



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



JOYCE HERCULANO LOPES

**DESEMPENHO DO MODELO AQUACROP NA SIMULAÇÃO DE VARIÁVEIS
DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO PARA O CULTIVO DA SOJA
EM ALAGOAS**

RIO LARGO – AL

2023

JOYCE HERCULANO LOPES

**DESEMPENHO DO MODELO AQUACROP NA SIMULAÇÃO DE VARIÁVEIS
DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO PARA O CULTIVO DA SOJA
EM ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

ORIENTADOR

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

RIO LARGO – AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

L864d Lopes, Joyce Herculano

Desempenho no modelo AquaCrop na simulação de variáveis de crescimento e desenvolvimento para cultivo da soja em Alagoas. / Joyce Herculano Lopes – 2023.
34 f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023.

Orientação: Dr. Guilherme Bastos Lyra

Inclui bibliografia

1. Condições climáticas. 2. Rendimento agrícola. 3. AquaCrop - modelo. I. Título.

CDU: 631

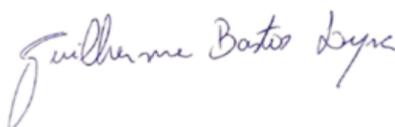
Folha de Aprovação

AUTORA: JOYCE HERCULANO LOPES

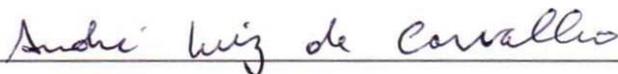
DESEMPENHO DO MODELO AQUACROP NA SIMULAÇÃO DE VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO PARA O CULTIVO DA SOJA EM ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)



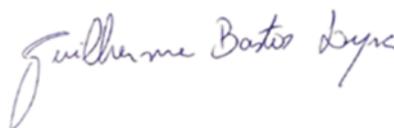
Prof. Dr. André Luiz de Carvalho, Instituto Federal de Alagoas
(Examinador Externo)



Pesquisador Dr. Adolpho Emanuel Quintela da Rocha, Universidade Federal de Alagoas
(Examinador Interno)

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

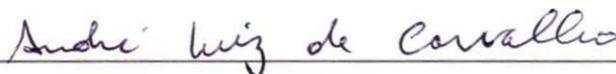
Aos 5 (cinco) dias do mês de janeiro de 2023, às 09h00, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**DESEMPENHO DO MODELO AQUACROP NA SIMULAÇÃO DE VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO PARA O CULTIVO DA SOJA EM ALAGOAS**”, da aluna **Joyce Herculano Lopes**, matrícula **18112931**, requisito obrigatório para conclusão do Curso de Agronomia, assim constituída: Professor Doutor Guilherme Bastos Lyra - CECA/UFAL (Orientador); Professor Doutor André Luiz de Carvalho – IFAL; e Pesquisador Doutor Adolpho Emanuel Quintela da Rocha – CECA/UFAL. Terminada a defesa do trabalho, procedeu-se o julgamento final, e apuradas as notas, a candidata foi considerada **APROVADA**, com média geral 10,0 (dez inteiros). Na oportunidade a aluna foi notificada do prazo máximo de 30 (trinta) dias, a partir desta data, para envio da versão definitiva do trabalho defendido à Coordenação do Trabalho de Conclusão de Curso, com as correções sugeridas pela Banca, sem o que esta avaliação se tornará sem efeito, passando o aluno a ser considerado reprovado. Assim, a versão definitiva do TCC deverá ser encaminhada a conta eletrônica tcc.scaa@gmail.com, além da obrigatoriedade do envio do Trabalho a Biblioteca Setorial do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias. Nada mais havendo a tratar, os trabalhos foram encerrados para a lavratura da presente ATA, que depois de lida e achada conforme, vai assinada por todos os membros da Banca Examinadora, pelo Coordenador do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e pelo Coordenador do Curso de Agronomia do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, Alagoas, 5 de janeiro de 2023.



1º Examinador

Professor Doutor Guilherme Bastos Lyra (Orientador)

2º Examinador



Professor Doutor André Luiz de Carvalho



3º Examinador

Pesquisador Doutor Adolpho Emanuel Quintela da Rocha

Coordenador Trabalho
Conclusão de Curso

Professor Doutor Reinaldo de Alencar Paes

Coordenador do Curso

Professor Doutor Reinaldo de Alencar Paes

A meu pai, José Maria Lopes de Melo (*in memoriam*), que tão cedo nos deixou, mas estaria orgulhoso por me ver chegar até aqui. Essa vitória é nossa!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me ajudou nos momentos mais difíceis, me tornando capaz de concluir essa etapa importante em minha vida;

A minha mãe, Vera Lúcia Herculano da Silva, por ser minha base, por todos os ensinamentos e lições, sendo paciente, gentil e amorosa, me educando, apoiando e incentivando nos momentos mais difíceis ao longo da minha vida;

A minha irmã, Vitória Beatriz Herculano Lopes, por ser minha parceira de vida, dividindo comigo os dias mais alegres e vitoriosos, por toda a amizade, apoio e atenção dedicados a mim quando mais precisei;

A Gustavo Santos Silva, por todo carinho, cuidado, apoio e acolhimento, tornando meus dias mais alegres e me incentivando a concluir essa etapa;

Ao meu orientador, professor Dr. Guilherme Bastos Lyra, pela confiança em mim depositada nessa longa jornada, por todos os ensinamentos, conselhos e amizade;

Aos professores do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia: Iêdo Teodoro, Marcos Alex, Ricardo Araújo, Alexsandro Almeida, André Carvalho, Gustavo Lyra, Ivomberg Dourado e Adolpho Quintela pelos ensinamentos e incentivos;

Ao corpo docente do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias por terem contribuído em minha formação;

Aos meus amigos e colegas de laboratório: José Wanderson, Iêdo Peroba, Jair Quintela, Marcos Antonio, Constantino Cavalcante, Julianna Catonio, Wemerson Saulo, Tiago Amaral, José Antonio, Manoel Alpiano, Jonathan Tenório, Jailton Aciole, Larisse Araújo, Marcelo Tertuliano, Danilo Nascimento e Thiago Cirilo, pela ajuda, amizade e boa convivência;

Aos meus colegas de turma: Bartolomeu Souza, Emanuel Araújo, Liandra Santos, William Alexandre, Lucas Santana, Gabriela Calheiros, Élide Correia pela ajuda e pelos momentos de descontração;

A minha psicóloga, Lucilene Ferreira, por tornar meus pensamentos mais leves e claros e me fazer acreditar em mim, por me incentivar a sempre persistir;

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelas concessões de bolsas;

A todos que contribuíram, de forma direta e indireta, para que esse trabalho fosse concluído e pela confiança no meu empenho.

