

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA BACHARELADO

LUCILARA RODRIGUES MENDES

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CALENDÁRIO DE PLANTIO DA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.) NO ESTADO DO MARANHÃO BASEADO EM
PROJEÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS**

SÃO LUÍS

2019

LUCILARA RODRIGUES MENDES

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CALENDÁRIO DE PLANTIO DA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.) NO ESTADO DO MARANHÃO BASEADO EM
PROJEÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes

SÃO LUÍS

2019

Mendes, Lucilara Rodrigues.

Impactos das mudanças climáticas no calendário de plantio da cultura do milho (*Zea mays* L.) no estado do Maranhão baseado em projeções climáticas futuras / Lucilara Rodrigues Mendes. São Luís, 2019.

54 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes.

1.Cenário climático. 2.Modelo ETA. 3.HadGEM2-Es.

CDU: 633.15(812.1)

LUCILARA RODRIGUES MENDES

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CALENDÁRIO DE PLANTIO DA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.) NO ESTADO DO MARANHÃO BASEADO EM
PROJEÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS**

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Estadual do Maranhão, como
requisito para obtenção do título de Engenheira
Agrônoma.

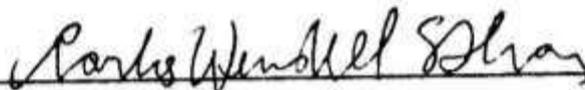
Aprovada em: 13/12/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ronaldo Haroldo N. de Menezes

Orientador



Me. Carlos Wendell Soares Dias

Examinador



Me. Jucivan Ribeiro Lopes

Examinador

*Dedico este trabalho aos meus pais, pelo
empenho incondicional em contribuir e apoiar a
minha jornada até aqui.*

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo incondicional ao longo dessa caminhada.

Aos meus avós, em especial meu avô Assis que amo muito e que tenho como grande inspiração na minha vida.

Aos meus amigos, em especial Mário, Keliane e Cassiana, pela contribuição para a minha formação.

Ao meu orientador, professor Ronaldo Menezes, pela dedicação em conduzir-me ao progresso na minha formação acadêmica.

Ao professor Jucivan, pelo auxílio na elaboração dos mapas.

E a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para o meu desempenho e desenvolvimento no curso.

Pés no chão, cabeça nas nuvens.

(Murrugas)

RESUMO

A cultura do milho é muito importante pra o cenário socioeconômico brasileiro e mundial. Além disso, se destaca pelo seu alto potencial produtivo, porém fatores como o clima, pode afetar seu desempenho. Logo, fica claro que o milho depende da interação com o clima para se desenvolver e produzir satisfatoriamente. Nesse sentido, a projeção de cenários de impactos climáticos futuros vem sendo muito utilizado nos últimos anos, devido à crescente das emissões de gases do efeito estufa - GEE e seu impacto sobre o clima, que consequentemente afeta o setor agrícola. Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o risco climático para o plantio do milho em diferentes cenários de mudanças climáticas no estado do Maranhão entre 2020 e 2049. Para simular as mudanças climáticas foi adotado o modelo de circulação global HadGEM2-ES acoplado ao modelo regional ETA, que por sua vez, induziu a simulação de dois cenários, o RCP 4.5 que é um cenário mais otimista com mitigação de gases GEE, e o cenário RCP 8.5 que implica num cenário mais pessimista. Os cenários foram analisados nas dez RHPs do Maranhão no período entre 2020 e 2049. As projeções do modelo HadGEM2-ES para os cenários indicaram aumento na temperatura do ar em todas as regiões analisadas. Com o aumento da temperatura, a disponibilidade hídrica foi afetada, apontando aumento do déficit hídrico e redução do excesso hídrico para os próximos 30 anos. Em caso de confirmação das projeções futuras, haverá um encurtamento na época de plantio de milho devido aos riscos climáticos encontrados na fase inicial do milho (semeadura/emergência) e no período crítico (floração/enchimento de grãos). Nesse contexto, são de extrema relevância as investigações das tendências climáticas futuras para tentar mitigar ou adaptar impactos no setor agrícola com intuito de minimizar os riscos da produção.

Palavras-chave: Cenário climático. Modelo ETA. HadGEM2-ES.

ABSTRACT

A corn crop is very important for the Brazilian and world socioeconomic scenario. In addition, it may be affected by its high production potential, but it may affect its performance. Therefore, it is clear that maize depends on the interaction with the climate to develop and produce satisfactorily. In this sense, a project of scenarios of future climate impacts has been widely used in recent years, due to the increase of greenhouse gases - GHG and their impact on climate, consequently affecting the agricultural sector. Thus, the objective of this research was to evaluate the scalable risk for maize planting under different climate change scenarios in Maranhão between 2020 and 2049. To simulate how climate change was adopted or the HadGEM2-ES global movement model, global regional ETA model, which in turn induced the simulation of two scenarios, RCP 4.5, which is a more optimistic scenario with GHG mitigation, and the RCP 8.5 scenario, which implies a more pessimistic scenario. The scenarios were analyzed in ten Maranhão RHPs between 2020 and 2049. As projections of the HadGEM2-ES model for the indicated scenarios, the temperature increase in all regions is analyzed. As the temperature increased, water availability was affected, the water deficit increased and the excess water decreased over the next 30 years. If future projections are confirmed, there will be a period of maize planting due to climate risks encountered in the early phase of maize (sowing / emergence) and in the critical period (flowering / grain consumption). In this context, investigations of future trends to try to mitigate or adapt impacts on the agricultural sector in order to reduce production risks are extremely relevant.

Keywords: Climatic scenario. ETA model. HadGEM2-ES.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetros utilizados para a análise de risco climático relacionado ao solo...	31
Tabela 2	Características da planta do milho.....	32
Tabela 3	Coefficientes de crescimento (Kc) da planta do milho.....	32
Tabela 4	Índices de Satisfação das Necessidades de Água da cultura do milho.....	33
Tabela 5	Desvio de temperatura do ar em relação à climatologia: RCP 4.5 e RCP 8.5...	35
Tabela 6	Disponibilidade hídrica para solos de textura média para os Cenários 4.5 e 8.5.....	36
Tabela 7	Calendário de plantio para a cultura do milho baseado na climatologia.....	40
Tabela 8	Calendário de plantio para a cultura do milho baseado no RCP 4.5.....	41
Tabela 9	Calendário de plantio para a cultura do milho baseado no RCP 8.5.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 1	24
Quadro 2	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 2	25
Quadro 3	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 3	25
Quadro 4	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 4	26
Quadro 5	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 5	26
Quadro 6	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 6	27
Quadro 7	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 7	27
Quadro 8	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 8	28
Quadro 9	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 9	28
Quadro 10	Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 10	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estado do Maranhão com suas divisões em Regiões Homogêneas de Precipitação – RHPs.....	23
Figura 2	Decêndios com aptidão plena para o plantio: Climatologia.....	43
Figura 3	Redução de decêndios com aptidão plena para o plantio: Cenário 4.5 vs Climatologia.....	44
Figura 4	Redução de decêndios com aptidão plena para o plantio: Cenário 8.5 vs Climatologia.....	45

LISTA DE SIGLAS

CAD	Capacidade de Água Disponível
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DEF	Déficit hídrico
EBC	Empresa Brasil de Comunicação
ETM	Evapotranspiração Máxima
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
EXC	Excesso hídrico
FAO	Food and Agriculture Organization
GEE	Gases de Efeito Estufa
HadGEM2-ES	Hadley Centre Global Environmental Model
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISNA	Índice de Satisfação das Necessidades de Água
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
MCGs	Modelos Climáticos Globais
MCRs	Modelos Climáticos Regionais
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
RCPs	Representative Concentration Pathways
RHPs	Regiões Homogêneas de Precipitação
USDA	United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	A cultura do milho	15
3.1.1	Origem e classificação botânica.....	15
3.1.2	Importância socioeconômica.....	15
3.1.3	Clima e Solo.....	17
3.2	Mudanças climáticas	18
3.3	Modelos e cenários climáticos	19
3.4	Calendário agrícola	21
4	METODOLOGIA	23
4.1	Área de estudo	23
4.2	Dados utilizados	29
4.3	Procedimentos metodológicos	29
4.3.1	Modelo e cenários prospectivos.....	29
4.3.2	Projeções futuras de temperatura do ar para as RHPs.....	30
4.3.3	Projeções futuras de disponibilidade hídrica para as RHPs.....	30
4.3.4	Risco climático para o plantio do milho.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O milho apresenta importante impacto econômico e social no mundo devido ao seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, sendo para muitos países alimento básico na dieta das populações e de expressiva interação no agronegócio devido ao seu emprego industrial e energético.

De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), o Brasil consolidou-se como o segundo maior exportador mundial do cereal (EBC, 2019). Entretanto, devido à sua dinâmica climática é comum ocorrer adversidades climáticas que podem afetar a produção agrícola, tais como, secas, excesso de chuvas, geadas dentre outros.

Nesse contexto, o clima atua como o principal fator das oscilações e frustrações das safras agrícolas no Brasil. No caso específico do milho, a produção brasileira teve elevadas reduções nas safras de 1995 a 2005, em consequência de secas prolongadas, no Nordeste do Brasil e de estiagens frequentes, nas regiões Sul e Sudeste (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Essas oscilações podem ser explicadas pelas mudanças climáticas que vem ocorrendo a nível global, devido às práticas antrópicas ao longo dos anos. Para detectar possíveis mudanças no clima, os estudos de impactos futuros vêm sendo realizado e porventura, fazem uso de modelos de impactos climáticos (IPCC, 2014a).

