3693-4764>)

Resumo: A combinação de elementos meteorológicos pode afetar grandemente o desenvolvimento e o desempenho da produção nas lavouras de soja. Em condições ideais de temperatura, radiação, precipitação, vento e umidade, a exemplo, doenças podem se manifestar, como é o caso da Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e exigir medidas de correção com o uso expressivo de agroquímicos. Diante desse problema, esta investigação objetivou identificar a influência de condições meteorológicas associadas a ocorrência da Ferrugem Asiática na fase assintomática em lavoura de soja da região central do estado do Rio Grande do Sul. Para a análise utilizou-se de dados de uma estação meteorológica (Pro-BASF) e de um coletor de esporos (modelo SIRGA-2000), ambos presentes na área de estudo. O resultado desta análise mostrou as características meteorológicas facilitadoras da ocorrência da doença. Estas apontam as faixas de 14C° a 26° C°, porém, a ação mais intensa ocorre entre 19,7C° e 24,3C°, com tempo de molhamento foliar entre 6 a 12 horas. Tais resultados são premissas importantes para a tomada de decisão, pois podem subsidiar o momento oportuno e eficiente de aplicação de agroquímicos e minimizar os impactos ambientais da agricultura.

Palavras chave: Clima; Agroquímicos; Fungo *Phakopsora pachyrhizi*; Soja.

WEATHER CONDITIONS ASSOCIATED WITH THE OCCURRENCE OF ASIAN SOY RUST IN THE ASYMPTOMATIC PHASE

Abstract: The combination of meteorological elements can greatly affect the development and performance of production in soybean crops. Under ideal conditions of temperature, radiation, precipitation, wind and humidity, for example, diseases can manifest themselves, such as Asian Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) and require corrective measures with the expressive use of agrochemicals. Given this problem, this investigation aimed to identify the influence of meteorological conditions associated with the occurrence of Asian Rust in the asymptomatic phase in soybean crops in the central region of the state of Rio Grande do Sul. For the analysis, data were collected by meteorological station (Pro-BASF) and a spore collector (model SIRGA-2000), both present in the study area. The results of this analysis showed the meteorological characteristics that facilitated the occurrence of the disease. The temperature indicate the range of 14 ° C to 26 ° C, however, the most intense action occurs between 19.7 ° C and 24.3 ° C, with a time for leaf wetness between 6 to 12 hours as the best conditions to growing the Asian Rust. Such results are important premises for decision making, as they can subsidize the opportune and efficient moment of application of agrochemicals and minimize the environmental impacts of agriculture.

Keywords: Climate; Agrochemicals; *Phakopsora pachyrhizi* fungus; Soy.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS ASOCIADAS CON LA OCURRENCIA DE ÓXIDO ASIÁTICO DE LA SOJA EN LA FASE ASINTOMÁTICA

Resumen: La combinación de elementos meteorológicos puede afectar en gran medida el desarrollo y el rendimiento de la producción en cultivos de soja. En condiciones ideales de temperatura, radiación, precipitación, viento y humedad, por ejemplo, las enfermedades pueden manifestarse, como el óxido asiático (*Phakopsora pachyrhizi*) y requieren medidas correctivas con el uso expresivo de agroquímicos. Ante este problema, esta investigación tuvo como objetivo identificar la influencia de las condiciones meteorológicas asociadas con la presencia de óxido asiático en la fase asintomática en los cultivos de soja en la región central del estado de Rio Grande do Sul. Para el análisis, datos de una estación meteorológica (Pro-BASF) y un colector de esporas (modelo SIRGA-2000), ambos presentes en el área de estudio. El resultado

de este análisis mostró las características meteorológicas que facilitan la aparición de la enfermedad. Estos indican los rangos de 14 ° C a 26 ° C, sin embargo, la acción más intensa ocurre entre 19.7 ° C y 24.3 ° C, con un tiempo de humectación de la hoja entre 6 a 12 horas. Tales resultados son premisas importantes para la toma de decisiones, ya que pueden subsidiar el momento oportuno y eficiente de aplicación de agroquímicos y minimizar los impactos ambientales de la agricultura.

Palabras clave: Clima; Agroquímicos; Hongo *Phakopsora pachyrhizi*; Soja.

1 Introdução

Frente a diversidade climática do território nacional o Brasil pode desenvolver as mais distintas atividades econômicas, com isso o país alcançou um expressivo papel na exportação de produtos agrícolas, principalmente a soja e seus derivados. As lavouras de soja estão sujeitas as alterações do tempo local e os elementos climáticos afetam seu desenvolvimento determinando obstáculos no processo de produção. Essa atividade enfrenta grandes desafios ao longo do ciclo, principalmente pela imposição das variações meteorológicas e de doenças como a Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Nesse contexto, a influência das configurações físicas, temperatura, pluviosidade, fenômenos como geadas, umidade do ar e amplitude térmica podem retrair ou ampliar a capacidade produtiva desse ramo da agricultura/economia, (CONAB, 2018; EMBRAPA, 2019).

Após a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de suprir a demanda de alimentos fez com que se intensificassem os processos de produção agrícola. Com a perda da diversidade das populações biológicas e o crescente plantio de monoculturas surgiram diversas pragas, as quais passaram a ser combatidas pelo uso de agroquímicos. Motivado pelo crescimento populacional as demandas de alimentos só aumentaram no transcorrer do tempo, essa necessidade levou os produtores brasileiros a intensificar a utilização de pesticidas a fim de prevenir ou combater a ação de agentes infectantes ou parasitários nas plantações, visando com isso assegurar maior produtividade (AMARANTE, 2002; NOGUEIRA, et al., 2012; CARDOSO, et al., 2017).

A produção de bens agrícolas no país é oriunda de monoculturas dominadas por lavouras como as de arroz, trigo, milho, soja, cana de açúcar e outros produtos que integram a pasta de exportações brasileira. Nesse cenário, a variedade e o número de produtos agroquímicos

investidos na agricultura tiveram um aumento significativo nos últimos anos, o crescimento de contaminações por pesticidas aumentou assustadoramente muito em virtude da intercomunicabilidade dos sistemas aquáticos. Essa característica basal dos sistemas permite que qualquer contaminante possua potencial de degradação mesmo distante de áreas originais em que foram empregados, por isso, tornou-se necessário o constante monitoramento das condicionantes que permitem e viabilizam o acesso de resíduos nas águas, nos alimentos e no meio ambiente (DORES e FREIRE, 2008; GASSEN, 2017).

O processo de produção agrícola é especialmente notado pela perda da qualidade dos recursos naturais e da biodiversidade. Várias atividades de pesquisa e monitoramento chamam atenção para o aumento anual de resíduos de agrotóxicos sinalizando que estes compostos são encontrados na atmosfera, nas precipitações, nos alimentos, nas águas superficiais e subterrâneas, Dores e Freire (2008); Moreira et al. (2012); Conab (2018). Alguns autores atribuem a rápida dispersão dos agentes contaminantes ao efeito das variações do tempo (temperatura, pluviosidade, pressão e umidade) principalmente quando ocorrem pesadas chuvas associadas ao tratamento prévio, com altas doses de pesticidas, em curto espaço de tempo e nas proximidades dos corpos hídricos. Dentre os grandes facilitadores da dispersão dos agroquímicos nos diversos sistemas estão os mecanismos de drenagem e escoamento superficial, no entanto, fatores como relevo, espécie de planta, propriedades do agente químico, manejo, tipo de solo, declividade, e presença de cobertura vegetal têm influenciado decisivamente na ocorrência dos contaminantes (TSUKAHARA, et al., 2008; VEIGA, et al., 2014; IGARASHI, et al., 2014).

