

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE AGRONOMIA

BRENDA ELLEN LIMA RODRIGUES

**ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA DESENVOLVIMENTO
DA DOENÇA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA**

CHAPADINHA - MA
2022

BRENDA ELLEN LIMA RODRIGUES

**ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA DESENVOLVIMENTO
DA DOENÇA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA**

Monografia apresentada ao curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos

CHAPADINHA - MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Rodrigues, Brenda Ellen Lima.

ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA
DESENVOLVIMENTO DA DOENÇA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA
SOJA / Brenda Ellen Lima Rodrigues. - 2022.

39 f.

Orientador(a): Raissa Rachel Salustriano da Silva
Matos.

Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia,
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2022.

1. Glycine Max. 2. Monitoramento agroclimático. 3.
Phakopsora pachyrhizi. 4. Produção agrícola. I.
Salustriano da Silva Matos, Raissa Rachel. II. Título.

BRENDA ELLEN LIMA RODRIGUES

**ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA DESENVOLVIMENTO
DA DOENÇA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA**

Monografia apresentada ao curso de
Agronomia da Universidade Federal do
Maranhão, para obtenção do grau de
Bacharel em Agronomia.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos (Orientadora)
Mestre em Agronomia - UFPI
Doutora em Agronomia - UFPB
Professora na Universidade Federal do Maranhão – CCCh

Izумы Pinheiro Doihara
Mestre em Fitopatologia - UFRP
Doutora em Agronomia - UNESP
Professora na Universidade Federal do Maranhão – CCCh

Francisca Gyslane de Sousa Garreto
Mestre em Agricultura FCA/UNESP
Doutora em Agronomia FCA/UNESP

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais Sheila e Nonato que sempre me incentivaram e viveram cada etapa desta construção ao meu lado (essa conquista é nossa!). A minha avó Maria do Socorro por sempre me mostrar que desistir não é uma alternativa. Aos meus irmãos Bianca e Bruno por me lembrar que nunca estou sozinha e sempre vou ter eles ao meu lado. E a minha professora/orientadora Raissa por sempre acreditar mim e me conceder a honra de aprender a cada dia com ela.

E ainda se vier noites traiçoeiras
Se a cruz pesada for, Cristo estará contigo
O mundo pode até fazer você chorar
Mas Deus te quer sorrindo. 🎵

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem dúvida alguma até aqui ele me ajudou e que assim seja por diversos anos!

Os agradecimentos especiais ficam a minha família que sempre embarcam nas minhas aventuras e vivem cada conquista como se fosse particular deles, eu amo vocês. Agradeço a minha tia Charlea e a família dela por sempre demonstrar que família é algo muito além do que o vínculo sanguíneo. Agradecimentos a minha orientadora Raissa por sempre me conceder oportunidade e colaborar na minha construção como profissional.

Durante a graduação conheci diversas pessoas, e sei que vou levar algumas delas por toda vida, em especial, Miguel, Amanda, Brenda Carvalho e Eliza que durante anos foram meus companheiros de república, nos tornamos família e eles tem um espaço mais que especial no meu coração, obrigada por todos os nossos momentos (vocês são incríveis!). Agora nesta reta final, Deus me proporcionou pessoas incríveis dentre elas temos a Daniela Abreu, obrigada por embarcar nesta aventura comigo e que Deus esteja com você, tu és luz.

Agradeço a minha amiga de graduação que sim, vou levar para toda vida, Paula Sara (sem dúvida alguma ela é uma das pessoas mais incríveis que Deus me concedeu), obrigada por todo apoio tanto seu quanto a da sua família, obrigada por toda atenção e por sua amizade!

Por último, mas tão importantes quantos aos que já foram mencionados, obrigada Clene Reis por todas as gargalhadas que me proporcionou; Danilo por todos os nossos papos cabeça na cozinha; Saulo “Ricardo” por todas as nossas conversas e aventuras vividas; Maria Raysse por sempre me ajudar e me acolher, obrigada por tua bondade e saiba que admiro a força que tu tens. Douglas, Gerson Neto e Samira por sempre está à disposição em momentos que precisei de ajuda, vocês não têm ideia do quanto foram essenciais para chegar até aqui. Que suas vidas sejam abençoadas hoje e sempre!

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertencente à família das oleaginosas, teve sua exploração iniciada no sul do país e hoje encontra-se atualmente nas mais diversas regiões do território nacional, onde a cultura da soja é cotada como o principal produto agrícola da pauta das exportações brasileiras, sendo esta cultura o maior responsável pelo crescimento da demanda referente a colheita nacional de grãos. No entanto, algumas doenças como a ferrugem asiática levam a diminuição na produção da cultura da soja. O objetivo deste trabalho é auxiliar no monitoramento dos possíveis impactos climáticos que provocam alterações na fase de desenvolvimento inicial da soja e em seu desenvolvimento, devido a evolução da doença ferrugem asiática. A pesquisa foi baseada em dados obtidos no Nasa Power para a análise das condições climáticas locais e realizou-se comparações de níveis climatológicos ideais para desenvolvimento da doença em doze cidades no Maranhão (Açailândia, Balsas, Buriticupu, Bom Jardim, Brejo, Carolina, Chapadinha, Fortuna, Grajaú, Mata Roma, São Domingos do Maranhão e Tasso Fragoso). Sendo as condições climáticas de precipitação média expressa em mm (milímetros) e temperatura do ar média expressa em graus Celsius (°C), comparada com a doença da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). O índice médio de temperatura do ar e precipitação, durante os dozes meses do ano, apresentou índices favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem asiática, onde evidenciou-se que a faixa de 28°C é a ideal, a doença não se desenvolve nos regimes de temperatura de acima de 30°C e nem em temperaturas menores ou iguais a 24°C.

Palavras Chaves: *Glycine Max*, *Phakopsora pachyrhizi*, Produção agrícola, Monitoramento agroclimático.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) belonging to the oleaginous family, had its exploitation started in the south of the country and today is currently found in the most diverse regions of the national territory, where the soy culture is quoted as the main product of the Brazilian export basket, with this crop being the main responsible for the growth in demand for the national grain harvest. However, some diseases such as Asian rust lead to a decrease in soybean production. The objective of this work is to help monitor possible climate impacts that cause changes in the initial development phase of soybeans and in their development, due to the evolution of the Asian rust disease. The research was based on data obtained from Nasa Power for the analysis of local climatic conditions and comparisons were made of ideal climatological levels for the development of the disease in twelve cities in Maranhão (Açailândia, Balsas, Buriticupu, Bom Jardim, Brejo, Carolina, Chapadinha, Fortuna, Grajaú, Mata Roma, São Domingos do Maranhão and Tasso Fragoso). Being the climatic conditions of average precipitation expressed in mm (millimeters) and average air temperature expressed in degrees Celsius (°C), compared with Asian rust disease (*Phakopsora pachyrhizi*). The average index of air temperature and precipitation, during the twelve months of the year, presented indexes favorable to the development of Asian rust, where it was evidenced that the range of 28°C is ideal, the disease does not develop in temperature regimes above 30°C and not at temperatures lower than or equal to 24°C.

Keywords: *Glycine Max*, *Phakopsora pachyrhizi*, Agricultural production, Agroclimatic monitoring.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 HIPÓTESE DO TRABALHO	13
3 OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo Geral	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 A cultura da soja.....	15
4.2 Ferrugem-asiática (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>).....	16
4.3 O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)	18
4.4 Zoneamento Climático no Estado do Maranhão	20
4.5 Nota técnica do Zoneamento de Risco Climático da soja	21
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
7 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	35

LISTAS DE TABELAS E FIGURAS

FIGURA 01. Condições gerais e clima durante o ciclo de vida do <i>P. pachyrhizi</i> FONTE: Perasoni et al. (2020).....	17
FIGURA 02. Mapa referente aos 12 municípios do estado do Maranhão. FONTE: IBGE (2021).....	20
TABELA 01. Municípios do Maranhão com seus respectivos índices de produtividade do ano de 2021, temperatura e precipitação (média dos últimos 5 anos). FONTE: IBGE (2021).	21
TABELA 02. Cidades do Maranhão e suas coordenadas geográficas. FONTE: IBGE (2021).	22
FIGURA 03. Mapa referente a precipitação no estado Maranhão do mês de janeiro a junho.FONTE: Nasa/Power 2022	24
FIGURA 04. Mapa referente a precipitação no estado Maranhão do mês de julho a dezembro. FONTE: Nasa/Power 2022	25
FIGURA 05. Mapa referente a temperatura no estado Maranhão do mês de janeiro a junho. FONTE: Nasa/Power 2022	27
FIGURA 06. Mapa referente a temperatura no estado Maranhão do mês de julho a dezembro. FONTE: Nasa/Power 2022	28
FIGURA 07. Mapa referente a zoneamento no estado Maranhão do mês de janeiro a junho. FONTE: Nasa/Power 2022	30
FIGURA 08. Mapa referente a zoneamento no estado Maranhão do mês de julho a dezembro. FONTE: Nasa/Power 2022	31

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertencente à família das oleaginosas, teve sua exploração iniciada no sul do país e hoje. Esta cultura tem apresentado grande destaque nos avanços de cultivo realizados nas áreas de Cerrado, de modo que seu crescimento é resultado dos avanços científicos e da disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. Este crescimento é oriundo dos avanços científicos e da disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. Tecnologias voltadas para parte de mecanização, além do surgimento de cultivares com viabilidade produtiva sendo adaptadas às diversas regiões, a expansão e renovação de pacotes tecnológicos relacionados ao manejo de solos, ao manejo de adubação e calagem, controle e monitoramento de pragas e doenças, além da identificação e solução para os principais fatores responsáveis por perdas no processo de colheita, são fatores promotores desse avanço (FREITAS, 2011).