“Nunca é tarde para ter um novo objetivo ou sonhar um sonho novo.”

(C.S. Lewis)

RESUMO

A soja é uma das principais culturas agrícolas do mundo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho do modelo AquaCrop simulando a produtividade da soja em diferentes cenários climáticos para o estado de Alagoas a fim de identificar a correlação existente entre os dados de biomassa e rendimento de grãos observados e simulados. Para as projeções futuras foram utilizados os cenários RPC 4.5 e RCP 8.5 obtidos através do modelo MIROC5 em períodos de médio (2049) e longo prazo (2079). As simulações foram realizadas com o uso de dados referentes ao clima, solo, cultura e manejo para a localidade estudada. Nos resultados obtidos as produtividades observadas e estimadas foram comparadas de acordo com os indicadores estatísticos: índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c), porcentagem de desvio (Pe), erro absoluto (Ea) e erro relativo (Er). O modelo AquaCrop respondeu de forma positiva a simulação de produtividade de soja, mostrando valores próximos aos observados, com índices de confiança superiores a 0,85. O modelo subestima a biomassa quando a demanda hídrica da cultura não é atendida.

Palavras-chave: Condições climáticas, modelagem, rendimento agrícola.

ABSTRACT

Soybean is one of the main agricultural crops in the world. The objective of the present work was to evaluate the performance of the AquaCrop model simulating soybean productivity in different climatic scenarios for the state of Alagoas to identify the existing correlation between observed and simulated biomass and grain yield data. For future projections, the RPC 4.5 and RCP 8.5 scenarios obtained through the MIROC5 model were used in medium (2049) and long term (2079) periods. The simulations were carried out using data referring to climate, soil, culture, and management for the location studied. In the results obtained, the observed and estimated yields were compared according to the statistical indicators: Willmott's concordance index (d), Pearson's correlation coefficient (r), confidence index (c), deviation percentage (Pe), error absolute (Ea) and relative error (Er). The AquaCrop model responded positively to the simulation of soybean productivity, showing values close to those observed, with confidence indices greater than 0.85. The model underestimates the biomass when the water demand of the crop is not met.

Keywords: Climatic conditions, modeling, agricultural yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração de referência (ET_0) e temperatura mínima e máxima do ar em relação aos dias após a semeadura (DAS), no período de 20 de junho a 09 de outubro em diferentes cenários (RCPs) a médio (2049) e longo prazo (2079) em relação ao atual (2019), na região de Rio Largo – AL.....26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Variáveis de entrada para cultura da soja no AquaCrop, no período de 20 de junho de 2019 a 09 de outubro de 2019, na região de Rio Largo - AL.....21
- Tabela 2.** Análise estatística da biomassa simulada no modelo AquaCrop, utilizando desvio padrão (Desvpad), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), e índice de confiança (c), em diferentes cenários para o cultivo de soja na região de Rio Largo - AL.....27
- Tabela 3.** Erros absoluto (Ea) e relativo (Er) obtidos entre as produtividades observadas (Oi) e simuladas (Si) para a cultivar M-8349 no AquaCrop em diferentes cenários.....28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.Características da cultura da soja.....	16
2.2. Temperatura e estresse hídrico na cultura.....	16
2.3. Cenários de mudanças climáticas.....	17
2.4.Modelo AquaCrop.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1.Descrição da área experimental.....	20
3.2.O Modelo AquaCrop.....	20
3.3.Parâmetros de solo.....	21
3.4.Parâmetros fenológicos e de crescimento da cultura.....	21
3.5.Parâmetros climáticos.....	21
3.6.Modelo MIROC5.....	22
3.7.Análise dos dados modelados.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

O aumento da produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no estado de Alagoas destaca a cultura como uma opção viável e lucrativa de diversificar o agronegócio da região. O crescimento observado durante as últimas safras, onde foram obtidas produtividades de 3,0 t ha⁻¹ (2019/2020) e 3,5 t ha⁻¹ (2020/2021), frisa que apesar de recém adquirida no estado, a cultura se mostra promissora (CONAB, 2021).

O êxito da implantação da soja em Alagoas depende da introdução de novas tecnologias que integrem cultivares com tecnologias de adaptação às condições climáticas e com características agronômicas específicas para o local, visando definir a melhor época de cultivo, intensificando assim o potencial de produção dessa leguminosa em condições de sequeiro.

O excesso ou déficit hídrico são fatores que interferem diretamente no desempenho agrícola da cultura da soja nas regiões produtoras do país (FARIAS *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2010). A Zona da Mata Alagoana apresenta uma quadra chuvosa entre os meses de maio e agosto, onde pode haver excesso hídrico nesse intervalo, seguido de um período de escassez (WANDERLEY *et al.*, 2013).

A dependência da cultura da soja por fatores ambientais e climáticos torna o manejo adequado uma ferramenta essencial no processo produtivo. A melhoria da eficiência do uso da água na agricultura irrigada ou em sequeiro é de suma importância, uma vez que uma irrigação feita em excesso ou deficiente pode prejudicar a produção agrícola (BOCCHIOLLA *et al.*, 2013). É imprescindível ter conhecimento a respeito da quantidade adequada e do momento certo para evitar aplicações desnecessárias, possibilitando a absorção de água sem que a cultura seja comprometida.