Os estudos de impactos futuros fazem uso de modelos de impactos, que, tipicamente, produzem simulações matemático-computacionais de sistemas do mundo real, calibradas e validadas a partir de informações obtidas em experimentos e analogias, e que utilizam, como dados de entrada, as projeções de modelos climáticos (BRAGA, 2015).

Fancelli (2015) aponta urgência à ampliação do conhecimento sobre a planta de milho e sobre seu ambiente de produção, aliada à avaliação presente e futura do cenário agrícola, para o estabelecimento de sistemas de produção eficientes e racionais, assim como a obtenção de resultados satisfatórios quanto à produtividade, qualidade do produto, lucros e sustentabilidade da atividade.

Nesse sentido, tonou-se imprescindível identificar e mapear as áreas mais adequadas ao plantio das espécies cultivadas, levando em consideração a oferta climática. Assim, o calendário agrícola para cultura do milho serve como ferramenta de planejamento eficiente para racionalização das atividades de manejo e condução das lavouras, minimizando riscos ao agricultor.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o risco climático para o plantio do milho em diferentes cenários de mudanças climáticas no estado do Maranhão entre 2020 e 2049.

2.2 Específicos

- ✓ Identificar possíveis mudanças na temperatura do ar;
- ✓ Verificar a disponibilidade hídrica para o cultivo do milho;
- ✓ Identificar os riscos climáticos para o plantio do milho no estado do Maranhão.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do milho

3.1.1 Origem e classificação botânica

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família Poaceae e teve origem há pelo menos 8.000 anos nas regiões de planície do sudoeste do México (BARROS; CALADO, 2014; MORRISON, 2016). A partir da América Central, o milho se espalhou primeiro para as Américas do Norte e do Sul e, mais tarde, para a Europa e outras áreas do mundo onde hoje é cultivado. Ainda é uma das culturas de grãos mais importantes e é geograficamente um dos cereais mais amplamente plantados segundo Muimba-Kankolongo (2018, p. 73, apud FREITAS, 2019, p. 9).

A espécie do milho divide-se morfológicamente em duas partes principais, uma localizada abaixo da superfície do solo, constituída pelo sistema radicular, e outra área formada por caule, folhas, pendão e espiga (BORÉM et al., 2015). Os híbridos atuais não perfilham, usualmente produzem somente uma espiga por planta e não têm a capacidade de compensar casuais falhas de emergência na lavoura (SANTOS et al., 2012).

Conforme García-Lara; Serna-Saldivar (2019, p. 18) a planta do milho é uma estrutura folhosa alta com sistema radicular fibroso, suportando uma única brotação com muitas folhas e um ramo lateral terminado por uma inflorescência feminina, que se desenvolve em uma orelha coberta por folhas de casca. Na parte superior da planta desenvolve-se a inflorescência masculina conhecida como borla. Depois de polinização, o caroço ou fruta, botanicamente chamado de cariopsia, se desenvolve. O grão de milho consiste em três estruturas principais: pericarpo, endosperma e germe (apud FREITAS, 2019, p. 10).

3.1.2 Importância socioeconômica

O milho é uma das culturas mais importantes mundialmente, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista social. Destaca-se por ser o grão mais produzido no mundo: segundo informações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (SOLOGUREN, 2015). Desempenha um papel fundamental no sistema de produção alimentar brasileiro, por seu elevado potencial produtivo, composição química e valor nutritivo que

permitem destaque nas suas aplicações, seja na alimentação humana ou animal, no setor industrial e energético (VORPAGEL, 2010; TROGELLO et al., 2012).

O milho é uma das mais importantes culturas do Brasil, destacando-se pela sua área cultivada, pelo maior volume de emprego em mão de obra rural, e como fornecedora de insumos para alimentação animal. Sua cultura ocorre em todo o território nacional por grandes, médios e pequenos produtores e durante o ano todo, destacando-se as épocas de plantio principais, que são o plantio de verão ou primeira safra e o plantio de segunda safra ou safrinha. Contudo, nas regiões Norte e Nordeste, ainda há um volume expressivo de pequenos agricultores que exploram o milho como cultura de subsistência (AGRIANUAL, 2014; SOLOGUREN, 2015).

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no cenário mundial, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos. Estima-se que a safra agrícola de 2019/2020 deverá totalizar 228,8 milhões de toneladas, uma alta de 1,0% em relação ao resultado de 2018, conforme o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA (IBGE, 2019). Por ordem de grandeza as principais regiões produtoras são: Centro-Oeste, com uma participação de 44,4%, seguido por Sul (33,4%), Sudeste (10,1%), Nordeste (8,2%) e Norte (3,9%) e Os estados com maior produção são Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (CONAB, 2018; CHAVES NETO; BOSCAINI, 2019).

No Maranhão o milho é cultivado em consórcio principalmente com o arroz, o feijão e a mandioca, encontrando-se disseminado por todo Estado. A região sul do Estado detém da maior produção (IBGE, 2016). De acordo com o 8º Levantamento da Safra de Grãos 2018/2019, o Maranhão, deverá atingir a marca de 2,101 milhões de toneladas de milho, 11,5% a mais do que a colheita de 2018, que foi de 1,884 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

O Brasil recebe destaque mundial pela elevada produção de carnes, sendo a principal a avícola. Dados mostram que a produção brasileira de frango de corte em 2017 foi de 13 milhões de t e o milho é o principal ingrediente para a composição das rações ofertadas aos animais, o setor gera grande quantidade de resíduos (ABPA, 2018). A crescente demanda, tanto interna como externa, corrobora o grande potencial do setor. Em conjunto com a soja, o milho é para a suinocultura e a avicultura um insumo básico, dois mercados esses geradores de receita para o Brasil e extremamente competitivos internacionalmente (CALDARELLI; BACCHI, 2012).

A cultura do milho é produzida no Brasil em duas safras no mesmo ano agrícola, sendo a 1ª safra (safra do verão) e a 2ª safra (safra de inverno). Recentemente, tem aumentado a produção do milho segunda safra e observa-se também decréscimo na área semeada no período

do milho 1ª safra, por causa da concorrência com a soja, o que tem parcialmente compensado pelo aumento da semeadura na 2ª safra (CONAB, 2019).

3.1.3 Clima e Solo

A espécie *Zea mays* L. é uma das espécies cultivadas mais bem dotadas sob a ótica fenológica e produtiva. Mas, para manifestar tais atributos, necessita de condições ambientais favoráveis. Por esta razão, as exigências edafoclimáticas são de extrema relevância para o desenvolvimento da cultura, bem como para a definição dos sistemas de produção (FANCELLI, 2013; BERGAMASCHI, 2014).

A cultura do milho tem um alto potencial produtivo, no entanto, um dos fatores limitantes é o clima. Logo a cultura necessita de calor e água durante todo o ciclo para se desenvolver e produzir satisfatoriamente (Schlichting, 2012).

A temperatura é o principal elemento determinante da emergência das plântulas e da taxa de aparecimento de novas folhas. Além de grande influência sobre o ponto de crescimento, emissão de novas folhas, o número de folhas e o tempo de emissão do pendão (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). Nesse sentido, Fancelli (2015) afirma que a temperatura do ar deve oscilar entre 25°C e 30°C durante sua etapa vegetativa e encontrar-se associada à adequada disponibilidade de água no solo, além de abundância de luz.

O déficit hídrico afeta o crescimento da planta reduzindo a área foliar, o teor de clorofila nas folhas, a interceptação de radiação solar, a condutância estomática e a taxa fotossintética. Por outro lado, durante o período crítico do milho o déficit hídrico afeta a formação e desenvolvimento das sementes, refletindo no rendimento dos grãos. (ARRUDA et al., 2015).

O milho está entre as culturas de maior consumo diário de água, considerando o Kc (Coeficiente da cultura) como parâmetro de comparação. Quanto à exigência hídrica aponta-se entre 400 mm e 600 mm de precipitação para que produza a contento, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação (FANCELLI, 2015). Assim as fases mais sensíveis à deficiência de água são: iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, e enchimento dos grãos.

Dessa forma, a temperatura e a disponibilidade de água são indispensáveis nas fases fenológicas, em especial na fase de germinação e emergência e na fase de floração e enchimento

de grãos, os quais a demanda por água e condições térmicas aumenta devido aos processos fisiológicos da cultura do milho.

A quantidade de água extraível pela planta depende do tipo de solo; ou seja, da capacidade de retenção de água do solo, da profundidade efetiva de extração, da solução do solo e da idade da planta. A disponibilidade de água no solo pode representar um fator limitante ao desenvolvimento da cultura de milho (SANS; SANTANA, 2008).

Conforme Andrade et al. (2006), Além de outras importantes funções que o solo desempenha no sistema agrícola, ele também serve como um “reservatório” de água para as plantas. A água total disponível (ATD) no solo, que pode ser absorvida pela planta, é definida como a água contida no solo que está entre a umidade da capacidade de campo (CC - ou limite superior da água disponível) e a umidade do ponto de murcha permanente (PMP - ou limite inferior da água disponível) (apud MUNIZ, 2017, p. 14).

3.2 Mudanças climáticas

A mudança climática é definida como uma mudança no estado do clima, direta ou indiretamente atribuída a atividades humanas que alteram a composição da atmosfera global e que ocorre em adição à variabilidade climática natural observada em períodos de tempo comparáveis (IPCC, 2014a).

O crescimento econômico e populacional vem aumentando as emissões de gases de efeito estufa (GEE) sem precedentes, desde a era pré-industrial. Nesse sentido, os padrões de precipitação são diretamente afetados pela mudança na temperatura média global, que está fortemente relacionada ao aumento da emissão de gases na atmosfera, tais como: dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (IPCC, 2013; IPCC, 2014b).