A cultura da soja é cotada como o principal produto agrícola da pauta das exportações brasileiras atualmente, sendo a maior responsável pelo crescimento da demanda referente a colheita nacional de grãos. Deste modo, a soja é considerada o principal produto agrícola produzido em grande escala no Brasil, tornando o país, a o segundo maior produtor e confirmando e primeiro exportador desta cultura no mundo (CHUNHA; SPÍDOLA, 2015).

Segundo Cunha e Spíndola (2015), a nova fronteira agrícola que engloba o Norte e o Nordeste do país vem se colocando em destaque no cenário do agronegócio brasileiro quando nos referimos a cultura da soja. A área do Cerrado que compreende as regiões produtivas do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, vem sendo apontada como um novo cenário no mercado nacional de grãos, por apresentar características favoráveis que quando associadas ao uso de modernas técnicas agrícolas e permitindo que a região se torne um grande atrativo para produtores, muitos deles oriundos de outros estados buscando geralmente, áreas extensas e viáveis para o desenvolvimento de agricultura empresarial em grande escala.

Atualmente o cenário das doenças que surgem na cultura da soja dentro do território nacional vem se alterando a cada ano, havendo aumento da severidade de

algumas doenças, sejam estas de ataques diretos a parte aérea, e/ou causadas por fungos que habitam o solo. Diversas doenças podem ocorrer na cultura da soja, dentre elas temos o exemplo da ferrugem asiática que acaba sendo uma doença com alto custo para o seu controle que é realizado com fungicidas, além de perdas na produção e qualidade da soja (ÍTO, 2013).

O conhecimento prévio, com determinada precisão das safras é uma alternativa estratégica para os produtores, bem como para o país, quer seja no planejamento do abastecimento interno, quanto para exportação (GOMES et al., 2014). O nível de tecnologia que é utilizado assim como variabilidade climática influenciam diretamente nas mudanças que ocorrem no rendimento de grãos das culturas, podendo estes sofrerem influências em relação aos anos e locais de cultivo. Neste sentido, os estudos sobre zoneamento climático voltados para a cultura da soja, no Brasil, apresentam como pontos chave: situações envolvendo as principais variáveis limitantes, que são a deficiência hídrica, a insuficiência térmica e a falta de uma estação seca na época de colheita (CUNHA et al, 2001a).

Nesse sentido, uma alternativa é o ZARC é um programa autônomo e dinâmico que se encontra em processo de aperfeiçoamento constante. Os resultados são tidos como positivos pelos ganhos oriundos da melhoria dos sistemas produtivos, além da melhoria da qualidade genética das cultivares em uso. O que resulta ao produtor um prévio planejamento quanto as condições de deficiência hídrica e problemas climático, que permitirá assim um aumento nas quantidades produtivas agrícolas.

2 HIPÓTESE DO TRABALHO

O presente trabalho tem por hipótese que o mapeamento do zoneamento agrícola na cultura da soja em cidades do Maranhão, permite o acompanhamento dos possíveis locais e épocas de evolução da doença ferrugem asiática.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Auxiliar no monitoramento dos possíveis impactos climáticos que provocam alterações na fase de desenvolvimento inicial da soja e em seu desenvolvimento, devido a evolução da doença ferrugem asiática, visando minimizar perdas oriundas dos riscos climáticos de ocorrência na região do estado do Maranhão, auxiliando no manejo da doença.

3.2 Objetivos específicos

- Verificar as condições climáticas associadas a ocorrência da ferrugem asiática;
- Melhorar a qualidade e disponibilidade de dados e informações sobre riscos agroclimáticos no estado do Maranhão;
- Mapear áreas que permitam melhor adaptação da cultura da soja no Estado;
- Minimizar riscos ligados aos fenômenos climáticos adversos e permitir a cada município identificar a melhor época de plantio da cultura da soja.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação teórica de um estudo científico se constitui como parte crucial para entender os conceitos que serão abordados, que necessitam ser esclarecidos ao longo do estudo e antever os dados encontrados durante a investigação (SOUSA; COSTA 2018). Nestes moldes, nessa seção do estudo é apresentada a fundamentação teórica na qual é discutido o Zoneamento Agrícola, a cultura da soja e os programas de apoio ao zoneamento, dentre outras discussões abordadas.

4.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é considerada uma das mais importantes culturas para a economia mundial. Seus grãos são utilizados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Atualmente, vem crescendo da mesma forma seu uso como fonte alternativa de biocombustível (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

No Brasil, a soja é cotada como uma das culturas de maior importância econômica. Pesquisas realizadas no território nacional possibilitaram o seu cultivo em toda a extensão territorial do país, compreendendo dimensões que se estendem desde o Rio Grande do Sul até o Equador, tornando a soja, um produto com grande qualidade nutritiva, presente em todas as regiões do Brasil. Seu uso pode ser descrito como excelente fonte vegetal despertando potencialidade para utilização na dieta humana, apresentando grande teor de proteínas de boa qualidade. Originária do Oriente a soja é uma fonte alimentar pouco conhecida entre os brasileiros, sendo, portanto, considerada um alimento exótico (ALBUQUERQUE et al., 2009).

A ampliação da soja no Brasil ocorreu a partir da região Sul do país e sua inclusão em novas áreas de plantio foi viabilizada graças à adoção de novas tecnologias, como uso de sementes de excelente qualidade física, fisiológica, genética e sanitária; adoção do sistema de plantio direto; o desenvolvimento da soja para baixas latitudes e mais resistência às pragas e doenças, acrescentando cultivares mais produtivas e adequadas aos diferentes planos de cultivo (PETTER et al., 2012).

De acordo com Cunha et al. (2001a), o zoneamento climático para a cultura de soja nos estados brasileiros, inclui diversas variáveis limitantes, tais como: a deficiência hídrica, a insuficiência térmica e a falta de uma estação seca na época de colheita. É por meio do Zoneamento de Risco Climático que se tem noções orientadas em notas técnicas que direcionam o cultivo da soja.

4.2 Ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*)

Uma combinação de elementos meteorológicos pode afetar significativamente o desenvolvimento e a produção da soja. Em condições ideais de temperatura (faixas entre 24°C a 30°C), radiação, chuva, vento e umidade, doenças como a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) podem aparecer e requerem uso expresso de defensivos agrícolas (PERASONI et al., 2020).

Desde 2001, quando foram detectadas as primeiras infecções fúngicas no país, ferrugem asiática atingiu uma área nacional de aproximadamente 20 milhões de hectares. Este evento pode ser atribuído a sua grande capacidade de propagação pelo ar, permitindo-lhe atingir áreas mais remotas, causando virulência e perdas na produtividade. Assim, a agressividade da doença está fortemente relacionada às condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do fungo causador desta doença em todas as regiões do Brasil (BERUSKI et al., 2019).

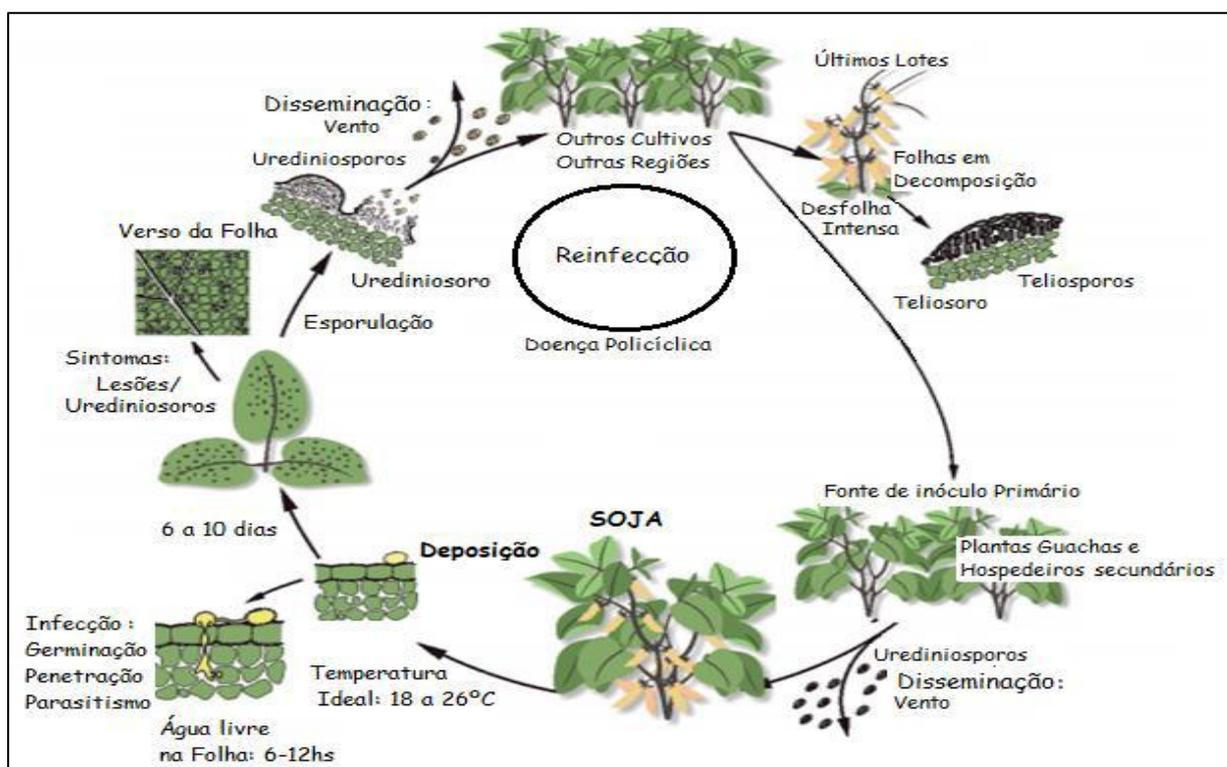
Uma análise geral das variáveis climáticas permitiu observar a relação entre temperatura, umidade relativa, precipitação e o desenvolvimento das primeiras pustúlas da ferrugem asiática nas estruturas foliares da soja. Com o auxílio de evidências climáticas obtidas em campo, concluiu-se que as condições ambientais anteriores ao evento infeccioso eram favoráveis, possibilitando e favorecendo o desenvolvimento e progressão da epidemia fúngica. Vale ressaltar que os resultados mostram consistência com os dados da literatura em vários casos, principalmente em relação a (UR), precipitação, temperatura e umidade foliar (PERASONI, 2020).