As mudanças climáticas previstas para o futuro através de modelos climáticos podem apresentar impactos nos rendimentos agrícolas e conseqüentemente, na segurança alimentar a nível mundial (ROSENZWEIG e HILLEL, 1998). Alterações de temperatura influenciam na disponibilidade de recursos hídricos, evidenciando a necessidade do aumento na demanda de água para suprir a redução de precipitação visando manter a produção de alimentos (KONAR *et al.*, 2011).

A consolidação da cultura da soja no Brasil tem estimulado o crescimento da produção que vem sendo observado nas últimas décadas, isso irá implicar no aumento da pressão sobre os recursos a médio e longo prazos se tratando de cenários de mudanças climáticas.

Os modelos classificados como conceituais, físicos e matemáticos mostram-se indispensáveis na agricultura moderna por apresentarem aptidão na solução de dificuldades quanto a variação de produtividade com base em cultivos agrícolas realizados. A análise de todo o sistema de produção pode ser feita usando modelos matemáticos antes da implantação, possibilitando a correção de falhas durante a fase de planejamento, reduzindo custos com manejos e demais setores produtivos (MELLO e CAIMI, 2008).

No contexto da importância econômica da soja fica evidente a necessidade de pesquisas com uso de modelos climáticos que permitam embasar a implantação da cultura no estado. Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho do modelo AquaCrop simulando a produtividade da soja em diferentes cenários climáticos para o estado de Alagoas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de maior importância mundial, plantada em mais de 130 milhões de hectares com uma produção aproximada de 356 milhões de toneladas (EMBRAPA 2022). Essa é a oleaginosa mais produzida e consumida no mundo devido a sua utilização tanto para consumo animal, quanto para o humano por seus altos teores de proteína e óleo (FAO, 2016).

A soja pode ser cultivada em todas as regiões do Brasil dadas as habilidades de desenvolvimento de cultivares que sejam adaptadas aos diferentes ambientes (FREITAS, 2011). A cultura necessita de um mínimo de horas de luz para florescer, sendo classificada como uma planta de dias curtos. Esse fotoperíodo tem variação conforme as cultivares (TEJO et al., 2019).

A época de semente da soja influencia seu desenvolvimento vegetativo e produtivo, variável essa que apresenta maior impacto sobre a produtividade (CRUZ et al., 2010). A genética das cultivares, as características ambientais e climáticas são fatores determinantes da produtividade (TEJO et al., 2019).

O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, com uma produtividade média de 3.029 kg/ha na safra 2021/2022. A área plantada, no período de 2021/2022 apresentou acréscimo de 4,9% comparada a anterior, alcançando 41,4 milhões de hectares, produzindo aproximadamente 125,5 milhões de toneladas, 9,9% a mais que a safra anterior (CONAB, 2022).

No Nordeste a área ocupada foi de 3,54 milhões de hectares com produção de 12,81 milhões de toneladas. A produção em Alagoas ainda é considerada inferior com 7,6 mil toneladas com área de cultivo de 2,1 mil hectares. (CONAB, 2022). O país apresenta grande potencial de multiplicação da produção atual, pelo seu aumento na produtividade e potencial expansivo da área cultivada (VENCATO et al., 2010).

2.2. Temperatura e estresse hídrico na cultura

As regiões que apresentam temperatura entre 20°C e 30°C são as mais propícias ao desenvolvimento da soja. Áreas com temperaturas menores que 10°C não são

recomendadas para o cultivo por interferir negativamente no crescimento e desenvolvimento da cultura. O florescimento é induzido por temperaturas acima de 13°C, e quando submetida a temperaturas superiores a 40°C, são observados diversos efeitos desfavoráveis à produção. O valor ideal para proporcionar uma emergência rápida e uniforme é de 25°C (FARIAS et al., 2007).

Em muitas partes do mundo a água sempre foi um grande fator limitante para a produção agrícola devido a quantidade de chuva insuficiente (ANJOS, 2011). A deterioração dos recursos hídricos tende a ser uma preocupação dado o ritmo de crescimento industrial e agrícola, juntamente com o aumento da densidade populacional e a falta de compromisso em todos os níveis para proteger esses recursos.

O estresse hídrico é o maior fator limitante da produtividade de culturas agrícolas. Plantas que são expostas ao déficit hídrico durante seu desenvolvimento terão menos chances de manifestar seu potencial produtivo (OLIVEIRA, 2018). Bergamasch et al. (2006) apontam que o déficit hídrico diminui o desenvolvimento das plantas devido à queda de área foliar e biomassa durante o período vegetativo.

A planta que tem seu desempenho afetado pela falta de água apresentará baixa produtividade em no que se refere as sementes, assim como uma qualidade fisiológica reduzida, dada a baixa abertura dos estômatos e diminuição de assimilados disponíveis para o desenvolvimento de grãos (MINUZZI et al., 2015).

Características como um bom crescimento de raízes para aumentar a absorção de água em camadas mais profundas, taxas mais elevadas de fotossíntese e uma nutrição sem deficiências são essenciais para que as plantas sejam mais tolerantes a baixas condições hídricas (VIANA et al., 2021).

2.3.Cenários de mudanças climáticas

Os cenários climáticos são interpretações feitas a respeito do clima futuro, onde são descritas as modificações no clima do planeta em decorrência de determinadas alterações na composição da atmosfera, decorrente das atividades do homem e com base em uma junção de suposições de tendências que regem o comportamento do sistema climático sobre grandes períodos (HAMADA et al., 2008).

Estudos sobre mudanças climáticas globais apontam uma projeção futura do aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) e uma redução nas chuvas intensas, assim como períodos secos mais frequentes (MARENGO, 2001).