Entre os vários impactos potenciais da mudança climática, a disponibilidade de água e a agricultura, são os recursos que merecem maior atenção pela essencialidade ao bem-estar humano, afetando diretamente as atividades econômicas e a segurança alimentar (ANJOS et al. 2018).

A agricultura está entre as atividades humanas mais vulneráveis às mudanças climáticas (RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2012; ASSAD et al. 2013; BECK, 2013). Os impactos estão relacionados ao encurtamento do período de crescimento e floração, juntamente

com a redução do número e tamanho dos grãos, bem como o rendimento total (CRAUFURD et al., 2009; ROSE et al., 2016).

Nesse sentido Assad et al. (2013) destaca a relevância em conhecer os efeitos causados no setor agrícola e definir medidas de adaptação a essas mudanças. Assim, vários estudos tem fomentado as investigações sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas na biologia e no rendimento da produção de espécies cultivadas (ECK, 2013; RANJITKAR et al., 2016).

3.3 Modelos e cenários climáticos

A principal ferramenta para avaliar as variabilidades e mudanças climáticas são os Modelos Climáticos Globais (MCGs) e Regionais (MCRs), que são capazes de representar as complexas interações entre o oceano, a atmosfera e a superfície terrestre (CHOU et al., 2016).

Como não é possível prever as emissões futuras dos gases de efeito estufa, as quais dependem de fatores como alterações demográficas e decisões sobre a produção de energia, as projeções de mudanças climáticas se baseiam em cenários que representam diferentes possíveis níveis das emissões (BRASIL, 2015a).

Os cenários climáticos têm como base dados provenientes de experimentos sobre mudanças climáticas. O Projeto de Comparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project – CMIP5*) disponibiliza simulações de vários modelos globais de diferentes centros climáticos no mundo, dentre eles, o HadGEM2-ES (IPCC, 2014).

O HadGEM2-ES é um modelo climático global da categoria de sistemas terrestres desenvolvido pelo Hadley Center. A resolução é de cerca de 1,875 graus de longitude e 1,275 graus de latitude e 38 níveis na atmosfera. Possui esquema de vegetação dinâmica com representação do ciclo de carbono. Este modelo induz o modelo Regional ETA, para detalhar de forma mais específica as análises do clima (BRASIL, 2015; COLLINS et al., 2011; MARTIN et al., 2011).

O modelo regional ETA, foi desenvolvido na Universidade de Belgrado, sendo aplicado de forma operacional pelo National Centers for Environmental Prediction – NCEP, conforme descrito em Black (1994) e Mesinger et al. (2012). O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE utiliza o modelo ETA nos estudos de previsão do tempo e mudanças climáticas futuras em diferentes escalas de tempo e resoluções espaciais (CHOU et al. 2014).

Assim, a comunidade científica, por meio do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), definiu um conjunto de cenários – denominados Trajetórias de Concentração Representativas (Representative Concentration Pathways – RCPs) – que são identificados por sua forçante radiativa total, expressa em W/m^2 , a ser atingida durante o (ou próximo ao final do) século XXI: RCP4.5 (cenário de estabilização) e RCP8.5 (cenário com emissões muito altas de gases de efeito estufa) (IPCC, 2014b).

O cenário RCP 4.5 estabelece a estabilização da forçante radiativa pouco depois de 2100, porém mantendo os níveis de radiação a longo prazo igual ou abaixo de $4,5 W/m^2$. Este cenário é consistente com a estabilização da demanda energética mundial, programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas. Com relação às emissões de gases efeito estufa, a projeção de estabilização das emissões de metano, porém com leve aumento das emissões de CO_2 até 2040, com valor máximo atingido de 650 ppm equivalente na segunda metade do século XXI.

Por outro lado, o cenário RCP 8.5 projeta um futuro com crescimento contínuo da população e desenvolvimento tecnológico lento, com acentuadas emissões de CO_2 . Este cenário é sombrio, o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de gases do efeito de estufa, sendo consistente com uma política que não priorizará a redução das emissões, com uma forte dependência de combustíveis fósseis.

Dessa forma, a simulação do modelo ETA alinhado nos dois modelos globais para os cenários de RCP8.5 e RCP4.5 indica como a temperatura e a precipitação podem se comportar nos anos futuros.

Isso pode ser observado claramente na projeção de cenários agrícolas que incorporam as mudanças climáticas, através de fatores naturais e antrópicos tais como: (i) Mudanças climáticas: downscaling, cenários de emissão, viés dos modelos atmosféricos adotados (HadGEM2-ES, por exemplo, tem viés mais seco que o MIROC5); horizonte de tempo da simulação; (ii) Cenários agrícola: cenários macroeconômicos, tendência, fatores exógenos, projeção de variáveis climáticas, eventos futuros não previsíveis, horizonte da simulação, tecnologias propostas (PINTO et al. 2008; CHEN et al., 2011; HALL et al., 2011; ASSAD et al., 2013; MARCIAL, 2015).

3.4 Calendário agrícola

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, o calendário agrícola compreende uma fonte de informação que indica ao produtor os meses nos quais se realizam a semeadura e a colheita de diversas culturas agrícolas ao longo do ano, de acordo com a região do país (CONAB, 2019).

Diante das exigências térmicas e hídricas para a cultura de milho, é importante determinar as épocas mais adequadas ao cultivo agrícola com menores probabilidades de riscos climáticos, como seca, geada e chuva excessiva nos períodos críticos.

Para a agricultura, o conhecimento da duração do regime de precipitação de uma região e a possibilidade de conhecimento dos períodos mais susceptíveis a veranicos na estação úmida, é essencial na elaboração de um calendário agrícola e na elaboração de projetos agrícolas. Assim como se tornou um instrumento de política agrícola (ASSAD et al., 2001; SILVA et al., 2011).

No Brasil, o maior fator de risco climático está relacionado às condições hídricas durante o cultivo, uma vez que o suprimento hídrico é quase em sua totalidade advindo das chuvas (BRASIL, 2015b). Além disso, as condições térmicas de determinado local afeta diretamente a disponibilidade hídrica no ambiente. Nesse sentido, conhecer ambos os fatores climáticos, servirão para definir as épocas adequadas de semeadura e, conseqüentemente, diminuir os riscos à produção. Para definição das épocas de plantio, as fases de semeadura/emergência e floração/enchimento de grãos devem coincidir nesse período, pois são as fases com maior demanda hídrica e térmica.

Nesse contexto, a elaboração e a utilização de zoneamentos atrelados à fenologia visa adequar as necessidades das plantas às disponibilidades do ambiente (BERGAMASCHI, 2014). O programa de zoneamento de riscos climáticos baseia-se na estimativa da probabilidade de ocorrência de condições climáticas adversas em cada região e período (decêndio) do ano considerado, identificando áreas e épocas com menores riscos climáticos de perda de safra (EMBRAPA, 2011). Baseia-se na análise das variáveis de clima, solo e planta, além de aplicações de funções matemáticas e estatísticas, identificando para cada município a melhor época de semeadura para as culturas anuais nos diferentes tipos de solo e ciclos dos cultivares. Consentindo assim, o uso mais racional dos recursos naturais, da mão-de-obra e insumos (MAPA, 2010).

Dessa forma, a zoneamento agrícola de risco climático se torna imprescindível antes do estabelecimento da atividade agrícola. Ressalta-se também que as informações obtidas através do zoneamento são disponibilizadas aos agricultores e partes interessadas, por meio do sítio de informações do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área de estudo abrangeu o estado do Maranhão, considerando a sua divisão em Regiões Homogêneas de Precipitação – RHPs (Figura 1), conforme critério proposto por Menezes (2009).

Figura 1. Estado do Maranhão com suas divisões em Regiões Homogêneas de Precipitação – RHPs.



Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Os municípios que compõem as Regiões Homogêneas De Precipitação (RHPs) estão evidenciados nos Quadros 1 a 10.