A ferrugem asiática é a doença mais importante da soja e tem alto potencial de dano foliar. O fungo biotrófico *P. pachyrhizi* é o agente causal da ferrugem asiática da soja (FAS), uma doença de grande perda econômica. Caracteriza-se por ser muito agressivo e em rápida expansão, pode reduzir a produtividade em até 90%. O uso de sistemas de previsão de doenças pode reduzir o número de surtos

de doenças fúngicas, alterando-os apenas quando necessário, e assim também os custos do produtor, os riscos de grandes epidemias e contaminação ambiental (ENGER, 2019).

O nível produtivo das culturas agrícolas está diretamente relacionado a quantidade de chuvas, assim como a frequência e nível de intensidade que nos períodos de escassez durante a estação de crescimento das culturas. O momento da escolha da melhor época para semeadura, pode ser realizado oriundo de simulação dos componentes de um balanço hídrico, onde os resultados quando georreferenciados, podem ser especializados por meio de um sistema de informação (MACEDO et al., 2001). Desta forma, na Figura 1 temos a representação das condições gerais climáticas necessárias para o desenvolvimento da ferrugem asiática.

Figura 01. Condições gerais e clima durante o ciclo de vida do *P. pachyrhizi*.



Fonte: Perasoni et al. (2020)

A doença apresenta sintomas iniciais característicos, onde pequeníssimos pontos surgem (em média 1mm de diâmetro) em tons geralmente mais escuros do que o tecido da folha, tendo uma coloração que pode variar entre as tonalidades cinza-esverdeada a esverdeada. Nesse ponto escuro nota-se uma pequena pústula,

que evolui e desenvolve diversas urédias (estrutura reprodutora dos fungos). As pústulas tendem a ser estruturas de coloração castanho-clara a castanho escura, abrindo-se um minúsculo poro, e os uredosporos. Os uredosporos são estruturas adquirem a cor bege e acumulam-se ao redor dos poros ou são carregados pelo vento. Estes sintomas são característicos do processo infeccioso e podem causar lesões em folhas, pecíolos, haste e promover a desfolha precoce (TRENTINI et al., 2017).

4.3 O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)

Zoneamento é uma das alternativas mais eficazes quanto ao planejamento de cultivo para determinados ambientes e culturas de interesse econômico. Conforme aponta Silva e Santos (2011) o zoneamento possui diversas adjetivações, utilizado principalmente para definir zonas a partir de critérios pré-estabelecidos. Os resultados levantados a partir do zoneamento podem ser apresentados de diversas formas, tais como: mapas, tabelas e índices técnicos.

O zoneamento consiste na compartimentação de uma região em territórios, obtidas a partir de atributos que possuem maior importância. Cada zona delimitada possui alto grau de associação dos elementos que a compõe e ao mesmo tempo possui grandes diferenças com as zonas vizinhas (FREITAS et al., 2014).

Este método desenvolvido pela Embrapa tem como principal intuito orientar produtores rurais sobre os períodos mais indicados para plantio de acordo com a cultura e o município de interesse. Sendo assim, se propõe a apoiar a formulação, ao aperfeiçoamento e a operacionalidade de programas e políticas públicas de gestão (SANTOS; MARTINS, 2018).

De acordo com o Governo Federal, por intermédio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em nota oficial datada de 31/01/2017 “O Zoneamento Agrícola é apontado como um dos instrumentos de política agrícola e gestão de risco na agricultura. E constitui-se como um estudo que se objetiva primordialmente a minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite que determinado município identifique qual é a melhor época

para plantio das culturas, nos mais diferentes tipos de solos e ciclos cultivares” (BRASIL, 2021).

O risco é um ponto chave quando falamos de agricultura, pois se torna geralmente necessário um bom nível tecnológico, para produção de alimentos além de destacar a importância do setor agrícola para a economia brasileira quando comparadas as atividades econômicas modernas, a atividade agropecuária é a que está sujeita aos maiores riscos de perdas e oscilações nos volumes produzidos, com impactos negativos para toda a sociedade (ASSAD et al., 2008).

Nesse sentido, o ZARC é colocado como uma das técnicas de mais fácil entendimento e adoção pelos produtores rurais, agentes financeiros e demais usuários para o cultivo de diferentes culturas. Sendo validada pela Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e adotada pelo Ministério da Agricultura. Estabelece os parâmetros de clima e solos, para quantificar riscos climáticos envolvidos na condução das lavouras que podem ocasionar perdas na produção (HEIL; JOSSEN, 2021).

Dada à importância da soja que faz com que diversos estudos se formem em torno do cultivo desta cultura. É através dessa necessidade que a cultura foi inserida junto ao ZARC. O Zoneamento de Risco Climático para o cultivo da soja possibilita uma série de estudos sobre o plantio, sobre os fatores de riscos e doenças como: Ferrugem asiática, podridão radicular de fitóftora e Antracnose, dentre outras que podem degradar o plantio dessa cultura (MACIEL et al., 2009).

Essa praticidade é resultado de um estudo acerca dos municípios que indica os plantios de determinadas culturas, os baixos ou altos riscos, elaborando um calendário com as respectivas datas de plantio para cada cultura por localidade. Este estudo é revisado anualmente e publicado como portaria no website do Diário Oficial da União e no site do Ministério da Agricultura. Conforme dados levantados pelo site do Ministério da Agricultura, os estudos de zoneamento já são estabelecidos para 40 culturas, sendo: 15 de ciclo anual e 24 permanentes atingindo 24 Unidades da Federação (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

4.4 Zoneamento Climático no Estado do Maranhão

O Maranhão está situado em uma área de transição entre a região nordeste e a região amazônica., encontrando-se na posição localizada entre três macrorregiões brasileiras: Nordeste, Norte e Centro Oeste. Onde desta forma, reúnem feições fitogeográficas e climatológicas características dessas áreas, fisiograficamente, o Maranhão apresenta sete microrregiões: Litoral, Baixada Maranhense, Cerrados, Cocais, Amazônia, Chapadões e Planalto. O clima semiúmido abrange grande porção do território maranhense onde os solos apresentam uma grande variedade (SILVA et al., 2016).

O estado do Maranhão apresenta predominantemente clima tropical e temperaturas médias anuais com níveis superiores a 26 °C, seus índices pluviométricos anuais que variam desde aproximadamente 700 mm na região central a superiores a 2200 mm na região norte (NuGeo UEMA, 2016).

Um dos grandes fatores condicionantes do clima no estado do Maranhão é a sua posição geográfica, pois o mesmo está situado em uma zona de transição que recebe influências do complexo amazônico, ao norte e noroeste, favorecendo assim a tendência do clima a apresentar características equatoriais (quente e úmido); e outra na região semiárida do Nordeste dando ao estado características peculiares. Sua grande extensão territorial no sentido latitudinal contribui anualmente para a atuação de diferentes sistemas meteorológicos, contando ainda com a influência das condições dos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical (NASCIMENTO et al., 2017).

No que se refere a ferrugem asiática a chuva tende a amplificar o período de molhamento necessário para que ocorram assim o desenvolvimento de novas infecções, alguns modelos empíricos foram desenvolvidos na China, considerando algumas taxas variáveis de chuva durante meses fixos nas safras, para assim conseguir estabelecer os níveis finais de severidade da doença, observando-se os dados de epidemias que ocorreram em um intervalo de tempo durante mais de 10 anos. Em um levantamento realizado no Brasil, observou-se que ocorre uma forte associação entre os níveis finais de severidade da ferrugem e o número de dias chuvosos juntamente com quantidade de chuva (mm) em um período de 30 dias após o surgimento inicial da doença, dados estes obtidos através do monitoramento

de 35 epidemias que ocorreram durante três anos, em diferentes regiões produtoras (DEL PONTE, 2005).

A ocorrência completa da infecção do patógeno depende da sequência de eventos que são determinados através da germinação de esporos, formação de apressório e penetração. Todos estes eventos e conseqüentemente a colonização e esporulação são influenciadas por fatores bióticos (interação entre patógeno-hospedeiro) e fatores abióticos do ambiente. Entre os fatores abióticos, a temperatura e o molhamento foliar exercem papel fundamental, principalmente nos processos monocíclicos de germinação e de infecção de *P. pachyrhizi* em soja (ALVES et al., 2007).