As circunstâncias térmicas têm influência sobre as mais diversas fases vitais das plantas, desde a germinação até o desenvolvimento fenológico, que influencia o crescimento da planta como um todo (MINUZZI et al., 2015). Portanto, as consequências do aquecimento global e de eventos climáticos extremos são motivos de grande preocupação para assegurar os cultivos e a continuidade do fornecimento de alimentos (MARENGO, 2001).

As projeções para possíveis mudanças climáticas para o século XXI poderão interferir de maneira significativa a produção agrícola, a biodiversidade e os recursos hídricos, uma vez que o aquecimento ocasiona o aumento da evaporação, diminuindo a disponibilidade de água armazenada no solo (CAMPOS, 2010).

As mudanças no clima acompanhadas pelo aumento de temperatura do ar podem alterar a produção das culturas, influenciando negativamente o desempenho e a produtividade dos cultivos agrícolas (FAGUNDES et al., 2010; FAO, 2012).

As mudanças nos padrões de temperatura e precipitação acompanhados de um aumento nos níveis de dióxido de carbono (CO₂) poderão modificar a demanda de evapotranspiração (ET), prejudicar a disponibilidade de água e a produção agrícola (ISLAM et al., 2012).

2.4. Modelo AquaCrop

Os modelos são ferramentas aptas a realizar projeções futuras do clima e estimar a resposta da planta frente as interações com os fatores edafoclimáticos (OLIVEIRA, 2018). Os modelos voltados à agricultura têm como destaque a possibilidade de análise do funcionamento do sistema de produção antes de implantá-lo. Na pesquisa, ajudam a interpretar os resultados experimentais e simulam o desenvolvimento das culturas em cenários diversos (PIEKARSKI, 2016).

A simulação é um método útil para prever resultados de ensaios ou ações, que não podem ser testados experimentalmente, trazendo um planejamento de colheita, diminuindo as incertezas no processo de tomada de decisão (ANJOS, 2011).

O AquaCrop é um modelo de crescimento de cultura, desenvolvido pela Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO), estabelecendo equilíbrio entre precisão, simplicidade, robustez e facilidade de uso sendo destinado a usuários práticos (MAGALHÃES).

A vantagem do AquaCrop em relação aos outros modelos é que ele requer um mínimo de dados de entrada, que podem ser obtidos sem grande complexidade. O modelo foi disposto para simular a produção potencial e produtividade final em basicamente quatro etapas: desenvolvimento do dossel, transpiração da cultura, acúmulo de biomassa e produtividade final (OLIVEIRA, 2019).

A calibração do modelo é um processo de ajustes dos parâmetros do modelo para que tenha capacidade de representar a realidade observada (OLIVEIRA, 2019). Vale salientar que o AquaCrop já foi parametrizado, calibrado e validado para diversas regiões e culturas no mundo (OLIVEIRA, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área experimental

Os parâmetros necessários para calibração do modelo AquaCrop foram obtidos através do experimento realizado na tese do estudante de doutorado Wemerson Saulo da Silva Barbosa, que foi conduzido na área experimental do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Rio Largo, com as seguintes coordenadas geográficas: 09°28'02" de latitude sul e 35°49'43" de longitude oeste, 127m de altitude, em uma área de 1.155m².

De acordo com a classificação de Thornthwaite e Mather, o clima da região é caracterizado como úmido, megatérmico (quente), com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação média anual é 1.800mm. A temperatura média anual é de 25,4°C e umidade relativa do ar média mensal acima de 70% (SOUZA et al.; 2006).

O experimento foi realizado no delineamento em blocos ao acaso, composto por cinco repetições em parcelas de 10 linhas com 5m, espaçadas à 0,5m e uma população de 350.000 plantas por hectare. Os tratamentos foram compostos pelas cultivares: AS-3730, BMX-POTÊNCIA, BRS-9383, M-6210, M-8349 e M-6410. A cultivar escolhida para avaliação do modelo foi M-8349. O plantio foi realizado no dia 20 de junho de 2019 e a colheita no dia 09 de outubro de 2019.

3.2. O Modelo AquaCrop

O modelo considera a produtividade normalizada da água da cultura (WP) constante para um determinado clima, sendo normalmente agrupada de acordo com o metabolismo da cultura, para plantas que apresentam mecanismos C₃ a produtividade de água estará entre 15 e 20mg⁻². Outro importante parâmetro de saída do modelo é o rendimento agrícola (Y), que é calculado através do produto entre biomassa (B) e índice de colheita (IC), o qual é simulado com relação ao tempo, desde a floração até a maturação fisiológica (STEDUTO et al.; 2009).

3.3. Parâmetros de solo

Os parâmetros de solo utilizados para composição do banco de dados foram constituídos pelas variáveis coletadas na estação experimental de Rio Largo.

3.4. Parâmetros fenológicos e de crescimento da cultura

O arquivo de cultura no AquaCrop apresenta parâmetros específicos da cultura pertencentes aos estágios de crescimento fenológico com desenvolvimento de copa, raízes, evapotranspiração, água, fertilidade e temperatura. A tabela 1 apresenta as principais variáveis de entrada para a cultivar utilizada.

Tabela 1. Variáveis de entrada para cultura da soja no AquaCrop, no período de 20 de junho de 2019 a 09 de outubro de 2019, na região de Rio Largo - AL.

VARIÁVEIS	CULTIVAR
	M-8349
Plantio	20/06/2019
Colheita	09/10/2019
Emergência (¹ DAP)	5
Floração (DAP)	43
Duração da floração (DAP)	7
Senescência (DAP)	90
Maturação (DAP)	111
Profundidade efetiva da raiz (DAP)	53
Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)	350000
Índice de Colheita (%)	27,3

¹Dias após o plantio (DAP).

Fonte: Autora (2022).