Outra característica associada a ação dos elementos climáticos é a presença e intensidade de alguns tipos de doenças fúngicas que acometem as plantações como trigo, soja e cana de açúcar. A ação do tempo local possui uma estreita relação com a ocorrência de doenças que surgem durante o ciclo das diversas culturas. Assim, as variações meteorológicas geralmente apontam as condições facilitadoras de ambos os processos supracitados (ocorrência de doenças e contaminação por agroquímicos) (SANCHES, et al., 2003; BRANDÃO, et al., 2008; GODOY, et al., 2017).

Vale lembrar que o uso e desenvolvimento de agroquímicos está vinculado basicamente a necessidade de contenção do avanço de agentes biológicos com potencial de infectar e agredir as estruturas vegetais das mais variadas plantas que são cultivadas em nosso país. Vários pesticidas são aplicados com a finalidade de conter ou eliminar formas de vida animal ou

vegetal indesejáveis as culturas agrícolas. Os compostos orgânicos sintéticos com alta atividade estão entre os principais produtos utilizados comercialmente, dentre estes, pode-se destacar os fungicidas, herbicidas e inseticidas disponíveis para a aplicação nas lavouras brasileiras. Estes agentes químicos geralmente possuem elevado potencial de toxicidade podendo ser carcinógenos causadores de mutações (SILVA, et al., 2011; CABRERA, et al., 2008; SOUZA, et al.; 2015).

Nesse contexto, o controle de doenças nas lavouras tem sido efetivado quase que exclusivamente com o uso de compostos químicos. Esse aspecto do processo de contenção das enfermidades aponta para a necessidade do desenvolvimento de estratégias diferenciadas para confrontar as doenças, as quais venham se somar àquelas utilizadas atualmente para esta finalidade. Embora a uso de pesticidas seja o principal meio de controle de patógenos, outras práticas podem contribuir efetivamente para a restrição de doenças, promovendo com isso a redução de aplicações, mitigando dessa forma a ação de contaminantes nos sistemas naturais pelo planejamento e manejo adequados (DEBONA, et al., 2008; GUIMARÃES e LANDAU, 2015; EMBRAPA, 2019). Em face disso, esta investigação teve por objetivo identificar das condições meteorológicas associadas a ocorrência da Ferrugem Asiática da soja na fase assintomática.

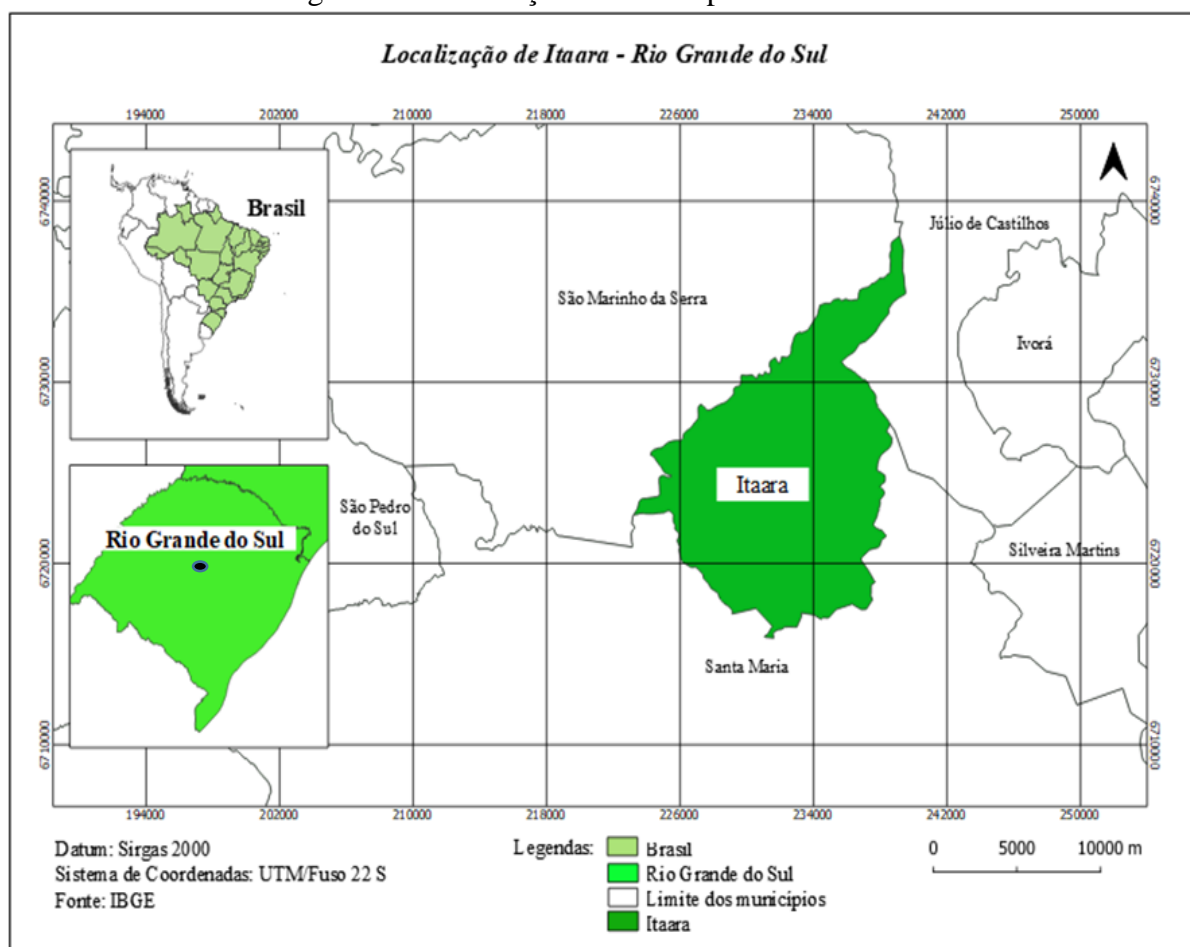
2 Metodologia

O estudo foi realizado no instituto Phytus parceiro do laboratório de Geotecnologias, Labgeotec (UFSM) com sede no município de Itaara (Latitude: 29° 36' 31" Sul e Longitude: 53° 45' 55" Oeste). As parcelas das lavouras cedidas para a investigação estão localizadas entre as bacias hidrográficas Vacacaí Mirim e Ibicuí Mirim na região central do estado do Rio Grande do Sul-Brasil (IBGE, 2010). Geomorfologicamente a área de estudo faz parte da formação rochosa Serra Geral de revelo com vales íngremes devido ao entalhamento fluvial típico da escarpa, morros do rebordo e áreas planas do planalto. Possui um clima subtropical úmido de acordo com a classificação Köppen e o índice pluviométrico anual é em torno de 1723 mm com temperaturas que variam entre 22 a 28C° nos períodos mais quentes e -3 a 10 C° nos meses frios. As precipitações mais intensas ocorrem nos meses de outubro a fevereiro com um decréscimo em março (DIETRICH, 2011). A figura 01 mostra a localização do município de Itaara em relação ao Rio Grande do Sul.