Quadro 1 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 1.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Alcântara	22	Matinha
2	Amapá do Maranhão	23	Mirinzal
3	Apicum-Açu	24	Olinda Nova do Maranhão
4	Bacuri	25	Paço do Lumiar
5	Bacurituba	26	Palmeirândia
6	Bequimão	27	Peri Mirim
7	Boa Vista do Gurupi	28	Pinheiro
8	Cajapió	29	Porto Rico do Maranhão
9	Cândido Mendes	30	Presidente Médici
10	Carutapera	31	Presidente Sarney
11	Cedral	32	Raposa
12	Central do Maranhão	33	Santa Helena
13	Centro do Guilherme	34	Santa Luzia do Paruá
14	Cururupu	35	São Bento
15	Godofredo Viana	36	São João Batista
16	Governador Nunes Freire	37	São José de Ribamar
17	Guimarães	38	São Luís
18	Junco do Maranhão	39	São Vicente Ferrer
19	Luís Domingues	40	Serrano do Maranhão
20	Maracaçumé	41	Turiação
21	Maranhãozinho	42	Turilândia
ÁREA TOTAL: 33.019,33 km²		9,95 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 2 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 2.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Altamira do Maranhão	13	Pedro do Rosário
2	Alto Alegre do Pindaré	14	Penalva
3	Araguanã	15	Pindaré-Mirim
4	Bela Vista do Maranhão	16	Pio XII
5	Bom Jardim	17	Santa Inês
6	Cajari	18	São João do Carú
7	Centro Novo do Maranhão	19	Satubinha
8	Governador Newton Bello	20	Tufilândia
9	Igarapé do Meio	21	Viana
10	Monção	22	Vitória do Mearim
11	Nova Olinda do Maranhão	23	Vitorino Freire
12	Olho d'Água das Cunhãs	24	Zé Doca
ÁREA TOTAL: 35.912,73 km2		10,82 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 3 - Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 3.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Anajatuba	14	Miranda do Norte
2	Arari	15	Morros
3	Axixá	16	Nina Rodrigues
4	Bacabal	17	Pirapemas
5	Bacabeira	18	Presidente Juscelino
6	Cachoeira Grande	19	Presidente Vargas
7	Cantanhede	20	Rosário
8	Conceição do Lago-Açu	21	Santa Rita
9	Coroatá	22	São Benedito do Rio Preto
10	Icatu	23	São Mateus do Maranhão
11	Itapecuru Mirim	24	Timbiras
12	Lago Verde	25	Vargem Grande
13	Matões do Norte		
ÁREA TOTAL: 24.095,50 km2		7,26 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 4 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 4.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Afonso Cunha	13	Magalhães de Almeida
2	Água Doce do Maranhão	14	Mata Roma
3	Anapurus	15	Milagres do Maranhão
4	Araioses	16	Paulino Neves
5	Barreirinhas	17	Primeira Cruz
6	Belágua	18	Santa Quitéria do Maranhão
7	Brejo	19	Santana do Maranhão
8	Buriti	20	Santo Amaro do Maranhão
9	Chapadinha	21	São Bernardo
10	Coelho Neto	22	Tutóia
11	Duque Bacelar	23	Urbano Santos
12	Humberto de Campos		
ÁREA TOTAL: 28.332,65 km²		8,54 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 5 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 5.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Açailândia	13	Joselândia
2	Amarante do Maranhão	14	Lago da Pedra
3	Arame	15	Lago do Junco
4	Barra do Corda	16	Lago dos Rodrigues
5	Bom Jesus das Selvas	17	Lagoa Grande do Maranhão
6	Bom Lugar	18	Marajá do Sena
7	Brejo de Areia	19	Paulo Ramos
8	Buriticupu	20	Poção de Pedras
9	Esperantinópolis	21	Santa Luzia
10	Itaipava do Grajaú	22	São José dos Basílios
11	Itinga do Maranhão	23	São Raimundo do Doca Bezerra
12	Jenipapo dos Vieiras	24	São Roberto
ÁREA TOTAL: 47.871,81 km²		14,43 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 6 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 6.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Aldeias Altas	10	Igarapé Grande
2	Alto Alegre do Maranhão	11	Lima Campos
3	Bernardo do Mearim	12	Pedreiras
4	Capinzal do Norte	13	Peritoró
5	Caxias	14	Santo Antônio dos Lopes
6	Codó	15	São João do Soter
7	Dom Pedro	16	São Luís Gonzaga do Maranhão
8	Gonçalves Dias	17	Timon
9	Governador Archer	18	Trizidela do Vale
ÁREA TOTAL: 21.332,99 km²		6,43 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 7 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 7.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Buritirana	12	Montes Altos
2	Campestre do Maranhão	13	Porto Franco
3	Cidelândia	14	Ribamar Fiquene
4	Davinópolis	15	São Francisco do Brejão
5	Estreito	16	São João do Paraíso
6	Formosa da Serra Negra	17	São Pedro da Água Branca
7	Governador Edison Lobão	18	São Pedro dos Crentes
8	Grajaú	19	Senador La Rocque
9	Imperatriz	20	Sítio Novo
10	João Lisboa	21	Vila Nova dos Martírios
11	Lajeado Novo		
ÁREA TOTAL: 35.884,16 km²		10,81 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 8 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 8.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Barão de Grajaú	14	Paraibano
2	Buriti Bravo	15	Parnarama
3	Colinas	16	Passagem Franca
4	Fernando Falcão	17	Pastos Bons
5	Fortuna	18	Presidente Dutra
6	Governador Eugênio Barros	19	Santa Filomena do Maranhão
7	Governador Luiz Rocha	20	São Domingos do Maranhão
8	Graça Aranha	21	São Francisco do Maranhão
9	Jatobá	22	São João dos Patos
10	Lagoa do Mato	23	Senador Alexandre Costa
11	Matões	24	Sucupira do Norte
12	Mirador	25	Sucupira do Riachão
13	Nova Iorque	26	Tuntum
ÁREA TOTAL: 45.512,04 km2		13,71 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 9 – Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 9.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Benedito Leite	5	São Domingos do Azeitão
2	Fortaleza dos Nogueiras	6	São Félix de Balsas
3	Loreto	7	São Raimundo das Mangabeiras
4	Sambaíba		
ÁREA TOTAL: 16.214,78 km2		4,89 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

Quadro 10 - Municípios que compõem a Região Homogênea de Precipitação - RHP 10.

Nº	Municípios	Nº	Municípios
1	Alto Parnaíba	5	Nova Colinas
2	Balsas	6	Riachão
3	Carolina	7	Tasso Fragoso
4	Feira Nova do Maranhão		
ÁREA TOTAL: 43.683,09 km2		13,16 % do MARANHÃO	

Fonte: SAGRIMA/UEMA (2019).

4.2 Dados utilizados

Foram utilizados dados mensais observados de precipitação pluvial (mm) e temperatura do ar (°C) para o período de 1981 a 2010 obtidos do acervo do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. As projeções futuras de temperatura do ar para os cenários mais otimista (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5), para o período de 2020 a 2049, foram obtidas do acervo do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais, através do endereço eletrônico <https://projeta.cptec.inpe.br/>.

4.3 Procedimentos metodológicos

4.3.1 Modelo e cenários prospectivos

Para a descrição do cenário climático futuro, foi adotado o modelo regional ETA, rodado operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), sobre a América do Sul, na forma de previsão numérica do tempo, e modificado para simulações climáticas.

O modelo regional ETA é induzido pelo modelo climático global HadGEM2-ES - Hadley Centre Global Environmental Model, version 2 Earth System, para modelagem de dois cenários com mudanças climáticas baseados em forçantes radiativas RCP - Representative Concentration Pathways, o RCP 4.5 (com adoção de medidas de mitigação) e RCP 8.5 (sem medidas de mitigação).

As medidas de mitigação para o cenário RCP 4.5 correspondem a estabilização da forçante radiativa pouco depois de 2100, com níveis de radiação menor ou igual a 4,5 W/m². Abrange ainda programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas, estabilização das emissões de metano, porém com leve aumento das emissões de CO₂ até 2040, com valor máximo atingido de 650 ppm equivalente na segunda metade do século XXI.

Por outro lado, o cenário RCP 8.5, estabelece um futuro sombrio, com crescimento contínuo da população, desenvolvimento tecnológico lento e com acentuadas emissões de CO₂, sendo consistente com uma política que não priorizará a redução das emissões, com uma forte dependência de combustíveis fósseis.

Através do modelo foram obtidos os dados de temperatura do ar projetados para os próximos 30 anos, de 2020 a 2049, para as 10 RHPs do estado do Maranhão, tendo como coordenadas geográficas o centroide de cada região, conforme identificado na Figura 1.

4.3.2 Projeções Futuras de temperatura do ar para as RHPs

Os valores de temperatura projetados foram comparados com período de tempo presente (histórico) obtidos pelo modelo (1961-2005) para obtenção do desvio que representa o quanto a temperatura aumentou ou diminuiu.

A nova série de dados para a composição dos cenários futuros foi obtida somando-se os valores climatológicos observados entre 1981 e 2010 com os desvios de temperatura obtidos, conforme expressão (1).

$$T_c = T_{mc} + D_t \quad (1)$$

Onde: T_c corresponde a temperatura média do ar para os cenários de mudanças climáticas, que será utilizada na construção do calendário agrícola de risco climático (2020-2049); T_{mc} refere-se a temperatura média climatológica observada (1981-2010); D_t compreende o desvio de temperatura da projeção (2020-2049) em relação ao histórico obtido pelo modelo (1961-2005).

4.3.3 Projeções futuras de disponibilidade hídrica para as RPHs

Na análise de balanço hídrico foram utilizados valores mensais de precipitação e temperatura no ar do período de referência (1981-2010) e as temperaturas mensais dos cenários (2020-2049), para obtenção dos desvios que indicam a dinâmica hídrica.

A partir da qual foi estimada a perda de água por evapotranspiração potencial (ETP) pelo método proposto por Thornthwaite (1948), e precipitação pluvial como entrada de água no solo. Considerando as RHPs, capacidade de água disponível (CAD), temperatura média e precipitação pluvial. A partir do cálculo do balanço hídrico foram estimados os desvios para identificar o déficit hídrico – DEF e o excesso hídrico - EXC.

4.3.4 Risco climático para o plantio do milho

Para definir as melhores épocas de plantio, com diferentes níveis de risco climático, foi utilizado o critério do Índice de Satisfação das Necessidades de Água da cultura, conhecido

com ISNA. O ISNA foi obtido pela relação (2) após processos de interação desenvolvidos pelo software SARRAZON:

$$ISNA = ETR/ETM \quad (2)$$

Em que: ETR corresponde a Evapotranspiração Real e ETM a Evapotranspiração Máxima da cultura.

As datas de plantio foram aquelas em que a data de floração e enchimento de grãos ocorra em um período com boa disponibilidade de água para a cultura ($ISNA \geq 0,55$) e que na fase inicial do ciclo produtivo o $ISNA \geq 0,5$.