4.5 Nota técnica do Zoneamento de Risco Climático da soja

No mês de maio de 2021, foram publicadas no Diário Oficial da União, pelo Ministério da Agricultura, Pecuário e abastecimento, as portarias nº 110 a 125 com notas técnicas sobre o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a safra de soja nos anos de 2021/2022: “Temos um total de 15 estados que são contemplados pelas portarias, dentre elas temos: Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Bahia, Maranhão, Piauí, Acre, Pará, Rondônia, Tocantins, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Neste ZARC fica o destaque para os elementos climáticos que apresentam grande influência na produção da soja *G. Max* que são a precipitação pluvial, temperatura do ar e fotoperíodo. A disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da cultura: germinação/emergência e floração/enchimento de grãos. Déficits hídricos expressivos, durante a floração/enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento dos estômatos e o enrolamento de folhas e, como conseqüência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, em redução do rendimento de grãos” (BRASIL, 2021).

Brasil (2021) ainda destaca que, “A adaptação da soja tende a ser melhor em temperaturas do ar que estejam no intervalo de 20°C e 30°C, a sua temperatura ideal para um pleno crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C, sua faixa de temperatura do solo pertinente para semeadura fica variável entre 20°C e

30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento. A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C. A floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas, podendo acarretar diminuição na altura de planta”.

O zoneamento na cultura da soja pode combater diversos tipos de riscos para a produção, principalmente o fitossanitário causado pela ferrugem asiática da soja, uma vez que, o ZARC leva em conta recomendações de instituições de pesquisas e órgãos estaduais, orientando sobre medidas de manejo necessárias para uma boa safra. Sendo assim, os produtores de soja que se atentam as recomendações do ZARC correm menos riscos de perda da produção e podem ainda ser beneficiados por programas como: Programa de Garantia de Atividade Agropecuária (PROAGRO) e Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR).

Neste sentido, Melo et al. (2020), afirmam que o modelo de simulação agro meteorológico elaborado para o balanço hídrico, juntamente com às técnicas de geoprocessamento viabilizou a execução da obtenção de dados no tempo e no espaço, além de facilitar o entendimento da relações solo-clima-planta, permitindo assim a elaboração de um zoneamento agrícola de risco climático que recomende as épocas mais favoráveis para efetuar a semeadura da cultura da soja no bioma Cerrado. Desta forma, foi possível a identificação das zonas agrícolas de baixo risco climático, e estas estão localizadas na área central do bioma Cerrado e na área de transição entre os biomas do Cerrado e Amazônia; no entanto, áreas de médio e alto risco estão localizadas em sua grande maioria nas áreas de transição entre os biomas do Cerrado e da Caatinga, e entre o Cerrado e o Pantanal.

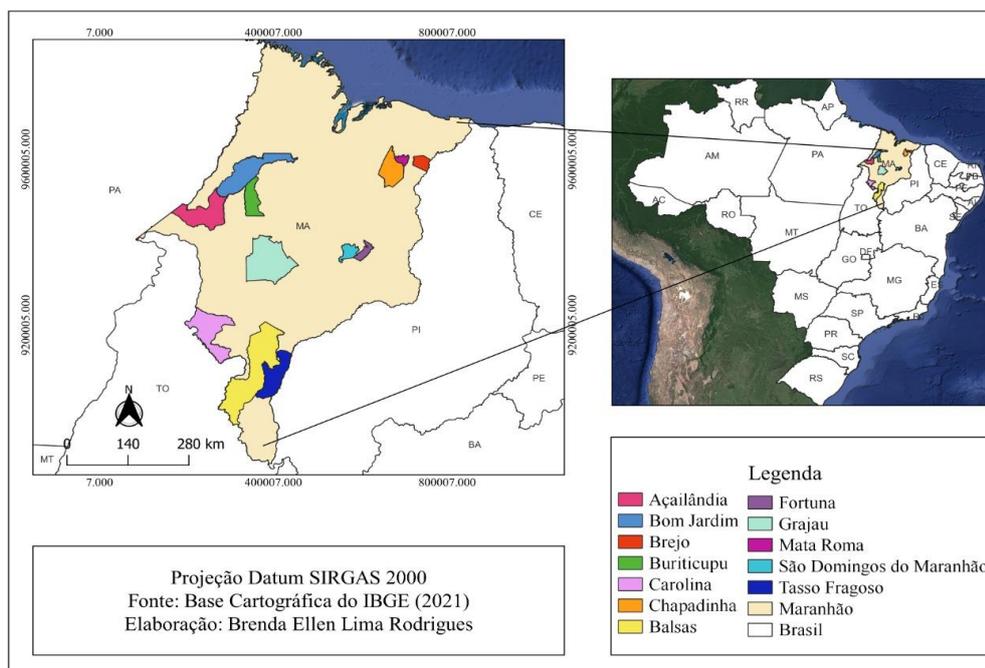
5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa elaborada pela Embrapa, no zoneamento agrícola tem como princípio a integração de modelos que desempenhem a simulação de crescimento e desenvolvimento cultural, utilizando para isso bases de dados de clima e solo, técnicas de análise de decisão e ferramentas de geoprocessamento (CUNHA et al., 2001b).

O levantamento realizado visa colaborar quanto a informações referentes a influência das mudanças climáticas que ocorrem no Nordeste do país, que potencializam diretamente o surgimento de doenças de possíveis vetores que se tornam cada vez mais prejudiciais para produtividade agrícola. Sendo assim, possíveis métodos que visam auxiliar no controle e manejo adequado das principais doenças incidentes na cultura da soja, tendo como objetivo final orientar produtores quanto ao modo de ação dessas doenças.

Para realização de tal monitoramento climático, as buscas foram realizadas no NASA/POWER, que forneceu dados mensais sobre temperatura do ar e precipitação, no intervalo de 5 anos no período de 2016 a 2021. Doze cidades do estado do Maranhão foram selecionadas: Açailândia, Balsas, Buriticupu, Bom Jardim, Brejo, Carolina, Chapadinha, Fortuna, Grajaú, Mata Roma, São Domingos do Maranhão e Tasso Fragoso, todas essas cidades são polos produtores da cultura da soja dentro do estado do Maranhão (Figura 2)

Figura 02. Mapa referente as cidades de Açailândia, Balsas, Buriticupu, Bom Jardim, Brejo, Carolina, Chapadinha, Fortuna, Grajaú, Mata Roma, São Domingos do Maranhão e Tasso Fragoso



Segundo Godoy et al. (2012), o regime de temperatura mais favorável para o desenvolvimento da ferrugem asiática foi de 28°C, a doença não se desenvolve nos regimes de temperatura de acima de 30°C e nem em temperaturas menores ou iguais a 24°C. Utilizando a informação do autor mencionado, foi estabelecido tais parâmetros como base para criação dos mapas onde a doença foi escolhida devido a sua importância agrícola fazendo uso destas faixas de temperatura para determinação das áreas de zoneamento da ferrugem-asiática, onde de acordo com os dados de temperatura e precipitação as zonas foram classificadas como restritas ou aptos para o desenvolvimento da ferrugem asiática na cultura da soja, de acordo com as interferências de precipitação e temperatura durante os meses do ano.

Para determinação dos municípios selecionados informações referentes a produtividade, temperatura e precipitação foram coletadas do IBGE, como descrito na Tabela 1.

TABELA 1. Municípios do Maranhão com seus respectivos índices de produtividade do ano de 2021, temperatura e precipitação (média dos últimos 5 anos).

MUNICIPIO	PRODUTIVIDADE (ton.)	TEMPERATURA	PRECIPITAÇÃO
Açailândia	178.681	21 °C a 33 °C	1.536 mm
Balsas	609.025	21 °C a 37 °C	1.800 mm
Buriticupu	115.618	24,5 e 26,0 °C	1.800 mm
Bom Jardim	37.740	22 °C a 34 °C	2.200 mm
Brejo	49.600	23 °C a 35 °C	1.3560 mm
Carolina	85.860	21 °C a 35 °C	1.700 mm
Chapadinha	13.640	22 °C a 37 °C	1.610 mm
Fortuna	1.833	22 °C a 36 °C	1.7000 mm
Grajaú	39.145	21 °C a 34 °C	1.200 mm
Mata Roma	26.080	23 °C a 36 °C	1.600 mm
São Domingos do Maranhão	4.368	21 °C a 38 °C	1.800 mm
Tasso Fragoso	609.930	22 °C a 28 °C	1.800 mm

Fonte: IBGE (2021)

Na Tabela 2 temos os dados de coordenada geográfica (latitude e altitude) das cidades selecionadas para o estudo. Além de serem polos de produção da soja,

tais cidades foram escolhidas de acordo com a sua localização no estado, onde as cidades de Grajaú, São Domingos e Fortuna ficam localizadas no centro do estado. Chapadinha, Mata Roma, Brejo no leste maranhense. As cidades de Balsas, Tasso Fragoso e Carolina na região sul do estado e as cidades de Açailândia, Buriticupu e Bom jardim no Oeste.

TABELA 2. Cidades do Maranhão e suas coordenadas geográficas.