As variações do tempo foram acompanhadas e registradas durante todo o período de cultivo da soja (15/11/2018 a 14/02/2019). Estes dados foram obtidos por meio de dispositivos

eletrônicos inseridos em uma estação meteorológica (Modelo iMETOS®) localizada nas proximidades das áreas de campo. A referida estação possuía uma unidade de memória central ligada a sensores que registravam as condições do tempo a cada hora (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, direção/velocidade do vento e tempo de molhamento foliar). Dentre os equipamentos constavam: termômetros de máxima e mínima que indicavam as oscilações de temperatura do ar (°C) ocorridas durante o dia; um pluviógrafo que registrava a quantidade de precipitação em milímetros (mm); um higrógrafo que indicava a umidade relativa do ar em valores absolutos expressos em porcentagem (%); um anemômetro que registrou a velocidade do vento em km/h e um sensor que identificava o tempo de molhamento foliar (horas), esse equipamento é capaz de calcular a duração de umidade nas folhas por meio da detecção instantânea de orvalho em sua superfície.

Figura 1 - Localização do município de Itaara-RS.



Organização: Autores.

Soma-se aos equipamentos anteriormente citados um coletor de esporos modelo SIGA 2000 para o monitoramento de uredósporos da Ferrugem Asiática, os referidos esporos são agentes infecciosos da doença que ataca lavouras de soja podendo leva-las a perdas irreparáveis, Embrapa (2010).

A utilização desse aparato teve por finalidade constatar a presença das primeiras estruturas de frutificação do fungo causador da doença. O procedimento consistiu em expor o equipamento nas áreas de plantio, o instrumento é composto basicamente por um cano com um leme de direção fixo (mobilidade pela ação do vento) seu diâmetro é em torno de 100 milímetros. Essa estrutura foi colocada em um tripé com sua abertura voltada para o vento. O aparelho possui em seu interior uma fita adesiva de dupla face para a captação dos esporos. As fitas foram retiradas do coletor, a cada sete dias em média, e levadas ao laboratório para leituras quantitativas dos uredósporos do fungo. A contagem dos esporos foi efetivada por meio de análise microscópica com a utilização da fita adesiva sobre lamínulas com áreas delimitadas de 1 cm² cada. A leitura foi feita ao microscópio com objetivas de “40” e oculares de “16” totalizando um aumento de 640 vezes, (GARDIANO, et al., 2010; IGARASHI, et al., 2014). A Figura 2 demonstra os equipamentos utilizados.

Figura 2 – Coletor de esporos (a, b) – microscópio óptico (c)



Fonte: autores.

Neste cenário, foram obtidos os dados do tempo local (verificação diária) e contagem de esporos da doença (verificação periódica - 7 dias em média), o levantamento de dados ocorreu na safra 2018/2019. Em posse dos apontamentos de campo foram identificadas as condições do tempo associadas a ocorrência da Ferrugem Asiática no período assintomático. Este

procedimento teve por finalidade auxiliar no levantamento de informações capazes de fornecer subsídios aos produtores na tomada de decisão, voltado principalmente para economia de recursos e para redução de aplicações de pesticidas, logo, para diminuição do acesso de agroquímicos ao meio ambiente.

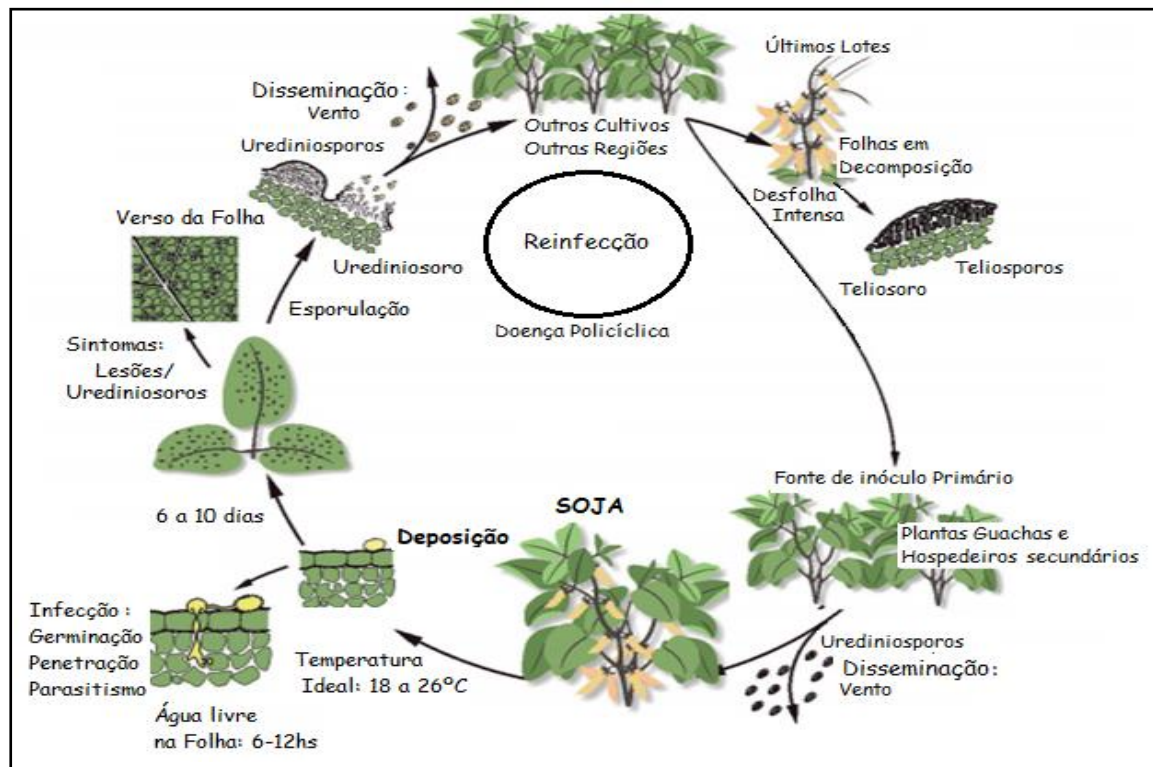
3 Resultados e discussões

Os sintomas da doença consistem basicamente na presença de pequenos pontos (1mm de diâmetro) geralmente mais escuros do que o tecido foliar (castanho, castanho claro ou marrom escuro), onde se pode observar pequenas saliências (pústulas). O surgimento dessas estruturas na parte inferior da folha constitui a principal característica do início da frutificação do fungo (WEN, BOWEN e HARTMAN, 2017; EMBRAPA, 2018).

Diversas fases compõem o ciclo do fungo *Phakopsora pachyrhizi*. Inicialmente os esporos são disseminados na atmosfera pela ação do vento ou pelo impacto das gotas da chuva. Ao se depositarem nas folhas, com molhamento foliar e temperaturas adequadas, os esporos germinam e o fungo penetra na folha diretamente sobre a epiderme, processo que ocorre à noite. Entre 6 e 9 dias são formadas pequenas protuberâncias chamadas de urédias as quais passam a produzir esporos que novamente se disseminam pelo vento, deste modo o ciclo é completado (GARCEZ, 2011; TRENTINI, et al., 2017; GODOY, et al., 2017). O comportamento geral do fungo com relação a influência das variáveis climáticas na ocorrência da Ferrugem Asiática é demonstrado de modo simplificado na Figura 3 que segue.