3.5. Parâmetros climáticos

O banco de dados climáticos foi composto pelos seguintes parâmetros de entrada: precipitação pluvial, temperatura do ar máxima e mínima diária, evapotranspiração de referência - (ET₀) (estimada através do método Penman-Monteith-FAO com dados de entrada provenientes da mesma estação agrometeorológica) e a concentração média anual de CO₂ atmosférico, ajustado pelo modelo para o respectivo ano simulado. O modelo também relaciona os componentes solo-cultura-atmosfera através do balanço de água (ARAYA et al.; 2010).

3.6. Modelo MIROC5

As previsões climáticas que compreendem o clima futuro (2019-2079) foram adquiridas a partir do modelo climático global MIROC5, cujos dados foram gerados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE e disponibilizados na Plataforma PROJETA. Onde contrastaram-se valores da produtividade do experimento de soja com o rendimento agrícola das safras futuras para a cultivar M-8349.

As projeções climáticas foram realizadas por meio dos Caminhos Representativos de Concentrações (RCPs) de gases de efeito estufa (GEE). RCPs são cenários climáticos com projeções para o futuro forçamento radiativo de taxas de emissão de gás e esforços de mitigação até 2100. O cenário RCP 4.5 é o mais otimista dando continuidade a rota atual de emissão, que atinge um forçamento radiativo global até o ano de 2100. Para RCP 8.5, cenário mais pessimista, o aquecimento é projetado para se estender além de 2100.

O clima futuro foi organizado em escalas temporais de médio e longo prazo, de acordo com os meses que compõem a safra de soja. A médio prazo, o cenário que representa o futuro é o ano de: 2049. A longo prazo, o cenário representante é 2079.

3.7. Análise dos dados modelados

A acurácia e verificação do desempenho do modelo em relação aos dados simulados foram realizados através de comparações entre resultados observados e simulados utilizando testes estatísticos. Foram comparados os valores de biomassa (BS) e rendimento de grãos (Y) utilizando os indicadores estatísticos: Índice de Concordância Willmott, Coeficiente de Correlação de Pearson, Índice de confiança, Porcentagem de Desvio, Erro absoluto e Erro relativo.

O Índice de Concordância proposto por Willmott, (1982) avalia a concordância existente entre os pontos simulados e observados através da aproximação ou afastamento dos dados, esse coeficiente é representado pela letra “d”, que varia de zero a um, em que zero indica a nulidade e um indica a exatidão, de acordo com a equação 1.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=0}^N (|S_i - \bar{o}| + |O_i - \bar{o}|)^2} \right] \quad (1)$$

Em que: S_i é o valor estimado pelo modelo no dia i ; O_i é o valor observado no dia i e O é a média dos valores observados.

O Coeficiente de Correlação de Pearson “ r ” mede o grau de associação entre duas variáveis, indicando a correlação entre os dados observados e simulados, essa correlação pode ser positiva ou negativa de acordo com, Rodrigues (2008) equação 2.

$$r = \frac{\sum O_i S_i - \frac{\sum S_i \times \sum O_i}{N}}{(N - 1) \times S_{O_i} * S_{S_i}} \quad (2)$$

Em que: r é o coeficiente de correlação de Pearson; $\sum XY$ é a soma dos produtos entre os valores de X e Y ; $\sum X * \sum Y$ é o produto da soma dos valores de X e Y ; N é o número de observações; S_x é o desvio padrão dos valores de x e o S_y é o desvio padrão dos valores de y .

A equação 3 demonstra a avaliação através do Índice de confiança “ c ” proposto por Camargo e Sentelhas (1997) sendo utilizada com o objetivo de indicar o desempenho dos métodos, utilizando o produto entre o coeficiente de correlação “ r ” e o índice de concordância de Willmott “ d ”.

$$c = r * d \quad (3)$$

Os valores do índice “ c ” indicam o seguinte desempenho do modelo testado: “ótimo” (“ c ” > 0,85); “muito bom” ($0,76 \leq “c” \leq 0,85$); “bom” ($0,66 \leq “c” \leq 0,75$); “mediano” ($0,61 \leq “c” \leq 0,65$); “sofrível” ($0,51 \leq “c” \leq 0,60$); “mau” ($0,41 \leq “c” \leq 0,50$); e, “péssimo” (“ c ” $\leq 0,40$) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

No processo de calibração e validação do AquaCrop, as produtividades simuladas no modelo (S_i , $t \text{ ha}^{-1}$) foram comparadas com as produtividades (O_i , $t \text{ ha}^{-1}$). Para servir de comparação, foram calculados os erros absolutos (equação 4) e relativos (equação 5).

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^n |Oi - Si|}{n} \quad (4)$$

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^n |Oi - Si|}{\sum_{i=1}^n Oi} * 100 \quad (5)$$

Em que: Ea – erro absoluto médio (t ha⁻¹); Er – erro relativo (%).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos parâmetros climáticos foram obtidos para verificar o desempenho da cultivar M-8349, utilizando o modelo AquaCrop para os cenários futuros, RCP 4.5 (otimista) e RCP 8.5 (pessimista), nos anos de 2049 e 2079, respectivamente, durante os meses de junho a outubro em comparação com o cenário atual (2019). O modelo foi avaliado com base nas análises estatísticas realizadas, que demonstraram resultados satisfatórios para o acúmulo de biomassa seca e produtividade.