MUNICIPIO	LATITUDE	LONGITUDE
Açailândia	4° 57' 14"	47° 30' 7"
Balsas	7° 31' 59"	46° 2' 6"
Buriticupu	4° 20' 34"	46° 24' 6"
Bom Jardim	7° 1' 13"	46° 29' 27"
Brejo	3° 41' 7"	42° 45' 4"
Carolina	7° 20' 16"	47° 28' 4"
Chapadinha	3° 44' 26"	43° 21' 33"
Fortuna	5° 43' 22"	44° 9' 30"
Grajaú	5° 49' 5"	46° 8' 39"
Mata Roma	3° 37' 15"	43° 6' 33"
São Domingos do Maranhão	5° 34' 46"	44° 22' 59"
Tasso Fragoso	8° 28' 5"	45° 45' 26"

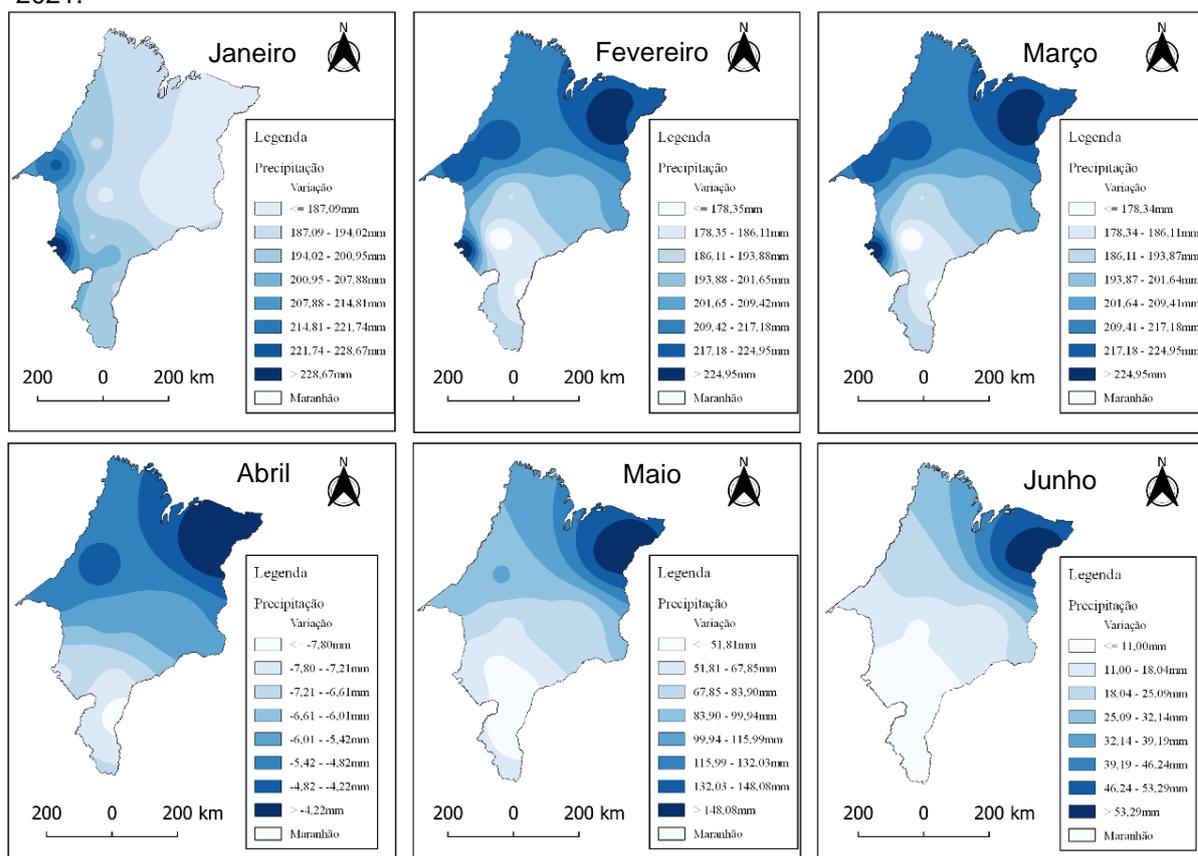
Fonte: IBGE (2021)

Para elaboração dos mapas, as camadas Shapefiles foram extraídas da base de dados do IBGE e os dados estatísticos foram obtidos na base de dados Nasa Power. Esses dados foram trabalhados no Excel® em formato CSV e aplicados junto as camadas Shapefiles para realização da interpolação IDW. A partir da interpolação desses dados, tornou-se possível a produção dos mapas de precipitação, temperatura e zoneamento no programa Qgis 3.22.8 Bialowieża®.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos mapas abaixo representados na Figura 3, temos a distribuição de precipitação no estado do Maranhão entre os meses de janeiro e junho no ano de 2021. Observou-se que no mês de janeiro a variação dos índices de precipitação, está em grande parte no Estado, entre as faixas de 187,09 – 190,02mm e 214,81 – 221,7mm com a maior ocorrência no oeste e sul do estado, onde estão localizadas as cidades de Açailândia, Buriticupu, Bom Jardim, Balsas, Carolina, Grajaú e Tasso Fragoso. No mês de fevereiro notou-se um aumento significativo nas faixas de precipitação, especialmente na região litorânea e do leste do estado, região onde estão localizadas as cidades de Chapadinha, Brejo e Mata Roma, com os índices superiores a >224,90mm. O plantio nesta região é realizado entre os meses de janeiro e fevereiro. O mês de março apresenta em sua grande parte médias próximas ao descrito anteriormente sobre o mês de fevereiro tendo maior incidência de precipitação no Norte e centro do maranhense onde ficam localizadas as cidades de Grajaú, São Domingos do Maranhão e Fortuna, ficando por volta de 209.41 – 217,18 mm como máxima mensal para região.

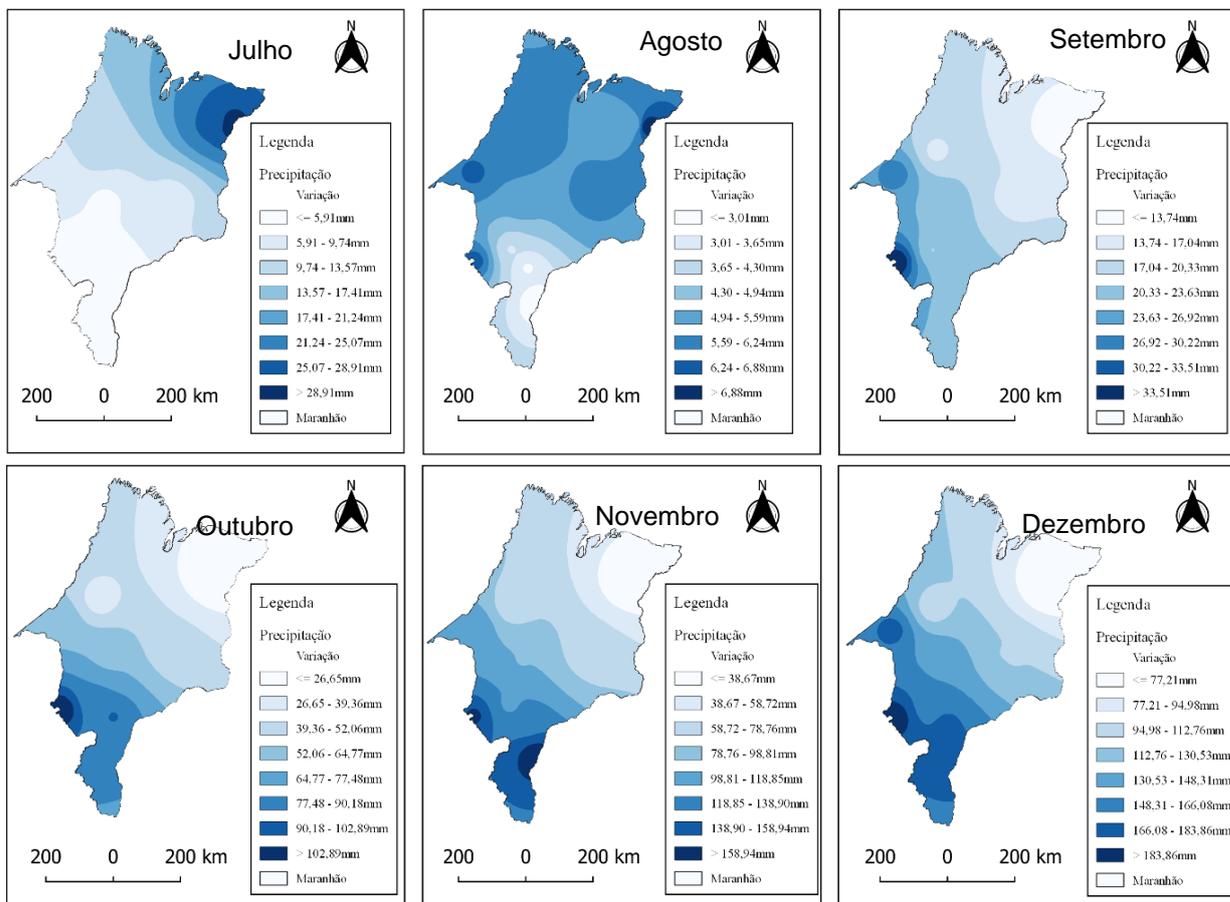
Figura 03. Mapa referente a precipitação no estado Maranhão do mês de janeiro a junho do ano de 2021.



No mês de Abril os índices de precipitação apresentaram uma diminuição significativa em todo estado, somente na região litorânea verificou-se médias por variáveis que estão com a mínimo >4,22 mm com o máximo de 7,80 – 7,21mm. No mês de Maio o volume pluviométrico fica por volta de 99,94 – 115,99mm, em grande parte do estado no mês de Junho a precipitação fica na faixa de 18,04 – 25,09mm ocasionando assim pequenas ocorrências de chuva em alguns pontos do norte e leste do estado, porém essas chuvas acontecem em uma escala de tempo mais escalonada (Figura 3).

Durante o mês de julho (Figura 4) o volume máximo de precipitação fica >28,91mm seguindo as mesmas características descritas sobre o mês de julho, nota-se que no mês de agosto os índices de precipitação ficam entre 3,01 – 6,88mm, porém bem distribuído por todo estado. Ao observamos o mapa que representa o mês de setembro nota-se que a precipitação começa a se concentrar a oeste do estado do maranhão onde ficam localizadas as cidades de Açailândia, Buriticupu e Bom Jardim cidades estas com volume de precipitação de 26,92 – 30,22mm e índices de 20,33 – 23,63mm para as demais localidades.