Nesse contexto, Garcez (2011), Camargos (2017), Stefanello et al. (2016) relatam que a combinação das informações do tempo/clima associada ao monitoramento de esporos, permitem aperfeiçoar modelos de previsão e risco da ocorrência de doenças que atingem as plantações de soja em diversas regiões. Desde 2001, momento em que se identificaram as primeiras infecções do fungo no país, o *Phakopsora pachyrhizi* atingiu em torno de 20 milhões de hectares do território nacional. Esse evento ocorreu devido à sua alta capacidade de propagação pelo ar, o que lhe permitiu alcançar as áreas mais longínquas impondo virulência e perdas. Assim, a agressividade do agente contaminante está fortemente vinculada a condições climáticas favoráveis encontradas em todas as regiões brasileiras (DIAS, et al., 2014; BERUSKI, et al., 2019).

Figura 3 – Condições gerais e clima durante o ciclo de vida do *P. pachyrhizi*.

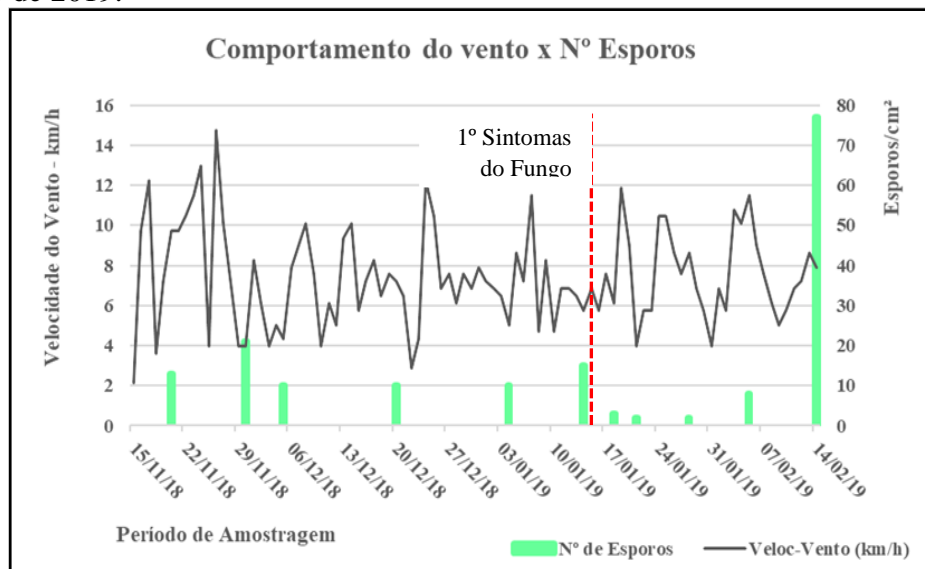


Fonte: Adaptado de Reis et al. (2006).

Nesse cenário, os registros dos dados do tempo foram obtidos diariamente conforme metodologia supracitada, a Figura 4 expõe a relação entre o comportamento do vento e do número de esporos presentes na atmosfera de novembro/2018 a fevereiro de 2019. A data de identificação dos primeiros sintomas da Ferrugem Asiática, 15/01/2019 – está representada na figura pela linha pontilhada em vermelho. Deste modo, pode-se observar que os intervalos de maior velocidade do vento antecedem as coletas com maior número de esporos encontrados no coletor (21/11/2018 - 13 esporos/cm²), (30/11/2018 - 21 esporos/cm²), (14/01/2019 - 15 esporos/cm²) e (14/02/2019 - 77 esporos/cm²). No primeiro intervalo, anterior a de 21/11/2018, os ventos atingiram valores de até 12,2 km/h, o segundo, antes de 30/11/2018, oscilaram entre 12,9 e 15 km/h. O terceiro período precede a data de 14/01/2019 e os ventos variaram de 11,5 a 12,2 km/h, o último intervalo de elevação do número de esporos na atmosfera, antes de 14/02/2019, apresentou números levemente menores de velocidade do vento e obtiveram valores entre 10,4 a 11,8 km/h. Em face disso, a constante movimentação da atmosfera permitiu

que fossem suspensos no ar um número considerável de esporos que se desloca de uma área para outra e se depositam na superfície das folhas nos dias de baixa velocidade do vento.

Figura 4 - Condições de vento e número de esporos presentes na atmosfera de novembro/2018 a fevereiro de 2019.



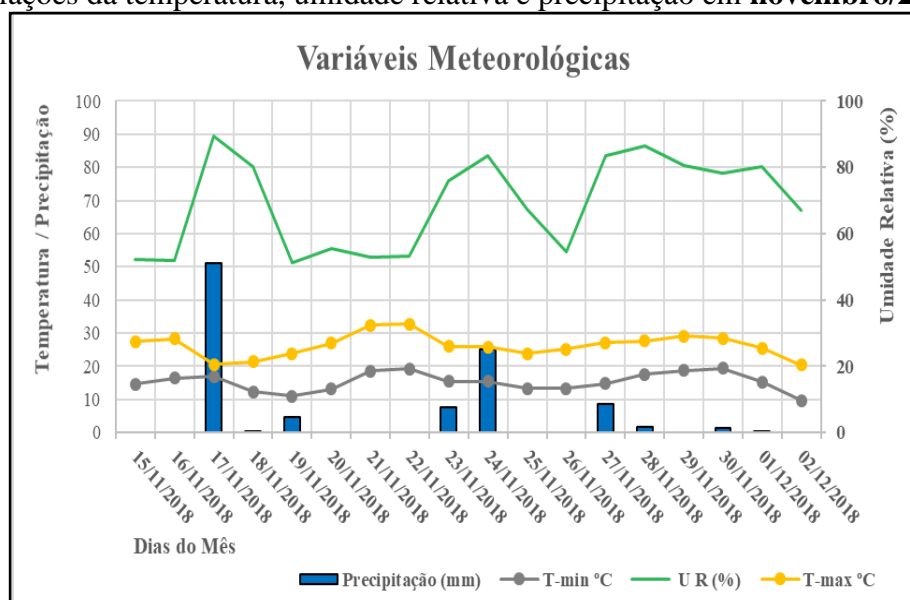
Fonte: autores.

O comportamento geral, da relação vento/número de esporos, identificado nas áreas de pesquisa acorda com as afirmações de Chevarria et al. (2013), Wen, Bowen e Hartman (2017), os autores afirmam que a propagação do fungo ocorre exclusivamente pela dispersão dos esporos ao vento. Estes podem se deslocar dentro da lavoura 3 metros por dia e atingir até 96 km por semana conforme a intensidade do vento. Segundo Megeto (2012), Nunes et al. (2013), Hartman et al. (2015) nos últimos anos estudiosos tem abordado em suas investigações a influência dos elementos do clima na colonização, infecção e desenvolvimento do *Phakopsora pachyrhizi*. Além das variáveis do clima, visam também entender os fatores aerobiológicos como dispersão, deposição e liberação de esporos. Assim, as condições prévias identificadas pela investigação apontavam para presença consistente do agente infeccioso no ambiente e para a necessidade de monitoramento constante das demais variáveis promotoras do desenvolvimento da Ferrugem Asiática, como apresentado na Figura 4.