As variáveis de entrada no modelo SARRAZON foram:

a) Clima

- ✓ Temperatura do ar: Série projetada com 30 anos de dados para os cenários 4.5 (otimista) e 8.5 (pessimista) entre os anos 2020-2049;
- ✓ Precipitação diária: Série observada com 30 anos de dados para climatologia (1987-2016);
- ✓ Evapotranspiração Potencial ou de referência estimada pelo método de Thornthwaite (1948) com base na temperatura do ar para climatologia e para os cenários 4.5 e 8.5.

b) Solo

- ✓ Capacidade de Armazenamento de Água no Solo (CAD): dada em função do tipo de solo e da profundidade efetiva (P_e) do sistema radicular da cultura do milho como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para a análise de risco climático relacionado ao solo.

Solos	Capacidade de Retenção de água	TA Teor de Argila (%)	AD (mm/cm)	Tipos
Tipo II	Média	$15\% \leq TA < 35\%$ Com $\Delta < 50$	AD = 1,2	Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro

Não foram incluídas como aptas, para nenhum tipo de sistema de produção agrícola, áreas de preservação obrigatória, com declividade superior a 45% ou solos pedregosos com declives acima de 20% e solos com menos de 50 cm de profundidade.

c) Cultura do milho

- ✓ Profundidade do sistema radicular (Pe);
- ✓ Ciclo produtivo;
- ✓ Fases fenológicas;
- ✓ Coeficientes de crescimento (Kc).

Tais características foram consideradas para as análises do balanço hídrico da cultura do milho conforme descrito nas Tabelas 2 e 3, respectivamente:

Tabela 2 – Características da planta do milho.

Pe (cm)	CAD (mm) (CAD = AD * Pe)	Ciclo Produtivo Dias	Fases Fenológicas Dias
40 cm	Solo Tipo II = 48	120	Fase I – 40 Fase II – 20 Fase III – 20 Fase IV – 40

Fonte: EMBRAPA (2002).

Tabela 3 – Coeficientes de crescimento (Kc) da planta do milho.

DECÊNDIOS												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,40	0,45	0,50	0,60	0,85	1,00	1,10	1,25	0,90	0,80	0,70	0,60	0,60

Fonte: EMBRAPA (2002).

Para a classificação de risco climático associado aos cultivos do milho no Estado do Maranhão, foram estabelecidas três classes de ISNA, para a fase de floração e enchimento de grãos, conforme Tabela 4. Foi considerado também o ISNA na fase inicial do ciclo produtivo do milho, sendo atribuído o $ISNA \geq 0,5$, ou seja, a data de plantio foi aquela em que ambas as condições foram satisfeitas.

Tabela 4 – Índices de Satisfação das Necessidades de Água da cultura do milho.

CONDIÇÃO RISCO PARA O PLANTIO: FASE DE FLORAÇÃO/ENCHIMENTO DE GRÃOS		
Baixo	Médio	Alto
$ISNA \geq 0,55$	$0,55 > ISNA \geq 0,45$	$ISNA < 0,45$

Fonte: EMBRAPA (2002).

Foram avaliadas 24 datas de plantio, para cada RHP, considerando os cenários e a climatologia, com intervalo de 10 dias contados a partir do 1º decêndio de outubro ao 3º decêndio de maio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Cenários de temperatura do ar

Analisando os dados de temperatura, a Tabela 5 aponta os resultados das projeções por meio de desvios de temperatura média do ar observados nas regiões homogêneas de precipitação (RHPs) do Maranhão no período entre 2020 e 2049. Foram calculadas as anomalias considerando o período base (1981-2010) e os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Os desvios de temperatura demonstram que todas as regiões (RHPs) deverão sofrer aumento da temperatura para ambos cenários.

Assim, nas anomalias de temperatura dos cenários 4.5 e 8.5, nota-se um aumento da temperatura quando comparado ao período de referência, com desvio de temperatura do ar variando de 1,4 °C a 2,8 °C para os próximos 30 anos.

De acordo com o Relatório de Projeções de Mudanças Climáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, as tendências de temperatura apontam que no período de 2011 a 2040, o índice de aquecimento no Nordeste poderá variar de 2°C a 3°C até o fim do período observado (INPE, 2016).

As tendências de temperatura do ar no cenário 4.5 indicam que a RHP1 e a RHP3 terá um aumento de aproximadamente 1,48°C, a região 2 mostra um acréscimo de 1,37°C na temperatura, e a região 4 apresenta um aumento de 1,72°C de aquecimento. Já as regiões 5 e 9 terão o mesmo comportamento na temperatura projetado em 1,78°C de aumento. Por outro lado, a RHP6 terá sua projeção em 1,59°C acrescido na sua temperatura atual, e a região 10 sofrerá uma adição na temperatura em 1,88°C. Destaque para a região 7, situada ao Sul do estado que poderá atingir um acréscimo de aproximadamente 2°C, sendo o maior aumento da temperatura em comparação as demais regiões.

Ocorre um aquecimento maior no cenário 8.5, quando comparado ao cenário 4.5. Tendo a RHP1 acréscimo de 1,9°C e a RHP2 uma adição térmica de 1,84°C. Já as demais regiões poderão atingir temperatura superior a 2°C. Destacando-se as regiões 7 e 10 que imperaram temperatura de aproximadamente 2,8°C. Sendo assim, a tendência no aumento da temperatura do ar afetará diretamente a dinâmica hídrica nessas regiões.

Tabela 5 – Desvio de temperatura do ar em relação à climatologia: RCP 4.5 e RCP 8.5.

RHPs	PERÍODO	
	2020 – 2049 (°C)	
	CENÁRIO 4.5	CENÁRIO 8.5
1	1,48	1,90
2	1,37	1,84
3	1,48	2,04
4	1,72	2,31
5	1,78	2,48
6	1,59	2,25
7	2,01	2,79
8	1,75	2,50
9	1,78	2,71
10	1,88	2,80

Fonte: MENDES (2019).

Com o aumento da temperatura nos próximos 30 anos, a disponibilidade hídrica será impactada, gerando riscos ao cultivo de milho em todas as regiões do estado do Maranhão. As simulações para ambos cenários mostraram uma redução dos totais anuais de excedente hídrico e um aumento dos totais anuais de deficiência hídrica em todas as regiões. Com isso, as regiões apresentarão menor disponibilidade hídrica para o cultivo de milho para os próximos anos. Vale destacar que dentre as regiões analisadas, a RHP 7 que fica a sudoeste do Estado, apresentou maior aumento no déficit hídrico em função do aumento da temperatura para ambos cenários.

5.2 Cenários de disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica será impactada pelo aumento da temperatura nos próximos 30 anos, levando riscos ao cultivo de milho em todas as regiões (RHPs) do estado do Maranhão. A Tabela 6 mostra o balanço hídrico apontando os totais anuais de excesso hídrico e de deficiência hídrica nas regiões para o solo de textura média (CAD = 48 mm) considerando a normal climatológica (1981-2010) e os cenários 4.5 e 8.5 (2020-2049).

Tabela 6 – Disponibilidade hídrica para solos de textura média para os Cenários 4.5 e 8.5 .

RHPs	Normal climatológica		Cenário 4.5		Cenário 8.5		Desvio 4.5		Desvio 8.5	
	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)	
	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC
1	541,9	1025,0	750,4	837,7	812,0	760,9	208,5	-187,3	270,1	-264,1
2	724,7	665,8	979,7	556,4	1066,3	485,5	255,0	-109,4	341,6	-180,3
3	652,9	632,3	941,2	505,1	1067,4	432,8	288,3	-127,2	414,5	-199,5
4	606,6	700,5	962,8	556,0	1111,1	474,3	356,2	-144,5	504,5	-226,2
5	691,3	219,5	1062,0	121,7	1250,5	62,9	370,7	-97,8	559,2	-156,6
6	874,1	470,0	1314,1	365,2	1531,0	288,3	440,0	-104,8	656,9	-181,7
7	687,7	378,6	1144,5	189,4	1400,3	96,8	456,8	-189,2	712,6	-281,8
8	590,9	274,5	929,1	170,8	1109,3	98,5	338,2	-103,7	518,4	-176,0
9	571,8	111,6	871,0	21,1	1123,1	0,0	299,2	-90,5	551,3	-111,6
10	626,6	178,2	1013,7	49,6	1300,8	0,0	387,1	-128,6	674,2	178,2

Fonte: MENDES (2019).

As simulações para ambos cenários mostraram uma redução dos totais anuais de excedente hídrico e um aumento dos totais anuais de deficiência hídrica em todas as regiões e para ambos cenários. Com isso, as regiões apresentarão menor disponibilidade hídrica para o cultivo de milho para os próximos anos. Vale destacar que dentre as regiões analisadas, as RHPs 7 e 10 terão o maior aumento nos totais de déficit hídrico para ambos os cenários nos próximos 30 anos.

5.3 Análise de risco climático para o cultivo do milho

Os resultados das simulações das regiões homogêneas de precipitação (RHPs), ponderando as variáveis que definem a capacidade de armazenamento de água no solo de textura média (48 mm), para climatologia (1987-2016) e para os cenários 4.5 e 8.5 no período entre 2020 e 2049, estão evidenciados nas Tabelas 7, 8 e 9 respectivamente.

Comparando o calendário agrícola atual ao dos cenários, as dez regiões apresentaram um aumento nas restrições ao plantio. Na RHP1, verifica-se um atraso no período de plena aptidão ao plantio, que passou de 15/12 no calendário atual para 25/12 no cenário 4.5 e 05/01 para o cenário 8.5. Sendo assim, a época que apresenta condições hídricas e térmicas suficientes para as fases I (Semeadura/Emergência) e III (Floração/Enchimento de grãos) do milho, ocorre no período de 25/12 a 25/04 no cenário 4.5 e 05/01 a 25/04 no cenário 8.5.