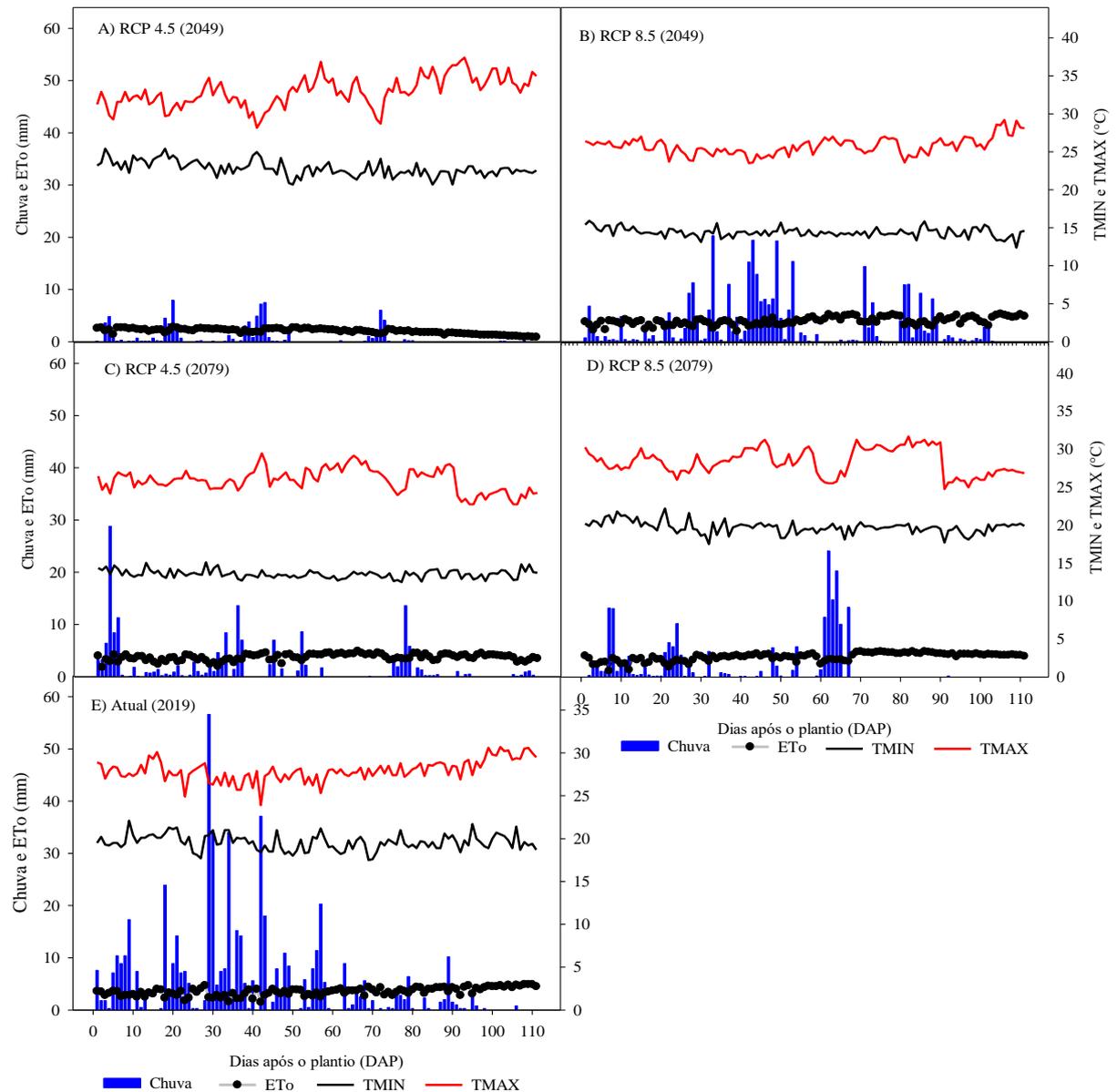
Em relação a escala temporal de médio prazo (2049), a RCP 4.5 apresentou média de temperatura mínima do ar de 20,7°C e máxima de 29,9°C, isto corresponde a um aumento de 1,1 e 2,0°C, quando comparado com o cenário atual (2019). A ET_0 foi 223 mm e precipitação de 78,1 mm. Na RCP 8.5, a média de temperatura mínima do ar foi de 19,6°C e máxima de 25,8°C, em comparação com os dados atuais a média da temperatura mínima se manteve estável e a máxima obteve uma diminuição de 2,1°C. A ET_0 foi 410,1 mm e precipitação de 310,5 mm.

No que se refere a escala temporal de longo prazo (2079), ambos os cenários, otimista e pessimista apresentaram 19,7°C de média de temperatura mínima do ar, valor bem próximo ao atual de 19,6°C. A média de temperatura máxima do ar para a RCP 4.5 foi 25,9°C e a RCP 8.5 foi 25,8°C, os valores demonstraram uma variação de 2 e 2,1°C, respectivamente, sobre o valor atual. A evapotranspiração de referência do cenário otimista foi 412,8 mm e precipitação de 180,2 mm, enquanto no cenário pessimista a ET_0 foi 426 mm e precipitação de 202,4 mm.

No que diz respeito a temperatura do ar, todos os cenários, tanto a médio, quanto a longo prazo possuem condições aceitáveis para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja por estarem dentro da faixa ideal para o cultivo que corresponde entre 20 e 30°C (BATTISTI; SENTELHAS, 2014).

Com os dados gerados para as variáveis climáticas no modelo MIROC5 em cenários futuros ficam nítidos os aumentos de temperatura na região de estudo, indicando também alterações nos valores de precipitação evidenciando sua diminuição (FIGURA 1). A produção de culturas agrícolas no futuro pode ser prejudicada por restrições hídricas, seja pelo aumento do consumo devido ao acréscimo de temperatura ou pela redução da oferta hídrica causada pela diminuição das chuvas (MONTEIRO, 2015).

Figura 1. Precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração de referência (ET_0) e temperatura mínima e máxima do ar em relação aos dias após a semeadura (DAS), no período de 20 de junho a 09 de outubro em diferentes cenários (RCPs) a médio (2049) e longo prazo (2079) em relação ao atual (2019), na região de Rio Largo – AL.



Fonte: Autora (2022).