Figura 04. Mapa referente a precipitação no estado Maranhão do mês de julho a dezembro do ano 2021.



O índice de precipitação começou a se concentrar na região sul do estado no mês de setembro com média de 77,48 – 90,18 mm região está onde estão localizadas as cidades de Balsas, Carolina, Grajaú e Tasso Fragoso, geralmente o plantio de soja se inicia no sul do Maranhão entre o final do mês de setembro e início de outubro devido aos índices pluviométricos. No mês de outubro a faixa de precipitação no sul do estado foi de 138,90 – 158,94mm o que favorece o plantio da soja. No mês de Dezembro a faixa de precipitação que ficam localizadas tanto no Sul quanto no Oeste com índices de 130,53 – 148,31mm e indo até 166,08 – 183,86mm, nesta época do ano inicia-se o plantio nos municípios de Açailândia, Buriticupu e Bom Jardim (Figura 4)

Segundo Narváez et al. (2010), durante o período de 18 horas de molhamento foliar apresenta tendência no aumento da severidade da ferrugem-asiática e a taxa de disseminação da doença. Além disto nas regiões dos trópicos, epidemias severas de ferrugem-asiática da soja passam a ser frequentes em regiões com períodos prolongados de chuva, a intensa nebulosidade em associação a chuvas excessivas, fornecer condições favoráveis de temperatura e umidade à infecção das plantas e acabam por proteger o patógeno da luz solar direta, intensificando desenvolvimento de epidemias.

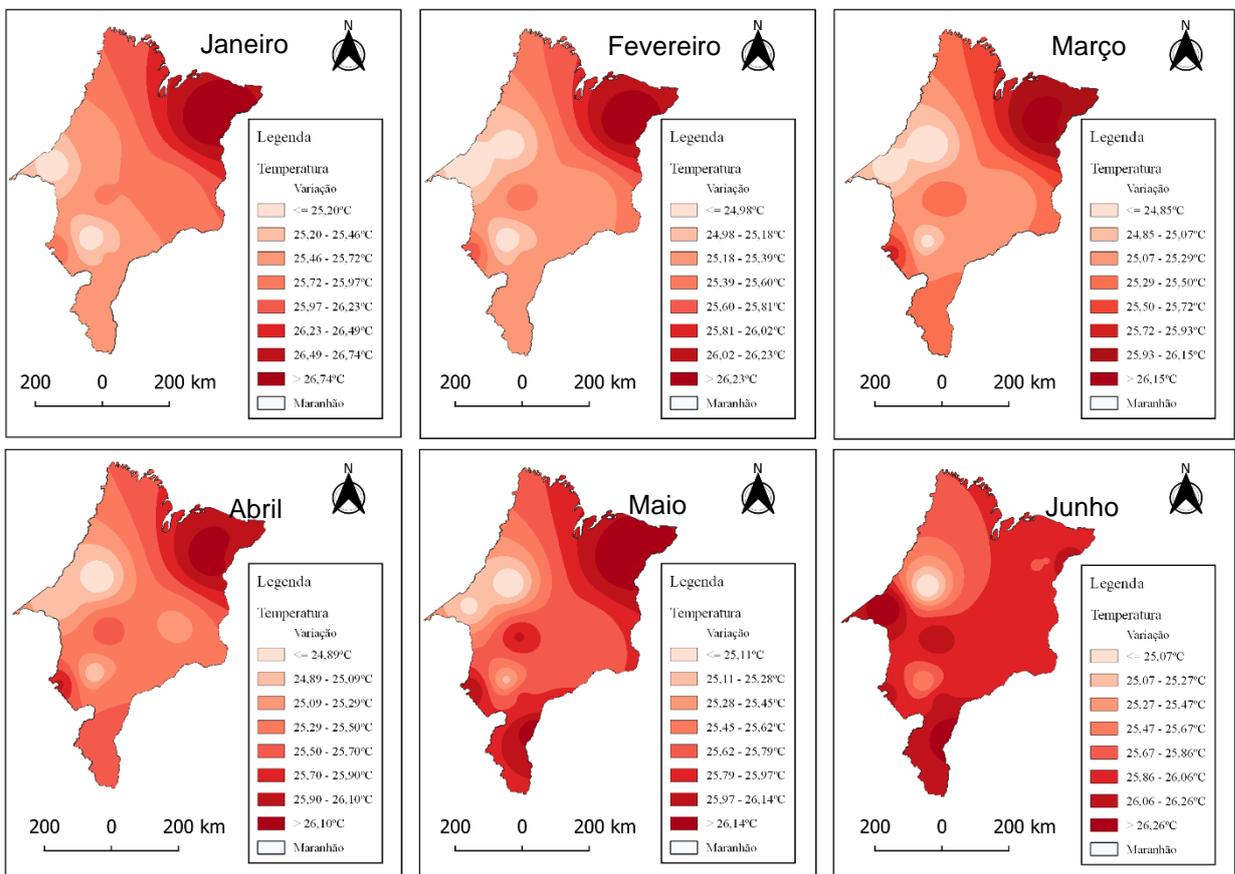
Sendo assim, todos os municípios passam a apresentar condições pluviométricas pertinentes ao desenvolvimento da ferrugem-asiática ocorrendo geralmente no início do plantio dessas regiões produtoras de soja.

A ferrugem asiática da soja é desencadeada por longos períodos de molhamento ou precipitações bem distribuídas, quando a temperatura ótima para o desenvolvimento da doença varia de 18° a 28° C onde em períodos muito quentes, acima de 30° C, e como a umidade baixa tornam as condições desfavoráveis para o desenvolvimento da ferrugem, ao estudar a sobrevivência de uredósporos e a evolução da ferrugem da soja sob faixas de temperatura, relatou que o crescimento dos esporos do fungo ferrugem asiática foi significativamente reduzida quando expostos a temperaturas de 28,6 ° a 42,5° C. Os melhores resultados de desenvolvimento foram constatados sob o regime de temperatura de 17° a 27° C (YORINORI et al., 2005).

Na Figura 05, no mês de janeiro a temperatura do estado do Maranhão apresenta a mínima 25,20°C e a máxima de 26,74°C, onde as maiores temperaturas

são em regiões do litoral e do leste maranhense que compreende as cidades Chapadinha, Brejo e Mata Roma o que leva a conciliação de condições adequadas para ocorrer zonas favoráveis a influência para ocorrer a precipitação. O mês de fevereiro apresenta temperaturas próximas ao mês de janeiro, porém as faixas de distribuição em grande parte do estado são na faixa de 25,39 – 25,60°C. No mês de março a temperatura máxima se estabelece entre 26,15 °C e a mínima em 24,85°C com um leve aumento no sul do estado, onde estão localizadas as cidades de Balsas, Carolina, Grajaú e Tasso Fragoso.

Figura 05. Mapa referente a temperatura no estado Maranhão do mês de janeiro a junho do ano de 2021.



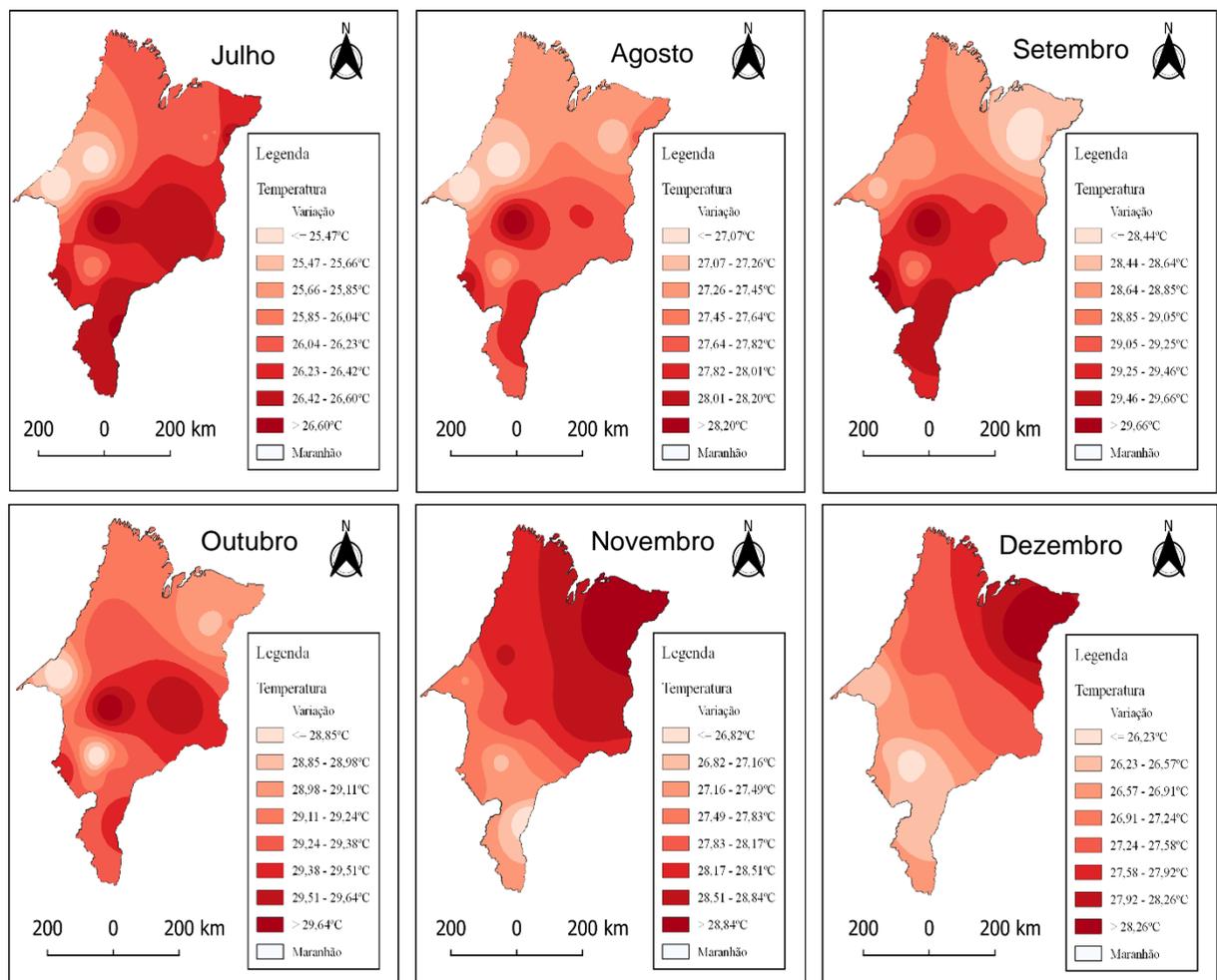
Nasa/Power 2022 (Adaptado pelo autor)