De modo geral, a RHP1 é a região que menos sofre impactos com as simulações de emissão ou mitigação de gases de efeito estufa. Isso porque a região fica localizada na pré-Amazônia e sofre as influências do bioma. Nesse sentido, Nobre et al. (2009) revela que a Amazônia caracteriza um importante regulador do clima global devido a sua vasta dimensão e localização próxima ao Equador, sendo esta uma relevante fonte de vapor d'água para todo o sistema climático. Além disso, Artaxo et al. (2014) enfatiza que a Amazônia interfere nas mudanças climáticas ocorridas no Brasil e no mundo, por apresentar poder de armazenamento de carbono e efeitos sobre o ciclo hidrológico.

Já a região 2 apresenta um comportamento diferente, evidenciando a permanência da data de plantio sem restrições hídricas e térmicas, tanto para o calendário atual como para os cenários futuros no 2º decêndio de dezembro. Em contrapartida, o cenário 8.5 aponta uma antecipação no período de aptidão plena, devido à restrição hídrica na fase de floração, que para o cenário otimista e o de climatologia ocorre em 05/03 e se antecipa para 25/02 no cenário mais pessimista.

Verifica-se um atraso nas datas de plantio na RHP3, onde o atual calendário encontra-se na data 25/11 o momento que inicia as épocas aptas para o plantio. Já para os cenários, observa-se um retardo com uma discreta diferença no início da época propícia para a cultura, sendo 05/12 para o cenário mais otimista e 15/12 para o pessimista. Em contrapartida, ambos cenários fecham a janela apta para o plantio em 05/03.

Na RHP4, o cenário mais otimista evidencia o mesmo período inicial, sem restrição para a cultura, ao do calendário atual, que começa na data 05/12. Contudo, ocorre uma antecipação da data de encerramento da janela sem restrição hídrica, para o cenário 4.5. Por outro lado, ambos cenários apresentam a mesma data para o fechamento do calendário apto para o milho, sendo na data 05/03. Já na abertura do calendário de plantio, o cenário 8.5 apresenta um atraso de 15 dias em comparação à data apta do cenário 4.5, referente à restrição hídrica na fase de semeadura e emergência.

A janela de plantio para a RHP5 é suprimida pelos cenários. Quando comparado ao calendário atual, o cenário 4.5 apresenta uma redução do período de plantio de 20 dias devido à restrição hídrica para a fase I na data 15/11 e 05/03 na fase III. Já o cenário 8.5 evidencia uma redução de 30 dias, que compreende o 2º decêndio de novembro como data restrita para as duas fases, o 3º decêndio de novembro com restrição na fase de semeadura e emergência e no 1º decêndio de março com restrição para a fase de floração e enchimento de grãos. Quanto aos cenários, apresentam períodos aptos iniciais diferentes, devido ao déficit hídrico no solo no tocante a fase I, abrindo o calendário para o cenário 4.5 a data 25/11 e 05/12 para o cenário 8.5.

O período apto para o estabelecimento da cultura na RHP6 vai de 05/12 a 25/02 no cenário mais otimista, e no cenário pessimista para os próximos anos, ocorre de 15/12 a 25/02, evidenciando um atraso da época de plantio, em termos de indisponibilidade hídrica no solo para a fase I do milho.

Ponderando as condições de plantio para a climatologia e os cenários, observa-se que para o cenário 4.5 há um atraso de 10 dias para o início da janela apta para o cultivo devido à inaptidão para a fase de semeadura e um encurtamento de 10 dias devido a data desfavorável para a floração e enchimento de grãos. Por outro lado, o cenário 8.5, mostra um período de 20 dias de restrição na fase de semeadura em comparação ao calendário atual, que tem início em 25/11 e para o cenário 8.5 só ocorre em 15/12 e que tem a data antecipada em 10 dias ao fechamento da janela devido à restrição de água no solo na fase de floração e enchimento de grãos.

Diferente do observado pela climatologia, que possui um período mais amplo ocorrendo de 25/10 a 05/02 na RHP7, os cenários apresentam uma redução acentuada. Sendo assim, no cenário 4.5 nota-se limitação na fase I e III no período de 25/10 a 05/11 e restrição na fase III a partir de 05/02. Além disso, o cenário 8.5 mostra drástica redução no período de plantio, se limitando a 05/01 a 25/02 devido ao déficit hídrico na fase III.

A RHP8 demonstrou acentuado déficit hídrico para ambas as fases nos cenários. Ocorrendo um atraso de 20 dias para a época adequada ao plantio e de 10 dias de antecipação quando comparados o cenário 4.5 ao atual calendário agrícola. Por outro lado, foram totalizados 40 dias de atraso para o período livre de restrição; e, 10 dias adiantados para o encerramento do período apto de cultivo.

Comparando os cenários para a RHP8, verificou-se expressiva mudança na dinâmica do período apto para as duas fases. O cenário 4.5 apresenta um período que vai de 25/10 a 25/01 e reduz para 25/11 a 15/01 mostrando que o cenário 8.5 pode afetar a atividade agrícola.

Na RHP10, observou-se que a janela de plantio para o cenário otimista e o calendário atual apresenta diferença discreta de atraso e antecipação, pois o período de aptidão para climatologia vai de 05/10 a 05/02 e o período para o cenário 4.5 vai de 15/10 a 25/02. Contudo, a região apresenta certa restrição ao plantio no cenário 8.5, quando comparado aos demais 15/11 a 15/01.

As regiões que apresentam maior impacto às mudanças climáticas e consequentemente, variabilidade na temperatura e precipitação no Estado do Maranhão, correspondem às RHPs 7, 8, 9 e 10 situadas a Sudoeste, Sudeste e Sul respectivamente. Essas áreas, por sua vez, compete ao agricultor tomar conhecimento sobre as informações de calendário agrícola e racionalizar as práticas agrícolas para obter eficiência na produção.

Portanto, Camilo et al. (2018) revela que o encurtamento do ciclo da cultura, devido as mudanças climáticas futuras pode implicar na queda de produtividade, em razão do menor período de enchimento de grãos, o que contribui para a redução do acúmulo de fotoassimilados e, consequentemente, diminuição do rendimento.

De modo geral, as diferenças no calendário para os cenários RCP4.5 e 8.5 foram relativamente pequenas no período estudado entre 2020 a 2049, mas se ampliaram com o passar do tempo, devido ao efeito cumulativo da liberação de gases do efeito estufa na atmosfera. Nesse sentido, o cenário 8.5 apresentou maior restrição ao plantio em todas as regiões homogêneas no período observado.

Tabela 7 – Calendário de plantio para a cultura do milho baseado na climatologia.

RHPs	MESES																									
	OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			ABRIL			MAIO				
	DECÊNDIOS																									
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1					SE	SE	SE																		FL	FL
2					SE	SE	SE												FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
3			SE	SE	SE																FL	FL	FL	FL	FL	FL
4			SE	SE	SE	SE															FL	FL	FL	FL	FL	FL
5			SE	SE																	FL	FL	FL	FL	FL	
6			SE	SE	SE																FL	FL	FL	FL	FL	
7															FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	
8																FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	
9	SE																FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	
10																FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	

LEGENDA

RHPs	Regiões Homogêneas de Precipitação
	Datas Inaptas para o plantio: Restrição hídrica nas fases de semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos
SE	Datas de plantio com restrição hídrica na fase de Semeadura/Emergência (SE)
FL	Datas de plantio com restrição hídrica na fase de floração/Enchimento de grãos (FL)
	Datas com aptidão plena para o plantio: Sem restrição hídrica nas fases de semeadura/emergência e floração/enchimento de grãos

Fonte: MENDES (2019)

Tabela 8 – Calendário de plantio para a cultura do milho baseado no cenário 4.5.

RHPs	MESES																										
	OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			ABRIL			MAIO					
	DECÊNDIOS																										
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1							SE	SE																	FL	FL	FL
2					SE	SE	SE												FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
3				SE	SE	SE													FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
4				SE	SE	SE													FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
5			SE	SE	SE														FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	
6				SE	SE	SE													FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	
7					FL	FL							FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL			
8														FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL		
9													FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL			
10	SE												FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL						

LEGENDA

RHPs	Regiões Homogêneas de Precipitação
	Datas Inaptas para o plantio: Restrição hídrica nas fases de semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos
SE	Datas de plantio com restrição hídrica na fase de Semeadura/Emergência (SE)
FL	Datas de plantio com restrição hídrica na fase de Floração/Enchimento de grãos (FL)
	Datas com aptidão plena para o plantio: Sem restrição hídrica nas fases de semeadura/emergência e floração/enchimento de grãos

Fonte: MENDES (2019).

Tabela 9 – Calendário de plantio para a cultura do milho baseado no cenário 8.5.

RHPs	MESES																													
	OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			ABRIL			MAIO								
	DECÊNDIOS																													
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1							SE	SE	SE																			FL	FL	FL
2							SE												FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
3				SE	SE	SE	SE													FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
4				SE	SE	SE	SE													FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
5							SE												FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL			
6							SE	SE											FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	
7																FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL			
8					FL												FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL			
9			FL	FL	FL									FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL				
10			FL	FL										FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL				

LEGENDA

RHPs	Regiões Homogêneas de Precipitação
	Datas Inaptas para o plantio: Restrição hídrica nas fases de semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos
SE	Datas de plantio com restrição hídrica na fase de Semeadura/Emergência (SE)
FL	Datas de plantio com restrição hídrica na fase de floração/Enchimento de grãos (FL)
	Datas com aptidão plena para o plantio: Sem restrição hídrica nas fases de semeadura/emergência e floração/enchimento de grãos

Fonte: MENDES (2019).