A demanda hídrica da cultura da soja se encontra na faixa ideal quando varia de 450 a 850 mm de água (SEDIYAMA, 2015). Nota-se que todos os cenários futuros apresentam valores inferiores a demanda da cultura. Com isso, o uso da irrigação torna-se necessário para suprir o valor mínimo exigido por essa leguminosa. Santos et al. (2020) afirmam em trabalho semelhante para a cultura da soja em cenários de mudanças climáticas nas regiões Norte e Nordeste que há previsões de déficit hídrico para todos os

estados do nordeste em todos os cenários futuros durante os ciclos produtivos. De acordo com Santos (2018) para cada cenário e ano há uma série de fatores contribuintes para a diminuição da precipitação durante o período da simulação ao qual a cultura foi submetida.

Comparando a biomassa observada e simulada de acordo com os diferentes cenários por meio dos desvios, notou-se que todos os valores simulados foram subestimados em relação aos observados em que para a situação de campo apresentou 12,6 t ha⁻¹ para a cultivar M-8349. O desvio padrão observado de 4,68 foi comum a todos os cenários. Na escala temporal de médio prazo (2049) os valores simulados foram de 3,98 e 4,67 para os cenários otimista e pessimista e 3,43 e 3,72, respectivamente a longo prazo (2079).

Diante da análise estatística observou-se que o índice de concordância de Willmott (d) variou entre 0,92 e 0,99 para os cenários RCP 4.5 e 8.5 correspondentes aos anos de 2049 e 2079 (Tabela 2), assim como no cenário atual, alcançando valores próximos a 1, o que indica a exatidão da concordância existente entre os dados simulados e observados.

Tabela 2. Análise estatística da biomassa simulada no modelo AquaCrop, utilizando desvio padrão (Desvpad), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), e índice de confiança (c), em diferentes cenários para o cultivo de soja na região de Rio Largo - AL.

Cenários	Biomassa (t ha ⁻¹)	Desvpad	r	d	c
Atual (2019)	12,60	4,68	0,98	0,97	0,95
RCP 4.5 - 2049	11,15	3,98	0,99	0,98	0,96
RCP 8.5 - 2049	13,37	4,67	0,98	0,99	0,97
RCP 4.5 - 2079	9,70	3,43	0,97	0,92	0,90
RCP 8.5 - 2079	10,47	3,72	0,99	0,96	0,94

Fonte: Autora (2022).

Para o coeficiente de correlação de Pearson (r) foram obtidos valores de 0,98 para os cenários atual e RCP 8.5 em 2049, 0,97 para a RCP 4.5 em 2079 e 0,99 para as RCPs 4.5 em 2049 e 8.5 em 2079 indicando uma correlação alta entre os dados de biomassa observada e estimada. Rosa et al. (2019) em trabalho similar para a cultura do trigo em Castro, PR, encontraram ajustes excelentes quanto aos coeficientes de correlação (r) e índice “d” (r = 1 e “d” = 1) com o AquaCrop.

O índice de confiança “c” foi classificado como “ótimo” por apresentar valores maiores que 0,85 em todos os cenários, em que o atual apresentou valor igual a 0,95 e a médio prazo no cenário otimista e pessimista os valores foram 0,96 e 0,97, no cenário a longo prazo as RCPs 4.5 e 8.5 obtiveram valores 0,90 e 0,94, respectivamente.

O valor observado de produtividade para a cultivar M-8349 (Tabela 3) foi 3,330 t ha⁻¹ para todos os cenários, os simulados foram 2,815 e 2,140 t ha⁻¹ para os cenários otimista e pessimista a médio prazo (2049) e 3,650 e 2,495 t ha⁻¹ a longo prazo (2079), respectivamente. Os erros absolutos e relativos obtidos nas análises para o ano de 2049 foram: Ea 0,258 t ha⁻¹ e Er 18,29% (RCP 4.5), Ea 0,595 t ha⁻¹ e Er 55,61% (RCP 8.5). Para o ano de 2079 foram: Ea -0,160 t ha⁻¹, Er -8,77% (RCP 4.5) e Ea 0,418 t ha⁻¹ e Er 33,47% (RCP 8.5).

Tabela 3. Erros absoluto (Ea) e relativo (Er) obtidos entre as produtividades observadas (Oi) e simuladas (Si) para a cultivar M-8349 no AquaCrop em diferentes cenários.

Cenários	Oi	Si	Ea	Er
	(t ha ⁻¹)			
Atual (2019)	3,33	3,35	-0,01	-0,69
RCP 4.5 - 2049	3,33	2,82	0,26	18,29
RCP 4.5 - 2079	3,33	3,65	-0,16	-8,77
RCP 8.5 - 2049	3,33	2,14	0,60	55,61
RCP 8.5 - 2079	3,33	2,50	0,42	33,47

Fonte: Autora (2022).

5. CONCLUSÕES

De modo geral, foram observados aumentos na temperatura mínima e máxima nos cenários futuros, assim como os valores de precipitação foram inferiores aos exigidos pela cultura da soja em relação ao período atual, se fazendo necessário o uso de irrigação para suprir essa necessidade.

O modelo AquaCrop respondeu de forma positiva a simulação de produtividade de soja, mostrando valores próximos aos observados, com índices de confiança superiores a 0,85. Porém, o modelo subestima a biomassa quando a demanda hídrica da cultura não é atendida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, F. A. Simulação de produtividade de milho em diferentes épocas de semeio em Arapiraca, Alagoas, pelo modelo AquaCrop. Orientador: José Leonaldo de Souza. 2011. 70f. Dissertação (mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2011.

ARAYA, A., SOLOMON, H., KIROS, M.H., AFEWERK, K., TADDESE, D. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agric. Water Manage.* 97, 1838–1846. 2010.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: A case study. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1149 - 1156, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1149-1156>.

BERGAMASCHI, H; DALMAGO, G. A; COMIRAN, F; BERGONCI, J. I; MULLER, A. G; FRANÇA, S. SANTOS, A. O; RADIN, B; BIANCHI, C. A. M; PEREIRA, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006.

BOCCHIOLA, D.; NANA, E.; SONCINI, A. Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agricultural Water Management*, v. 116, p.50-61, 2013.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p. 89- 97. 1997.