Nesse contexto, distintos fatores ambientais influenciam no comportamento do agente infeccioso e na sua interação com a planta de soja, a Figura 5 apresenta as variáveis meteorológicas no mês de novembro/2018. A amplitude térmica naquele período apresentou média diária de 11,1 °C e não evidenciou alterações bruscas durante quase todo o mês. No

intervalo considerado, as temperaturas médias máximas foram de 26,4°C e mínimas de 15,3°C com umidade relativa (UR) 71,7% a qual registrou seus maiores valores nas datas de precipitação. Naquele mês teve um acumulado de chuva de 101mm o que, somados as demais variáveis, proporcionou as condições adequadas para o plantio. Vale lembrar que na data de 30/11/2018 identificou-se uma elevação no número de esporos na atmosfera (Figura 4). Assim, o contexto do tempo apresentado aponta para condições atenuantes para presença e posterior crescimento do agente contaminante (esporos).

Figura 5 - Variações da temperatura, umidade relativa e precipitação em **novembro/2018**

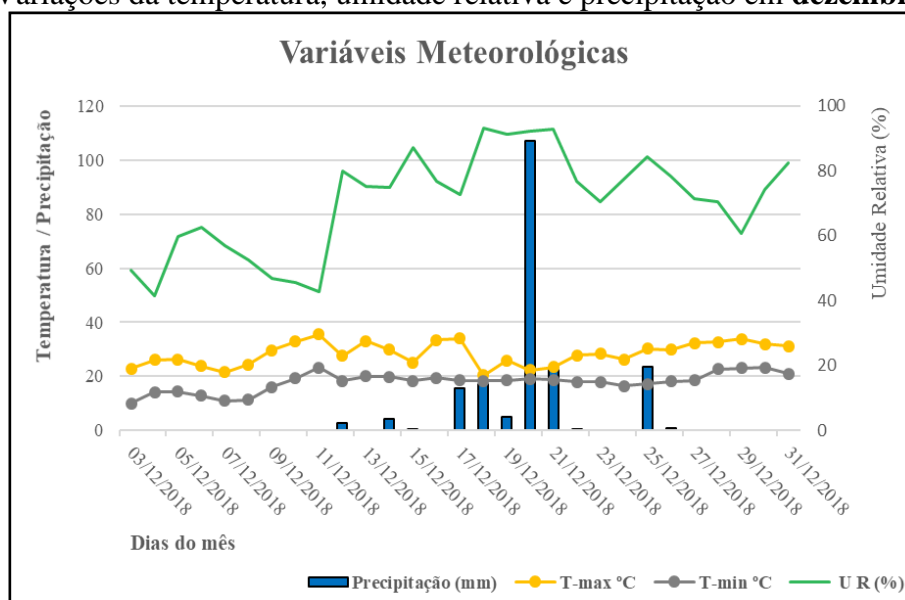


Fonte: autores.

As amostras coletadas no mês de dezembro de 2018 estão ilustradas na Figura 6. Os valores expõem a continuidade das condições favoráveis para perpetuação dos esporos nas áreas de plantio de soja. A amplitude térmica apresentou média de 9,9°C, índices próximos aos de novembro de 2018. A precipitação expressou um acréscimo consistente com elevação dos valores e um acumulado de 199,8mm, portanto, 98,8mm a mais do que o período anterior. Comportamento semelhante foi observado nos índices médios de umidade relativa e temperatura, a (UR) alcançou 74,2(%) e a temperatura registrou valores médios entre 18,4 e 28,3 °C. Fato relevante foi identificado entre os dias 12/12/2018 e 28/12/2018, momento em que a umidade relativa do ar não baixou de 70(%) em um intervalo de 16 dias atingindo valores superiores a 80(%) em metade das amostras observadas no período. Deste modo, as condições ambientais identificadas a campo indicavam para circunstâncias que viabilizavam a

permanência e disseminação do esporo, bem como o processo de infecção. De mesma forma, Galloti et al. (2006); Godoy et al. (2009); Sikora et al. (2014); Maumary et al. (2016) apontaram em suas investigações que elevada frequência de precipitação associada a períodos elevados de UR, com presença intensa de orvalho, são fatores favoráveis ao desenvolvimento de doenças fúngicas. Os autores comentam que a severidade e agressividade do *Phakopsora pachyrhizi* está relativamente ligada a quantidade de umidade relativa e intensidade de chuvas e ao longo do ciclo da cultura.

Figura 6 - Variações da temperatura, umidade relativa e precipitação em dezembro/2018



Fonte: autores.

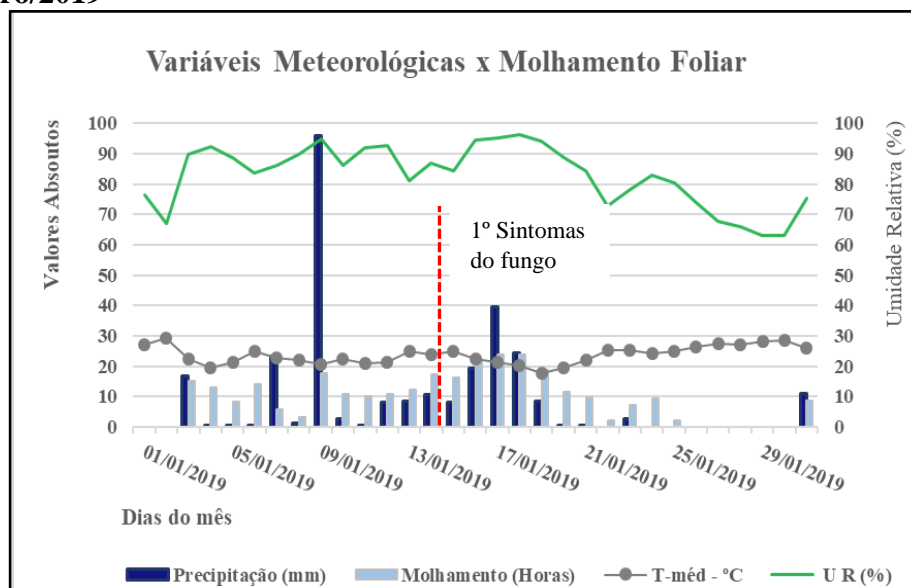
As variações climáticas referentes ao mês de janeiro de 2019 indicam a elevação dos índices pluviométricos, o mês acumulou 282,6 mm com aumento de chuva de 82,8mm, se comparado ao mês anterior. A umidade relativa seguiu em ascendência e atingiu a média de 84,4(%) com pequena queda apenas nos primeiros dias do mês. A amplitude térmica média reduziu para 6,5°C com aumento da temperatura média mínima para 20,2°C e queda da temperatura média máxima de 28,3°C em dezembro de 2018 para 26,7 °C em janeiro de 2019. O tempo de molhamento foliar (TMF) registrado ficou em torno de 10 horas/dia em média.

Essa configuração climática desenvolveu mudanças importantes nas áreas de estudo, os esporos (agentes infecciosos) apresentaram queda nos valores identificados no coletor (Figura 4). Isso provavelmente ocorreu pelo acentuado tempo de molhamento com por pesadas chuvas que causa o enxague da folha e dificulta a adesão do esporo nas estruturas foliares. Situação

semelhante foi revelada nas investigações desenvolvidas por Dufault et al. (2010), os autores observaram que as precipitações elevadas e contínuas nas lavouras de soja podem causar efeitos prejudiciais sobre a ocorrência do fungo. Os pesquisadores constataram, em leituras de campo, que intensidades entre 45 e 85 mm removem de 38 a 91% dos esporos depositados nas folhas. Segundo Embrapa (2010) a umidade relativa e as precipitações são as principais fontes de água livre (molhamento foliar), em condições inapropriadas afetam principalmente a esporulação e a infecção por fungos fitopatogênicos.