As Figuras 2, 3 e 4 mostram o mapeamento dos percentuais de decêndios com aptidão plena para o plantio para o calendário de climatologia e a sua análise comparativa à quantidade de decêndios aptos para o plantio nos cenários 4.5 e 8.5 que compreende a redução percentual dos decêndios com aptidão plena para o plantio em ambos cenários no período entre 2020 e 2049.

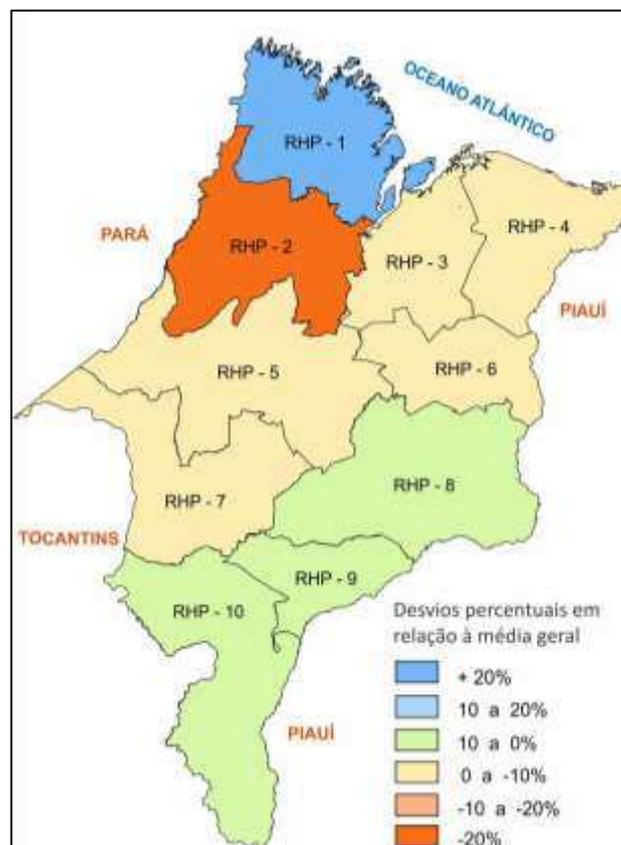
Comparando a quantidade de decêndios aptos para o plantio de milho no calendário de referência ao calendário do cenário 4.5 observa-se que a RHP2 apresenta redução de 10% de decêndios em relação a climatologia; as RHPs 1, 3, 4, 5, 6 e 10 sofrem uma redução decencial variando de 10 a 20%. Por outro lado, as regiões que apresentam maior redução de decêndios são as RHPs 7, 8 e 9, destacando-se a RHP7 com acentuada redução de decêndios podendo atingir até metade de decêndios aptos para o plantio que a climatologia apresenta.

Analisando o mapa do calendário de climatologia em relação ao calendário do cenário 8.5, nota-se que a RHP2 apresentou redução decencial entre 10 e 20% e as RHPs 1, 3, 4, 5 e 6 apresentaram comportamento semelhante com redução dos decêndios entre 20 e 30%. A RHP8

mostrou redução variando de 30 a 40%; as RHPs 7 e 10 evidenciaram decréscimo variando de 40 a 50% nos decêndios em relação a climatologia. A RHP9 atingiu uma redução percentual em mais da metade no número de decêndios aptos ao plantio de milho, sendo a maior redução observada para esse cenário.

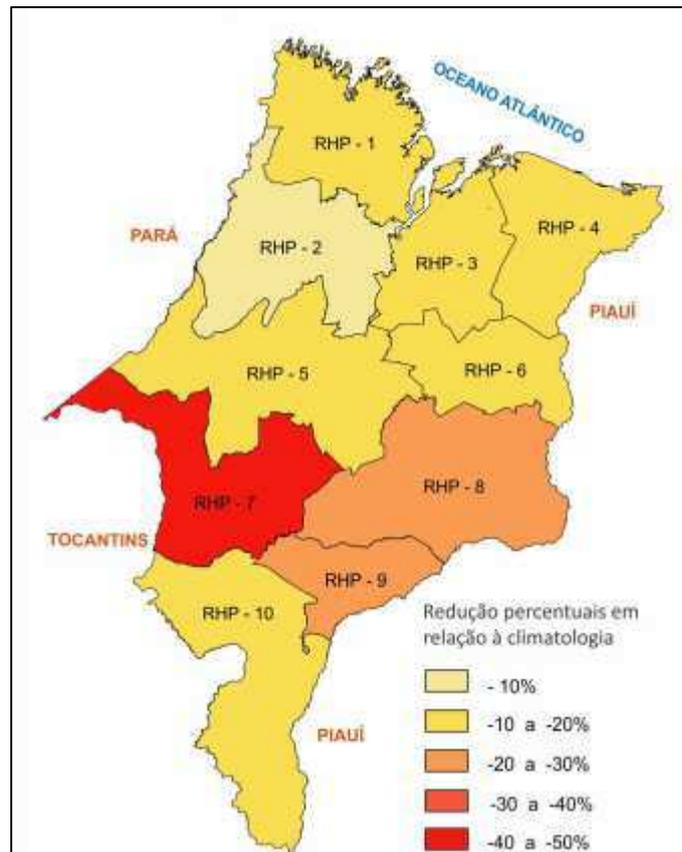
De modo geral o cenário 8.5 evidenciou a maior redução de decêndios com aptidão plena para o plantio de milho nas regiões do Estado do Maranhão em relação ao cenário 4.5, quando comparados ao calendário de climatologia.

Figura 2 – Decêndios com aptidão plena para o plantio: Climatologia.



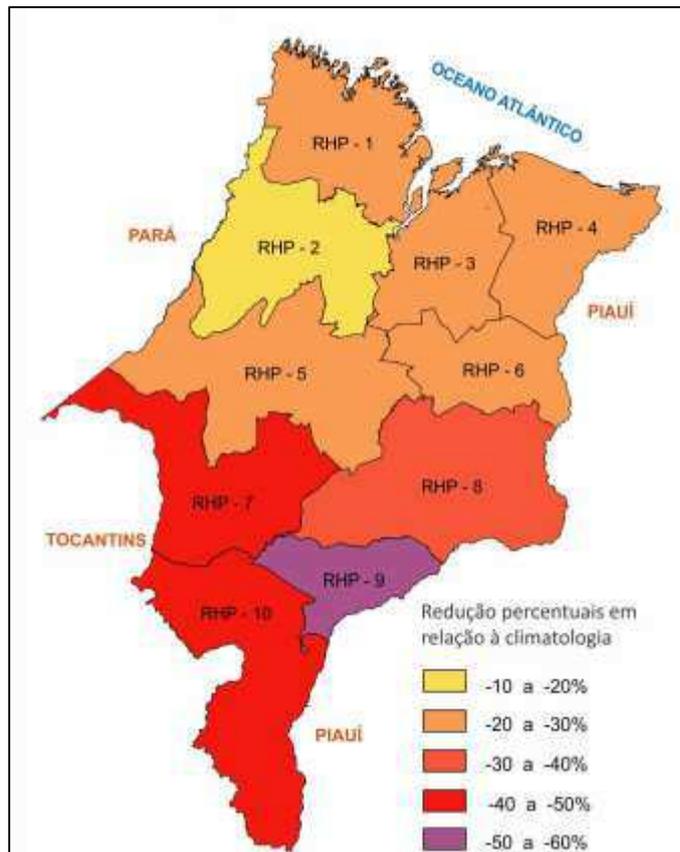
Fonte: MENDES (2019).

Figura 3 – Redução de decêndios com aptidão plena para o plantio: Cenário 4.5 vs Climatologia.



Fonte: MENDES (2019).

Figura 4 - Redução de decêndios com aptidão plena para o plantio: Cenário 8.5 vs Climatologia.



Fonte: MENDES (2019).

CONCLUSÃO

Os cenários futuros de mudanças climáticas indicaram aumento da temperatura em todas as regiões no período entre 2020 e 2049. Caso se confirme tais tendências, o aumento da temperatura afetará a disponibilidade hídrica, devido ao aumento dos totais de déficit hídrico e redução dos totais de excesso hídrico, comprometendo a produtividade da cultura do milho nas regiões do estado do Maranhão.

Sucedendo o déficit hídrico nas regiões por meio do aumento da temperatura no período observado, implicará o aumento do risco climático, ou seja, encurtamento da época favorável ao plantio do milho, que compreende as fases de semeadura/emergência e floração /enchimento de grãos, impedindo a expressão da capacidade produtiva da cultura.

De modo geral, o cenário 8.5 apontou os maiores impactos no clima, com temperatura do ar superior às observadas no cenário 4.5, além da redução da disponibilidade hídrica nas regiões. Portanto, o conhecimento dessas informações poderá servir como subsidio na adoção de medidas de adaptação e mitigação dos impactos gerados pelas mudanças climáticas no setor agrícola.