CAMPOS, J. H. B. C. Impactos das alterações climáticas sobre a área de cultivo e produtividade de milho e feijão no Nordeste do Brasil usando modelagem hidrológica. Campina Grande: UFCG. 2010. Tese de Doutorado.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra: grãos v.8 – Safra 2020/21, n.12 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-98, setembro 2021.

Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em 28/09/2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra: grãos v.9 – Safra 2021/22, n.12 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-88, setembro 2022.

Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em 05/12/2022.

CRUZ, T. V; PEIXOTO, C. P; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no Oeste da Bahia. *Scientia Agraria*, v. 11, n. 1 p. 33-42, 2010.

EMBRAPA SOJA, Tecnologias de Produção da soja no Paraná. Sistema de Produção 1. Londrina:EmbrapaSoja.Disponível em:<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em 05 de dezembro de 2022.

FAGUNDES, J. D.; PAULA, G. M. DE.; LAGO, I. Â; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A. Aquecimento global: efeitos no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade de batata. *Ciência Rural*, v.40, p.1464-1472, 2010

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. ETo Calculator. Manual (38p) e software Version 3.2. 2012.

FAO. 2016. FAOSTAT. Base de dados. [HTTP://faostat3.fao.org/](http://faostat3.fao.org/). 30 de Jan de 2016.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização do risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001

FARIAS, J. R. B; NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N. *Ecofisiologia da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular técnica, 48).

FREITAS, M. C. 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.

HAMADA, E; GONÇALVES, R. R. V.; ORSINI, J. A. M.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.25-73, 2008.

ISLAM, A; AHUJA, L. R; GARCIA, L. A; MA, L; SASEENDRAN, A. S; TROUT, T. J. Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management*, v.110, p.94-108, 2012.

KONAR, M., DALIN, C., SUWEIS, S., HANASAKI, N., RINALDO, A., AND RODRIGUEZ-ITURBE, I.: Water for food: The global virtual water trade network, *Water Resour. Res.*, 47, W05520, doi:10.1029/2010WR010307, 2011.

MAGALHÃES, I. D. Cultivo do feijão irrigado e uso do AquaCrop em Alagoas. 2017. 121 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2017

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 16, n. 1, p.01-18, 2001.

MELLO, A.; CAIMI, L. L. Simulação na validação de sistemas computacionais para agricultura de precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2008; 12:666-675.

MINUZZI, R. B; LOPES, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 8, p.734-740, 2015.

MINUZZI, R. B; LOPES, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 8, p.734-740, 2015.

MONTEIRO, J. E. B.; NAKAI, A. M.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; DE OLIVEIRA, A. F. E PAVÃO, E. D. M. (2015). Risco climático para soja no Brasil em cenários de mudanças climáticas no período 2011-2040. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais. Lavras: UFPA, 2015.

OLIVEIRA R. M. DE. Efeito da restrição hídrica na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão (*phaseolus vulgaris* L.). Orientador: Eduardo Fontes Araújo. 2018. 39f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2018.

OLIVEIRA, C. T. Modelo AquaCrop: calibração, validação e uso para soja e milho na região dos Campos Gerais. Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza. 2018. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

OLIVEIRA, V. M. R. Parametrização e avaliação do modelo AquaCrop para gramíneas forrageiras sob diferentes disponibilidades hídricas. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. 2019. 91f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2019.

PARRY, M.L.; ROSENZWEIG, A. I.; LIVERMORE, M.; FISCHER, G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, v. 14, n. 1, p. 53-67, 2004

PIEKARSKI, K. R; SOUZA, J. L. M; JERSZURKI, D; TSUKAHARA, R. Y; OLIVEIRA, C. T. Simulação da produtividade da soja em três tipos de solo com o modelo AquaCrop. *Convibra*, 2016.

RODRIGUES, W.C. Apostila Estatística Aplicada. 6ª Ed. Revisada e Ampliada, 2008. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/br>> Acesso em: 23/11/2020.

SANTOS, Cleyson Danilo Monteiro et al. Impactos das mudanças climáticas na cultura da soja no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2454, 2018.

SANTOS, J. F. S.; NAVAL, L. P.; LEITE, D. F. C.; BARBACENA, D. R. E SEVERO, F. A. S. (2020). Pegada hídrica da soja em cenários de mudanças climáticas na última fronteira agrícola do Cerrado nas regiões Norte e Nordeste. **Agrometeoros**, 27.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Eds.) Soja: do plantio à colheita. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, MG, 2015. 333 p.

SOUZA, E.S.; BORGES, F.W.L.; MACIEL, G.F.; SOUSA, J.P.; PICANÇO, A.P. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite para a cidade de Palmas–TO.

In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém. Anais... Belém-PA, 2010. CD-ROM.

SOUZA, J. L. et al. Umidade do solo em cultivo de feijão com refletômetro de conteúdo de água sob variações de cobertura do solo e de irrigação. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa, agosto de 2006.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, v. 101, n. 3, p. 426-437, 2009.

TEJO, D. P; FERNANDES, C. H. S; BURATTO, J. S. Soja: Fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF*, v. 35, n. 1, 2019.

TOJO SOLER, C.M. Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”. 132p. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, ESALQ/USP. 2004.

VENCATO, A. Z., et al. Anuário Brasileiro da Soja 2010. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, p. 144, 2010.

VIANA, J. S; TENÓRIO-BARROS, C; BORGES, J. P. G. S; SILVA, M. B. G; GONÇALVES, E. P; MOURA, M. F. Condicionantes para cultivo de soja tolerante ao déficit hídrico no Semiárido Nordeste. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, 2021.

WANDERLEY, Henderson Silva; DE AMORIM, Ricardo Ferreira Carlos; DE CARVALHO, FREDE OLIVEIRA. Interpolação espacial da precipitação no Estado de Alagoas utilizando técnicas geoestatística. **Revista Campo Digital**, v. 8, n. 1, 2013.