Os indicativos meteorológicos do mês de janeiro de 2019 apontaram para a possibilidade de emergência da doença nas áreas de estudo, tendo em vista o aumento do tempo de molhamento foliar (TMF) contínuo (média de 10 horas), por orvalho e chuvas moderadas em certos períodos associadas a elevação da umidade relativa do ar 84,4(%) o que facilita a adesão dos esporos na folha. Este contexto é preditor para o crescimento no número de esporos e o surgimento da doença, assim, (UR e TMF) são determinantes para o pronunciamento da Ferrugem Asiática pela ação do *Phakopsora pachyrhizi*, Bonde et al. (2007), Bonde et al. (2013); Rowlandson et al. (2014). Tal afirmação acorda com os resultados obtidos nos experimentos das áreas de estudo, visto que os primeiros sintomas foram identificados nas estruturas foliares da soja em 15/01/2019 (linha vermelha pontilhada na Figura 7).

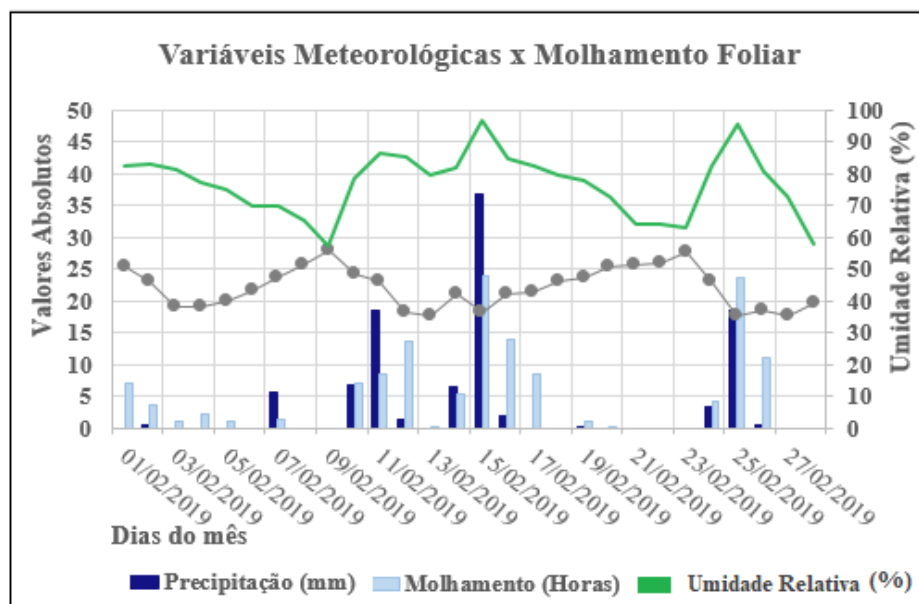
Figura 7 - Variações da temperatura, umidade relativa, precipitação e tempo de molhamento foliar de **janeiro/2019**



Fonte: autores.

O mês de fevereiro de 2019 está representado na Figura 8, o comportamento do tempo nas áreas de estudo apresentou valores menores de precipitação, o acumulado de chuvas chegou 100,2 mm com diferença de 182,4 mm se comparado ao mês anterior. O tempo de molhamento foliar registrado ficou em torno de 5 horas/dia e a unidade relativa do ar em 79% de média, respectivamente, 5 horas e 5,4% inferior à média mensal anterior. As temperaturas do mês oscilaram entre 17,9 e 27,9°C em média, com leve queda, as médias mínimas e as máximas praticamente se mantiveram inalteradas, no entanto, a amplitude térmica elevou-se e modificou os valores médios diários de 6,5 °C em janeiro para 9,9 °C em fevereiro. Essas condições climáticas possibilitaram um aumento significativo no total de esporos encontrados na atmosfera em fevereiro (Figura 4). Com isso, a relação clima/esporo torna-se um indicativo da perpetuação da infecção na área de estudo, possibilidade está marcada pelas condições climáticas favoráveis.

Figura 8 - Variações da temperatura, umidade relativa, precipitação e tempo de molhamento foliar de **fevereiro/2019**.



Fonte: autores.

Os valores de esporos apresentaram maior elevação na coleta do dia 14/02/2019 (Figura 4) provavelmente pela menor exposição das plantas ao tempo de molhamento foliar contínuo, acompanhado pela ocorrência de ventos fracos e moderados o que permite a deposição dos esporos a superfície das folhas.

As variações dos elementos do clima apontavam para a continuidade da infecção, visto que entre os dias 09/02/2019 e 14/02/2019 a UR apresentou valores diários crescentes acompanhados de temperaturas que variaram entre 18 °C e 27 °C, expondo com isso as condições facilitadoras para o surgimento de novas pústulas nas folhas da soja. As variações climáticas verificadas na fase pré-sintomática são próximas aos relatos de Megeto (2012) e Rowlandson et al. (2015). Os autores anotaram em seus resultados que a infecção é decorrente de uma sequência de eventos, o principal é a necessidade de molhamento foliar (água livre) para ocorrer a germinação dos esporos, após a formação do tubo germinativo e depois um apressório. Situações semelhantes foram identificadas por Narváez et al. (2010), Alvares et al. (2013), Rowlandson et al. (2015) os quais expõem que períodos elevados de molhamento na superfície das folhas de soja aumentam a taxa de disseminação no dossel superior e a severidade da ferrugem-asiática, e caso a água não seja um fator limitante, a germinação é influenciada também pelas variações de temperatura no ambiente.

Em acordo, Marchetti et al. (1976) com experimentos desenvolvidos *in vitro*, observaram que o fungo foi capaz de germinar a temperaturas de 7 a 28 °C com uso de água-agar como substrato. Nicolini et al. (2010) revelaram em suas atividades de pesquisa que temperaturas entre 5 e 30 °C, tem como melhor faixa de crescimento 21°C em condições de campo. Em diferente situação, Carlini et al. (2009) desenvolveram suas atividades de pesquisa em laboratório. Os autores obtiveram as melhores condições de germinação dos esporos (96.5%) em placas de Petri a temperatura de 23° C. O substrato utilizado no experimento continha extrato de folha de soja/ágar. Recentemente, Maumary et al. (2016) identificaram em suas investigações, conduzidas na região de Santa Fé na Argentina, que a exposição de esporos a temperaturas diárias entre 25 a 35°C diminuíram a germinação e a formação de apressores e, conseqüentemente, a produção de uredinia. Para os autores essas características epidemiológicas explicariam a ocorrência irregular da Ferrugem Asiática na região de estudo.

Deste modo, as variáveis climáticas têm uma intervenção decisiva na atividade biológica de pragas sendo também e um fator chave a temperatura, pois a maioria dos agentes infecciosos se desenvolvem e acumulam energia dentro de um limite térmico. Assim, na epidemiologia da Ferrugem Asiática e as variantes ambientais são motivadas pelo macro, meso ou microclima. Estas características afetam, pela expressão de suas condições, os distintos processos do ciclo da doença e influenciam na severidade e taxa de progresso das epidemias (CHEVARRIA, et al., 2013; NUNES, 2013; YORINORI, et al., 2014). Nesse cenário, após a

formação das primeiras frutificações fúngicas, o comportamento do clima permaneceu favorecendo o desenvolvimento e disseminação da doença uma vez que os índices de (UR) se mantiveram elevados (78 a 96%) e temperatura de 18 a 23°C até o dia 19/02/2019.