No que se observa na Figura 5, o mês Abril as faixas são extremamente próximas as que ocorrem no mês de março em grande parte do território maranhense, com a faixa de destaque para o litoral que ainda apresenta as maiores temperaturas (>26,10°C). Nota-se que no mês de maio as regiões do sul e leste do Maranhão apresentam temperaturas maiores que 26,14°C onde somente no oeste

as faixas estejam entre 25,11–25,28°C, em relação ao mês de junho somente neste encontramos temperaturas com variação de 25,07 – 25,67°C, porém no Norte, Leste e Sul do estado as faixas são maiores que 26,26°C (Figura 5).

No mês de julho (Figura 6) a maior variação de temperatura ocorre no leste e se estende pelo centro chegando até o sul do estado, com uma temperatura média maior que 26,60°C, observa-se no mapa representativo referente ao mês de agosto que a faixas de temperatura mais elevadas começam a se concentrar no Sul em faixas variáveis que estão entre 27,64 – 27,82°C onde neste mesmo mês a mínima se estabelece em 27,07°C. Os meses de setembro e outubro apresentam as maiores temperaturas anuais, observa-se que as faixas de temperatura chegam a apresentar máximas de 29,66°C no mês de setembro e 29,64°C no mês outubro as regiões apresentam a maior faixa de temperatura são do centro, leste e sul do Maranhão as faixas de temperatura mais amenas ficam no norte e oeste do estado.

Figura 6. Mapa referente a temperatura no estado Maranhão do mês de julho a dezembro do ano de 2021.



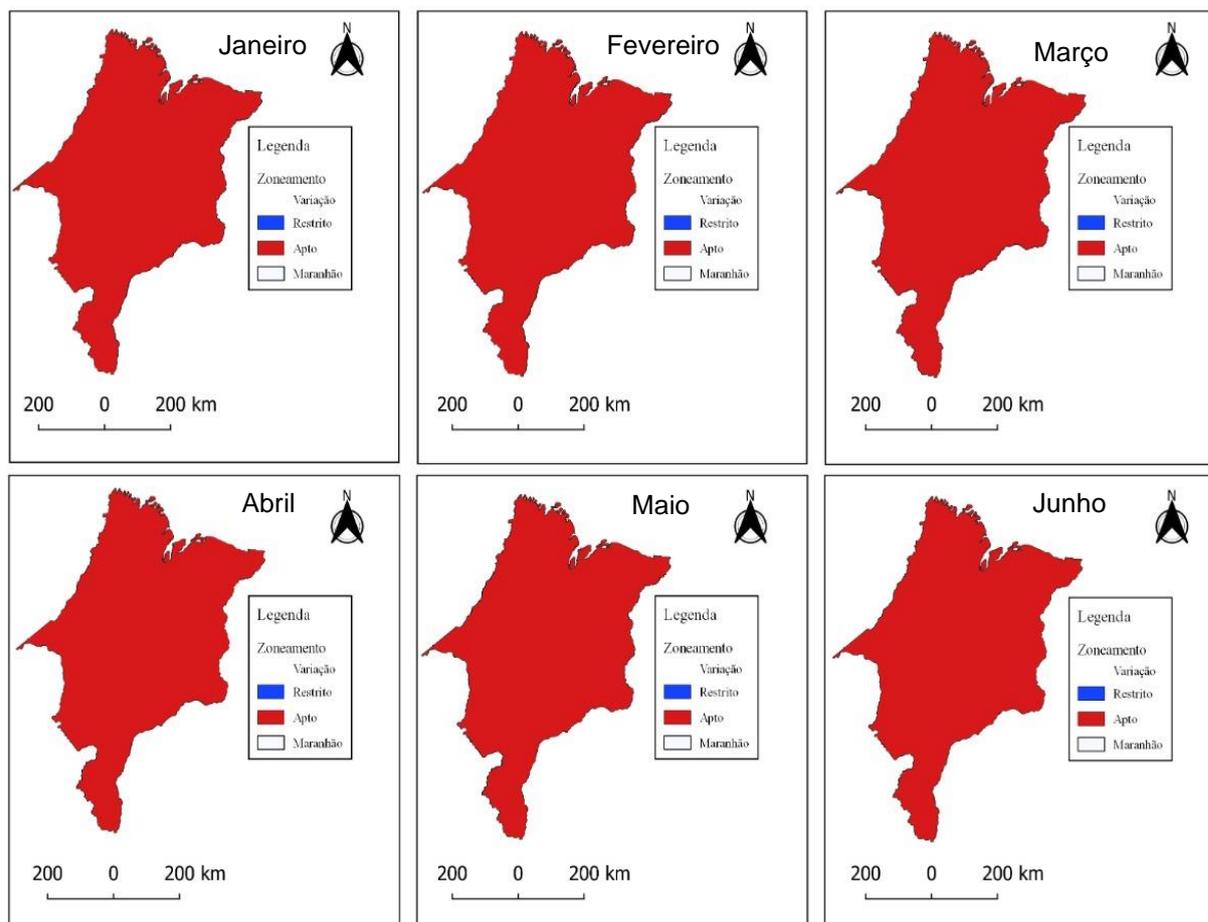
O mês de novembro é marcado por uma diminuição das zonas de temperatura no sul do estado (época do início do plantio de soja nesta região), os índices ficam por volta de 26,82 – 27,16°C, porém do centro do Maranhã se estendendo até o Norte e chegando até o litoral, em sua grande parte temos o registro de valores que estão na faixa de 28,51 – 28,84°C. Dezembro conta com mínima de 26,23°C e a máxima de 28,26°C, ao observamos o mapa nota-se que grande parte do estado apresenta temperaturas abaixo de 26,91°C principalmente no centro, oeste e sul, na região do leste é onde temos valores $\geq 27,58^\circ\text{C}$. (Figura 6).

Quanto a ferrugem asiática, os uredósporos iniciam o seu ciclo germinativo em até uma hora à temperatura ambiente de 25° a 27° C, porém a penetração no tecido foliar pode ocorrer à temperatura variando de 8° a 28°C. Sob condição favorável (molhamento e temperatura), as primeiras lesões devem ser visualizadas em até de 4 a 5 dias após a inoculação e as primeiras frutificações (urédias) e esporulações aparecem aos 6 a 7 dias após a inoculação (YORINORI et al., 2005). Desta forma nota-se que nos últimos 5 anos, nos doze meses do ano as faixas de temperatura nas 12 cidades do Maranhão são ideais para o surgimento e desenvolvimento da doença.

O zoneamento do estado do Maranhão ao longo dos meses de janeiro a junho (Figura 7), mostra que todas as doze cidades produtoras de soja são aptas ao desenvolvimento da ferrugem asiática, isto se dá devido aos índices de precipitação que se tornam elevados, e as faixas de temperaturas ideais ao longo do ano.

Em relação às temperaturas limitantes, valores que se encontram acima de 30 e abaixo de 15 °C sob condições secas (com poucas horas de molhamento) apresentam a tendência a ser responsáveis por retardar o progresso da ferrugem. Da mesma forma, em outra análise, os efeitos de temperatura e de períodos de molhamento foliar não foram significativos a 9 °C e 28,5 °C, onde não ocorreu desenvolvimento das lesões mesmo em períodos de molhamento de 20 horas (HARTMAN et al., 2005).

Figura 07. Mapa referente a zoneamento no estado Maranhão do mês de janeiro a junho do ano de 2021.