REFERÊNCIAS

- ABPA. Associação de Proteína Brasileira Animal. Avicultura no Brasil. 2018. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura>> Acesso em: 15 out. 2019.
- AGENCIA BRASIL. São Paulo: EBC, [2019]-. **Diário**. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/>> Acesso em: 15 set. 2019.
- AGRIANUAL. ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Milho**. Informa Economics/FNP – South America, 349-377, 2014.
- ARRUDA, I. M.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J. S.; FERREIRA, J. M. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 146-154, 2015.
- ARTAXO, P.; DIAS, M. A. F. S.; NAGY, L.; LUIZÃO, F. J.; CUNHA, H. B.; QUESADA, C. A. N.; MARENGO, J. A.; KRUSCHE, A. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da Floresta Amazônica. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 41-46, 2014.
- ALVES, G. C. Efeito da inoculação de bactérias Diazotróficas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Bulkholderia* em genótipos de milho. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2007. 65 p.
- ASSAD, E. D.; MACEDO, M.A.; CÂMARA, G.; et al. Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.581-587, 2001.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; NASSAR, A. M.; HARFUCH, L.; FREITAS, S.; FARINELLI, B.; LUNDELL, M.; BACHION, L. C.; FERNANDES, E. C. M. (2013). **Impactos das Mudanças Climáticas na Agropecuária Brasileira**. Washington, Banco Mundial, 116 p.
- BALDO, M. N. Comportamento anatômico, fisiológico e agrônômico do milho (*Zea mays* L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos. 2007, 92p. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** – Universidade de São Paulo “ESALQ”, Piracicaba, 2007. 92 p.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Évora, 2014. 52f. Material de apoio. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf> . Acesso em: 26 nov. 2019.
- BECK, J.. Predicting climate change effects on agriculture from ecological niche modeling: who profits, who loses?. **Climatic change**, v.116, n.2, p.177-189, 2013. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10584-012-0481-x>
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249. 2006.

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R.B.; MORELLATO, L. P. C. (Ed.). **Fenologia: Ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. CD-ROM.

BERGAMASCHI, Homero; MATZENAUER, Ronaldo. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p. il.

BORÉM, A.; GALVÃO, J.C. C.; P, M.A. **Milho do plantio a colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 162.

BRAGA, A. C. F. M. **Bases conceituais e compilação de estudos do projeto Brasil 2040**. Resumo Executivo. Brasília, 2015. Disponível em: <[http://www.agroicone.com.br/\\$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040Resumo-Executivo.pdf](http://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040Resumo-Executivo.pdf)> Acesso em: 16 mai.2019.

BRASIL. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE). **Cenários Climáticos**, 2015. Disponível em: <<[http://www.agroicone.com.br/\\$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf](http://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2019.

BRASIL - FUNDAÇÃO ELISEU ALVES (FEA). **Agricultura**, 2015. Disponível em: <[http://www.agroicone.com.br/\\$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf](http://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2019.

CAMILO, Jenifer Alves et al. **Resposta da cultura do milho à alterações futuras na temperatura do ar**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 35, 2018, Lavras. Resumo Londrina, 2018.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5 Safra 2017/18 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-148, 2018.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento **Acomp. safra bras. grãos**, v. 6 – Safra 2018/19, n. 6 – Sexto levantamento, março de 2019. Disponível em: Acesso em: 21 março 2019.

CONAB, **Acomp. safra bras. grãos**, v. 4 Safra 2016/17 - Décimo segundo levantamento, Brasília-DF, 2017, 1-158p.

COLLINS, W. J. et al. Development and evaluation of an Earth-system model HadGEM2, **Geoscientific Model Development**, n. 4, 2011. Disponível em: <<https://www.geosci-model-dev.net/4/1051/2011/gmd-4-1051-2011.html>> Acesso em: 15 mai. 2019.

CHEN, J., BRISSETTE, F. P., LECONTE, R. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. **Journal of Hydrology**, 401 (2011) 190–202.

CHOU, S.C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, v. 3, p. 438-454, 2014. In. ROCHA, V. M. Avaliação do balanço de água na amazônia simulado pelo modelo eta-hadgem2es no período de 1985 a 2005. **Revista de Geografia** (Recife) V. 33, No. 4, 2016.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 438-454, dez. 2014a. Disponível em: <https://file.scirp.org/pdf/AJCC_2014123115165529.pdf> Acesso em: 15 mai. 2019.

CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R.. Climate change and the flowering time of annual crops. **Journal of Experimental Botany**, v.60, n.9, p.2529-2539, 2009.

EBC, EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO. **Agência Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-05/brasil-ja-e-segundo-maior-exportador-mundial-de-milho>> Acesso em: 25 nov. 2019.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **500 perguntas 500 respostas** 2011. Disponível em: <cnptia.infoteca.www.embrapa.br> Acesso em: 26 nov. 2019.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do Milho**, 2015. Disponível em:<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&pmode=view&p_p_col_id=column2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_996514994_topicoId=8658>. Acesso em: 26 nov. 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento agrícola de risco climático: instrumento de gestão de risco utilizado pelo seguro agrícola do Brasil**. Disponível em:<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Zoneamento_agricola_000f17v6vox02wyiv80ispccruh04mek.pdf> Acesso em: 23 nov. 2019.

FANCELLI, A. L. **Milho: Estratégias de manejo**. Piracicaba: USP/ESA LQ/LPV, 2013. 180 p.

FANCELLI, A. L. **Milho: Ecofisiologia**. Piracicaba: USP/ESA LQ/LPV, 2015. 23 p.

FREITAS, Leonardo José. **Avaliação dos efeitos de bioestimulantes na cultura do milho**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia, 2019.

GARCIA, J.C.; MATTOSO, M.J.; DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. Sete Lagoas, **Circular Técnica**. EMBRAPA, n. 74, 2006. 12 p.

HALL, J., MATOS S., SILVESTRE, B., MARTIN, M. Managing technological and social uncertainties of innovation: **The evolution of Brazilian energy and agriculture**. *Technological Forecasting & Social Change* 78 (2011) 1147–1157.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, **Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento de Safras Agrícolas no Ano Cível**, fevereiro, 2016.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)**, 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agenciasaladeimprensa/2013agenciadenoticias/releas/es/24363-em-abril-ibge-preve-alta-de-2-2-na-safra-de-graos-de2019>. Acesso em: 16 mai. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Modelagem de Mudanças Climáticas**, 2016. Disponível em: < <http://ftp.cptec.inpe.br/etamdl/Workshop/WorkEtaV/Palestras/11-Proje%C3%A7%C3%B5es%20de%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas%20-%20Andr%C3%A9%20Lyra.pdf>> Acesso em: 24 nov. 2019.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change **Climate Change 2014a: Synthesis Report – Summary for Policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014b: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press.

JÚNIOR, A. D. M. et al. Classificação Climática de Thornthwaite para o Brasil com Base em Cenários de Mudanças Climáticas do IPCC-AR5. **Rev. bras. meteorol.** vol.33 no.4 São Paulo, 2018.

LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MARIN, A.M.P. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. **Instituto Nacional do Semiárido - INSA**, Campina Grande, 2011. 209 p.

MARCIAL, E. C. (Org.) Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo? : contribuição para um debate de longo prazo para o Brasil. Brasília: **Ipea**, 2015. 175 p.

MARTIN, G. M. et al. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 723-757, 2011. Disponível em: <<https://www.geosci-model-dev.net/4/723/2011/>> Acesso em: 15 mai. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Zoneamento

Agrícola de Risco Climático: **Instrumento de Gestão de Risco Utilizado pelo Seguro Agrícola do Brasil**. Disponível em: [www. agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br). Acesso em: 20 de nov. 2019.

MOSS, R. H. **The next generation of scenarios for climate change research and assessment**. *Nature*, v. 463, n. 7282, , fev. 2010. 747–756 p. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20148028>> Acesso em: 16 mai. 2019.

MORRISON, L. A. **Cereals: Domestication of the Cereal Grains**. p. 86-98, 2016.

MUNIZ, Y. S. **Parâmetros de produtividade da cultura do milho em função do teor de umidade do solo e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; URBANO, D. F.; DE ALMEIDA, R. A. F.; GIAROLLA, E. Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. *Journal of Climate*, v. 22, n. 21, p. 5686–5697, 2009.

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X.; O valor dos recursos genéticos do milho para o Brasil. In. UDRY. C. V.; DUARTE, W.; **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – Fundamentos e aplicações práticas**. Porto Alegre: Agropecuária, 2002.

PINTO, H. S. et al. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Embrapa, São Paulo, 2008.

PONS, A. L.; BRESOLIN, M. **A cultura do milho** [Zea mays; Prática cultural; Rio Grande do Sul; Brasil]. Trigo e Soja, 2011.

RAMIREZ-VILLEGAS, J.; CHALLINOR, A. Assessing relevant climate data for agricultural applications. *Agricultural and forest meteorology*, v.161, p.26-45, 2012

RANJITKAR, S.; SUJAKHU, N. M.; MERZ, J.; KINDT, R.; XU J.; MATIN, M. A.; ALI, M.; ZOMER, R. J.. **Suitability analysis and projected climate change impact on banana and coffee production zones in Nepal**. *PloS one*, v.11, n.9, 2016.

ROSE, G.; OSBORNE, T.; GREATREX, H.; WHEELER, T.. Impact of progressive global warming on the global-scale yield of maize and soybean. *Climatic change*, v.134, n.3, p.417-428, 2016

SANS, L.M.A.; SANTANA, D.P. Clima e Solo. In: CRUZ, J.C.; VERSANI, R.P.; FERREIRA, M.T.R. Cultivo do milho. Sete Lagoas, MG: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35185/1/Clima- solo.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

SANTOS, J.F. et al. Avaliação de cultivares e híbridos de milho para microrregião de Campina

Grande, PB. **Tecnologia e Ciência agropecuária**, João Pessoa, v.6, n.2, p. 29-33, jun./2012.

SILOTO, Romildo Cássio. Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho. p.88 **Tese de Doutorado em Agronomia**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, V. P.R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.131–138, 2011.

SCHWARTZ, Peter. **The art of long view: planning for the future in an uncertain world**. New York: Doubleday, 1996.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; SCARSI, M.; SGARBOSSA, M. Desenvolvimento inicial e produtividade da cultura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.2, p. 286-291, 2012.