Conforme Del Ponte et al. (2011) as informações sobre influência dos elementos climáticos em experimento de campo, para as pragas da soja, ainda são escassas. Na região sul do Brasil a produtividade tem sido variável em função das oscilações do tempo, especialmente da precipitação sazonal que influencia nos níveis finais de severidade da Ferrugem Asiática. Os autores alegam que estudos de impactos do tempo são relevantes e necessários para caracterizar o risco médio e a variabilidade interanual. Com isso se poderá estimar a data de determinados eventos que interferem no ciclo fenológico da soja, e a partir do qual se poderão gerar modelos bioclimáticos para a predição desses eventos.

4 Considerações finais

- A combinação de informações do tempo local e ocorrência da Ferrugem Asiática em lavouras de soja do presente estudo permitiu observar que houve uma estreita relação entre os dados de temperatura, umidade relativa, precipitação e o crescimento de esporos na atmosfera associados a instauração das primeiras pústulas da Ferrugem Asiática nas estruturas foliares da soja.
- A partir da leitura e análise da influência dos elementos climáticos, obtidos em campo, constatou-se que as condições ambientais antecedentes ao evento da infecção foram favoráveis, permissivas e facilitadoras ao surgimento e o progresso da epidemia do fungo. Tal resultado demonstrou coerência com informações presentes na literatura, especialmente quando relacionados aos elementos de umidade relativa UR, pluviosidade, temperatura e tempo de molhamento foliar. Logo, afirma-se que a emergência e perpetuação da Ferrugem Asiática estão vinculadas à frequência de moderadas chuvas com molhamento foliar contínuo em torno de 10 horas, alta amplitude térmica (entre 10°C a 12 °C) associadas a índices elevados de umidade incrementados pela elevação de esporos na atmosfera. Esse contexto promove a infecção, reprodução e disseminação da doença.
- Apesar dos dados meteorológicos não representarem as condições microclimáticas de lavouras distribuídas em outras localidades, o registro e acompanhamento da variação climática realizada neste estudo durante a fase pré-sintomática da doença mostrou

resultados importantes para o manejo local e, portanto, poderá ser replicado em lavouras de soja de qualquer região, fornecendo subsídios importantes para o manejo eficiente de agroquímicos que combate/previne a infecção por *Phakopsora pachyrhizi* causador da Ferrugem Asiática.

5 Referências

- AMARANTE JR., O.P. de. *Avaliação do potencial de contaminação por herbicidas: determinação do 2,4-D e do seu principal produto de degradação em solos de campos de cultivo de eucaliptos*. São Luís, 2002. p. 12. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Maranhão. <https://doi.org/10.5380/pes.v12i0.3157>
- ALVARES C. A, STAPE J. L.; SENTELHAS, P. C.; DEMORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol*, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. O Agronegócio do Algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- BONDE, M.R.; BERNER D.K.; NESTER, S.E.; FREDERICK R. D.. Effects Of Temperature On Urediniospore Germination, Germ Tube Growth, And Initiation Of Infection In Soybean By Phakopsora Isolates. *Phytopathol*, 2007. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-8-0997>.
- BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; BENER, D. K. Effects of frequency of "extreme" temperature highs on development of soybean rust. *Phytopathology*, Saint Paul, v. 103, n. 7, 2013. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-12-0250-R>.
- BERUSKI, G. C.; GLEASON, M. L.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B.. Leaf Wetness Duration Estimation And Its Influence on a Soybean Rust Warning System. *Australasian Plant Pathology*, (2019). <https://doi.org/10.1007/s13313-019-00641-3>.
- CABRERA, L.; COSTA, P. F.; PRIMEL, E.G.. Estimativa de Risco de Contaminação das Águas por Pesticidas na Região Sul do Estado do RS. *Quim. Nova*, Vol. 31, Nº 8, p. 1982-1986, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000800012>.

CAMARGOS, R. Ferrugem Asiática da Soja: Informativo técnico Nortox, 3 Ed. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.nortox.com.br/wpcontent/uploads/2018/03/informativo-artigo-03-Rafael.pdf>>. Acesso em: 22/04/2018.

CARDOSO, F. D. P., ALMEIDA, M. C., DE OLIVEIRA RIBEIRO, R., VIANA, S. F. R., MARQUES, E. E., & BARBOSA, L. Expansão Recente da Fronteira Agrícola e o Consumo de Produtos Agroquímicos: Indicadores e Possíveis Impactos na Saúde do Trabalhador do Campo em Porto Nacional-Tocantins. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, 9(3), 37-59, (2017).

CARLINI, R. C., M. M. MULITERNO, F. R. GARCÉS, E E. M. REIS. Efeito da concentração de folhas de soja em substratos para a germinação e crescimento do tubo germinativo de *Phakopsora pachyrhizi*. *Tropical Plant Pathology* 34 (Suplemento): S117 (Resumo), 2009.

CHEVARRIA, V.V.; DEL PONTE, E.M.; JAHNKE, S.M.. Número de Gerações de um Percevejo e Seu Parasitoide e da Severidade da Ferrugem Asiática em Soja, Simulados em Cenários de Clima e Manejo no Norte do RS. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.4, p.571 - 578, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000400002>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra 2017/18. 2018. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DEBONA, D.; NAVARINI, L.; FAVERA, D.D.; BALARDIN, R.S. Efeito de níveis de cálcio e sombreamento em plantas de soja sobre a infecção por *Phakopsora pachyrhizi*. *Tropical Plant Pathology*, 2008. vol. 33, 5, 388-389. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762008000500009>.

DEL PONTE, E.M. . Early-season warning o f soybean rust regional epidemics using El Niño Southern/Oscillation information. *International Journal of Biometeorology*. v.55, p.375-383, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0365-6>.

DIETRICH, S.S. Rotas Turísticas Para o Município de Itaara – RS: Uma Leitura Geográfica da Paisagem e do Lugar. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências. UFSM, 2011, Santa Maria, RS, Brasil.

DIAS, A. P. S.; LI, X.; YANG X. B. Modeling The Effects Of Cloudy Weather On Regional Epidemics Of Soybean Rust. *Plant Disease*, 2014. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-13-0269-RE>.

DORES, E. F. G. C.; FREIRE, E. M. L. Contaminação de Ambiente Aquático por Pesticidas: vias de contaminação e Dinâmica dos Pesticidas no Ambiente Aquático. *Ecotoxicol e Meio Ambiente*, Curitiba, v.9, p. 1-18, 2008. <http://dx.doi.org/10.5380/pes.v9i0.39598>.

DUFAULT, N.S.; ISARD, S.A.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. *Plant Disease*, St. Paul, v. 94, n. 11, p. 1336-1340, 2010.

EMBRAPA SOJA. Custo Ferrugem Asiática da Soja. 2018. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net>> Acesso em: 10 abril de 2019.

_____. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil, 2005. Londrina, Embrapa soja; Embrapa cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste; Fundação Meridional, 2004, 239 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção).

_____. Tecnologias de produção de Soja: região central do Brasil – Perspectivas 2009 e 2010. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2010.

_____, Tecnologias de Produção de Soja: região central do Brasil – Perspectivas, Londrina: Embrapa Soja, 2014. Disponível:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf>> Acesso em: 10 mar. 2020.