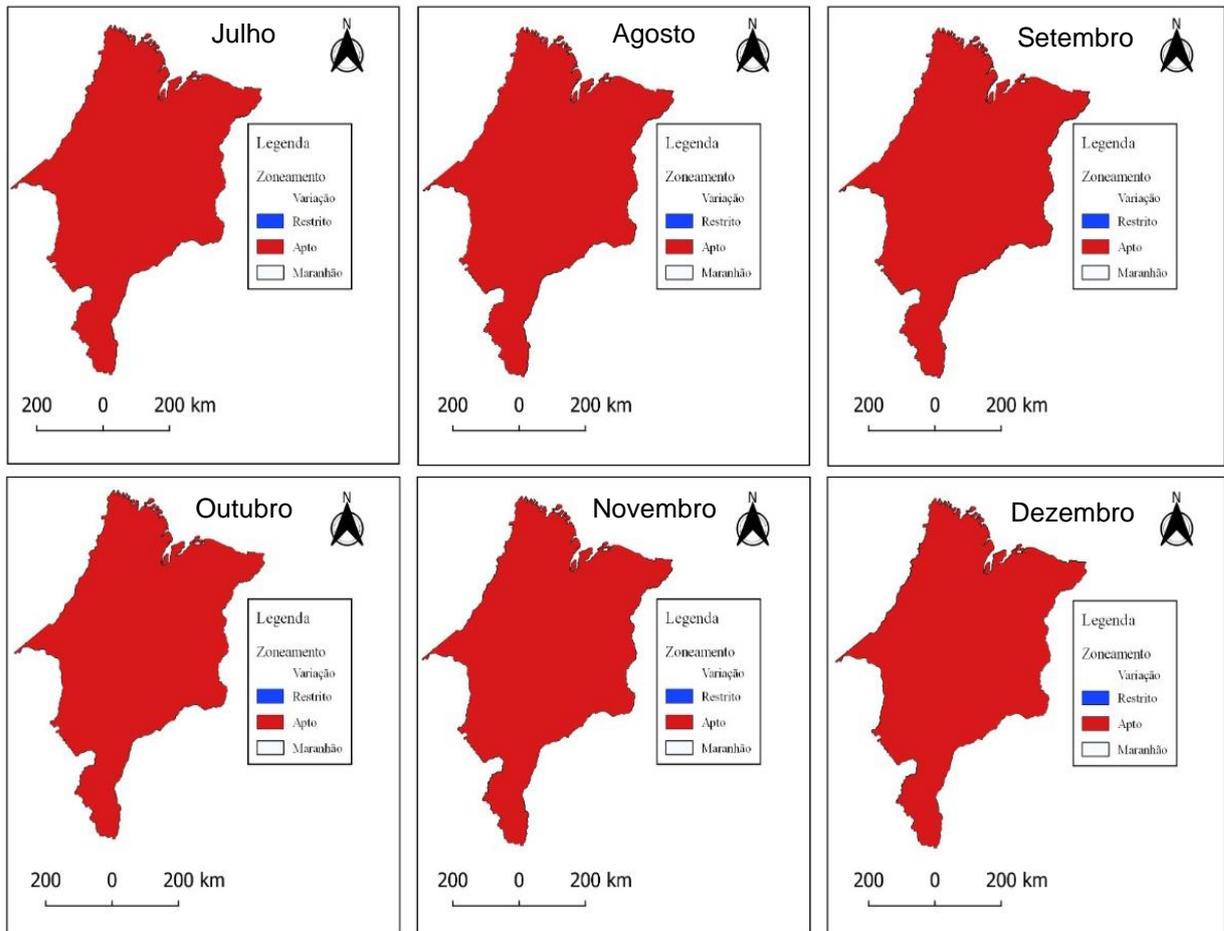
Nasa Power/2022 (Adaptado pelo autor)

No entanto, segundo os dados obtidos no processo de busca e através dos parâmetros de seleção estabelecidos na metodologia deste estudo, como demonstrado na Figura 08, dentre os meses de julho e dezembro todas as 12 cidades selecionadas estão aptas ao desenvolvimento ferrugem asiática, isto se dá devido a faixa de temperatura propicias além do nível volumétrico de precipitação no estado, as mesmas se encontram em uma área de convergência intertropical.

Tal afirmação acima mencionada é destacada por Nascimento et al. (2017), onde ele afirma, que a grande extensão territorial no sentido latitudinal do estado do Maranhão apresenta grande contribuição anualmente para que ocorra a atuação de diferentes sistemas meteorológicos, contando ainda com a influência das condições dos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical no clima local. Os sistemas com atuação direta no estado são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), maior indutora de chuva na região; as Linhas de Instabilidades, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

e os Distúrbios Ondulatórios de Leste que respondem pelas chuvas nessa região durante o verão e outono austral; e a Zona de Convergência do Atlântico Sul e Frentes Frias, que são responsáveis pelas chuvas na parte Sul do Maranhão nos meses de novembro e dezembro.

Figura 08. Mapa referente a zoneamento no estado Maranhão do mês de julho a dezembro no ano de 2021.



Nasa Power/2022 (Adaptado pelo autor)

7 CONCLUSÃO

Através dos dados obtidos no Naza Power notamos que o estado do Maranhão apresenta condições climáticas em níveis adequadas e eficientes para realização de manejo e produção da cultura da soja, o que proporcionaria um auxílio quanto ao monitoramento dos possíveis impactos climáticos que levariam a alterações na fase de desenvolvimento, assim como em suas fases fenológicas. Neste sentido, este mesmo estudo conclui que as 12 cidades monitoradas apresentam grande tendência a ocorrência da ferrugem asiática, devido índices de temperatura e pluviosidade favoráveis ao desenvolvimento. Este estudo evidenciou que a faixa de 28°C, a doença não se desenvolve nos regimes de temperatura de acima de 30°C e nem em temperaturas menores ou iguais a 24°C.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, T. L.; LIMA, M. D. A.; OLIVEIRA, V. S.; COELHO, R. M. D.; RODRIGUE, M. D. C. P. Processo e aceitação sensorial de produto do tipo hambúrguer à base de soja (*Glycine max*) e atum (*Thunnus spp*). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 27, n. 2, 2009.

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; FERREIRA, J. B., ARAÚJO, D. V. D., COSTA, J. D. C. D. B., DEUNER, C. C.; MACHADO, J. D. C. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathologica**, v. 33, p. 239-244, 2007.

ASSAD, E. D.; MARIN, F. R.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J. Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 246, p. 47 – 60, 2008.

BERUSKI, G. C.; GLEASON, M. L.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. Bleaf wetness duration estimation and its influence on a soybean rust warning system. **Australasian Plant Pathology**, v. 48, n. 4, p. 395-408, 2019.

BRASIL. **Zoneamento Agrícola**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/zoneamento-agricola>.> Acesso em: 25 abr. 2022.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 446-459, 2001a.

CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; HENRIQUE, P.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 400 - 414, 2001b.

CUNHA, R. C.; ESPÍNDOLA, C. J. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, v. 11, n 1, p 217-238, 2015.

DEL PONTE, E. M. Predicting regional soybean rust epidemics in Brazil and South Africa. **Phytopathology**, n. 95, p. 23. 2005.

ENGERS, L. B. D. O Sistema de previsão para o manejo da ferrugem asiática em soja. 2019. 60f. Dissertação mestrado – Pós-graduação em Ambiente e Tecnologia Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira do Sul, 2019.

FREITAS, L. E.; NEVES, S. M. A.; NEVES, R. J., CARVALHO, K. S. A.; KREITLOW, J. P.; DASSOLLER, T. F. Avaliação do Uso dos Solos nos Assentamentos do Município de Cáceres/MT. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2014.

FREITAS, M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

GODOY, C. V.; BARROS, D. C.; XAVIER, S. A. Avaliação de regimes de temperatura no desenvolvimento da ferrugem-asiática da soja. In: EMBRAPA SOJA-ARTIGO EM ANAIS DE CONGRESSO (ALICE), n. 1, 2012, Jaguariúna In: **Workshop sobre mudanças climáticas e problemas fitossanitários...** 2012, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012.

GOMES, A. C. D. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; PARIZI, A. R. C. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 43-49, 2014.

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

HEIL, T.; JOSSEN, A. Continuous approximation of the ZARC element with passive components. **Measurement Science and Technology**, v. 32, n. 10, p. 104011, 2021.

MACEDO, M. D.; ASSAD, E. D.; CÂMARA, G.; OLIVEIRA, J. C.; BARBOSA, A. M. Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 581-587, 2001.

MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V. de; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 141-154, 2009.

MELO, A. C. A.; JÚNIOR, A. D. A. N., SILVA, F. A. M., de ABREU, L. M. Zoneamento de risco climático para cultivo da soja no Cerrado. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 26-36, 2020.

MELO, R. W. de; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Indicadores de produção de soja no Rio Grande do Sul comparados ao zoneamento agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1167-1175, 2004.

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.

NASCIMENTO, F. D. C. A. D.; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. D. C. D. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 375-386, 2017.

NUGEO, Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. **Laboratório de Meteorologia**. Disponível em: <https://www.nugeo.uema.br/?page_id%20=%2081>. Acesso em: 10 out. 2022.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

PERASONI, A. D. C. M. **Sensoriamento remoto para identificar soja infectada por fungos causadores da ferrugem asiática**. 2020.123 f. Tese de Doutorado. Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, 2020.

PERASONI, A. D. C. M.; PEREIRA FILHO, W.; KRAMER, G. K.; ROSA, C. N. Condições meteorológicas associadas a ocorrência da ferrugem asiática da soja na fase assintomática. **Geoambiente On-line**, n. 37, p. 238-260, 2020.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; ALCÂNTARA NETO, F.; ZUFFO, A. M.; DE LIMA, L. B. Desempenho agrônomico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012.

SANTOS, W. G.; MARTINS, J. I. F. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 73-94, 2018.

SILVA, F. B.; SANTOS, J. R. N., FEITOSA, F. E. C. S., SILVA, I. D. C., ARAÚJO, M. L. S. D., GUTERRES, C. E., NERES, R. L. Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 330-336, 2016.

SILVA, J.; DOS SANTOS, R. F. **Estratégia metodológica para zoneamento ambiental: a experiência aplicada na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Taquari**. 1 Ed. Campinas. Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 329p.

TRENTINI, D., MÜHL, F. R., BALBINOT, M., FELDMANN, N. A., & RHODEN, A. C. Avaliação da Aplicação de Fungicidas no Controle da Ferrugem Asiática da Soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, v. 2, p. 30, 2017.

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, 179-190, 2013.