GALLOTI, G. J. M., A. A. BALBINOT JR., E R. L. BACKES. Efeito da época de semeadura e da aplicação de fungicidas no progresso da ferrugem asiática, oídio e doenças de final de ciclo na cultura da soja. *Ciências Agroveterinarias* 4(2): 87:93. 2006.

GARCEZ FIALLOS. F.R. A Ferrugem Asiática da Soja Causado Por *Phakopsora pachyrhizi* – Sidow e Sidow. *Ciência e Tecnologia*, p.45-90, Equador, 2011.

GARDIANO, C.G.; BALAN, M.G.; FALKOSKI FILHO, J.; CAMARGO, L.C.M.; 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*, v. 77, n. 3, p. 497-504, 2010.

GASSEN, D. N. O risco da mistura de herbicidas com inseticidas em milho. In: Gassen, D. N. Informativos Técnicos, Passo Fundo-RS, 2017.

GODOY, C.V.; FLAUSINO, A.M.; SANTOS, L.C.M.; DEL PONTE, E.M. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina - PR. *Tropical Plant Pathology*, Brasília, v. 34, n. 1, p. 56-61, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000100011>.

GODOY, C. V.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; MEYER, M.; COSTAMILAN, L.M.; DEGAS, F.S. Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem asiática da soja. Embrapa Soja: Londrina, PR, 2017b.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Monitoramento da Agricultura Irrigada em Tempo Real. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.

HARTMAN, G. L., SIKORA, E. F., AND RUPE, J. C. Rust. Compendium of Soybean Diseases and Pests. *American Phytopathological Society*, Pages 56-59, St. Paul, MN. 2015.

IGARASHI, W. T.; SILVA, M. A.A.; IGARASHI, S.; SAAB, A.; GRIGOLI, O. J.; FRANÇA, J. A. . Leaf Wetness Duration And Percentage Based On Inter-Row Spacing, And Influence On Asian Soybean Rust. *Summa Phytopathol*, 2014. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1969>.

_____. Application of Predictions Models of Soybean Rust in Two Crop Seasons. Londrina, PR. Seminário: *Ciências Agrárias*, v. 37, n. 5, p. 2881-2890, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades. 2015. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=431053#>> Acesso em: 10 mar. 2020.

MARCHETTI, M. A., J. S. MELCHING, AND K. R. BROMFIELD. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 66: 461-463, 1976. <https://doi.org/10.1094/Phyto-66-461>.

MARCHESAN, E.; SARTORI, G. M. S.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. O. M.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E. G.; MACEDO, V. R. M.; MARCHEZAN, M. G. Resíduos de agrotóxicos na água de rios da depressão central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 123-127, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000078>.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; BUNDT, A. D. C.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. *Química Nova*, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 748-752, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000500004>.

MAUMARY, R. L.; PIOLI, R. N.; AMSLER, A.; IVANCOVICH, A.. Germination And Infection Of *Phakopsora Pachyrhizi* Under Simulated Environment Of The Central Area Of Santa Fe, Argentina. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.*, ex Agro-Ciencia, 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902016005000001>.

MEGETO, G. A.S. Avaliação da Influência da Temperatura e da Precipitação na Ocorrência da Ferrugem Asiática da Soja por Meio da Técnica de Árvore de Decisão. Dissertação de Mestrado Apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, SP. Campinas, SP, 2012.

NARVÁEZ, D. F.; JURICK, W. M.; MAROIS, J. J.; WRIGHT, D. L. Effects of surface wetness periods on development of soybean rust under field conditions. *Plant Disease*, Saint Paul, v. 94, n. 258-264, 2010.

NICOLINI, F., E. M. REIS, S. M. ZOLDAN, A. L. D. DANELLI, M. ZANATTA, A. AVOZANI, R. B. TONIN, E F. R. GARCÉS. Efeito de temperaturas na germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi*. *Tropical Plant Pathology* 35 (Suplemento): S143 (Resumo), 2010a.

NUNES JUNIOR, J. et al. Ferrugem da Soja: evolução, sintomas, danos e controle. EMBRAPA, Agência Rural e CTPA. Documentos 04, 2003.

NUNES, C. D. Controle de ferrugem asiática da soja baseado no número de aplicações de fungicida em diferentes estádios realizado em duas safras 2011/2012 e 2012/2013. In: VERNETTI JUNIOR, F. J. (Ed.). Resultados de pesquisa de soja na Embrapa Clima Temperado. Pelotas, 2017. p. 38-46.

OLIVEIRA, S. S. O papel da avaliação de riscos no gerenciamento de produtos agrotóxicos: diretrizes para a formulação de políticas públicas. 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: Acesso em: 16 ago. 2019.

REIS, E. M.. Curva de Processo da Ferrugem da Soja em Passo Fundo/RS. *Fitopatologia Brasileira*, v. 31. p. 135, 2006.

ROWLANDSON, T.; GLEASON, M.L.; SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.; THOMAS, C.; HORNBUCKLE, B.. Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. *Plant Dis*; (2015). <https://doi: 10.1094 / PDIS-05-14-0529-FE>.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; CAMPOS, S. X.; Vieira, E. M.; Pesticidas: Ecotox. e Meio Ambiente 2003, 13, 53.

SHIMANO, I. S.H.; SENTELHAS, P. C.; Risco Climático Para Ocorrência de Doenças Fúngicas da Videira No Sul e Sudeste do Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3, p. 527-537, 2013.

SIKORA, E. J.; ALLEN, T. W.; WISE, K. A.; BERGSTROM, G. A. Coordinated Effort to Manage Soybean Rust in North America: A Success Story in Soybean Disease Monitoring, *Plant Disease, Saint Paul*, v. 98, n. 7, p. 864-875, 2014.

SOUZA, L. L. P. D.. Efeito do Momento de Aplicação de Fungicida e da Época de Semeadura no Controle da Ferrugem Asiática da Soja. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2015.

STEFANELLO, M.T.; MARQUES, L. N.; PINTO, F.F.; RAMOS, J.P.; CADORE, P.C.; BALARDIN, R. S. Dinâmica do Controle Químico de *Phakopsora pachyrhizi* em Plantas de Soja Submetidas a Diferentes Regimes Hídricos. *Arq. Inst. Biol.*, v.83, 1-6, 2016. <https://doi: 10.1590/1808-1657000792014>.

TRENTINI, D., MÜHL, F. R., BALBINOT, M., FELDMANN, N. A., & RHODEN, A. C. (2017). Avaliação da Aplicação de Fungicidas no Controle da Ferrugem Asiática da Soja. *Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos*, (2).

TSUKAHARA, R. Y., M. HIKISHIMA, AND M. G. CANTERI. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. *Semina: Ciências Agrárias* 29(1):47-52, 2008.

VEIGA, M. da; BALBINOT JUNIOR, A.A.; OLIVEIRA, D.A. de. Soil Physical Attributes In Forms Of Sowing The Annual Winter Pasture And Intervals Between Grazing. Revista Ciência Agronômica, v.45, 2014. <https://doi: 10.1590/S1806-66902014000500005>.

WEN, L.; BOWEN, C.R.; HARTMAN, G.L.. Prediction of short-distance aerial movement of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores learning. Phitopathology, v.107, p. 1187 – 1198, 2017. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-17-0138-FI>.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M. Ferrugem da Soja: *Phakopsora pachyrhizi*. Londrina: Embrapa Soja, 2014.