



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS DCH – CAMPUS IX  
COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

THIAGO LIMA CHAGAS

**SIMULAÇÃO DA BIOMASSA E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA PARA O CLIMA  
ATUAL E FUTURO**

**BARREIRAS-BA**

**2021**



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS DCH – CAMPUS IX  
COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

THIAGO LIMA CHAGAS

**SIMULAÇÃO DA BIOMASSA E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA PARA O CLIMA  
ATUAL E FUTURO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Engenharia Agrônômica da Universidade do Estado da Bahia – UNEB / Campus - IX Barreiras, como requisito parcial para avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Alberto do Nascimento Silva.

Coorientador: Dr. Marcos Antônio Vanderlei Silva.

**BARREIRAS-BA**

**2021**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Sistema de Bibliotecas da UNEB

C433s Chagas, Thiago Lima

Simulação da biomassa e da produtividade da soja para o clima atual e futuro / Thiago Lima Chagas. - Barreiras, 2021.

37 fls : il.

Orientador(a): Alberto do Nascimento Silva.

Coorientador(a): Marcos Antônio Vanderlei Silva.

Inclui Referências

TCC (Graduação - Engenharia Agrônoma) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Ciências Humanas. Campus IX. 2021.

CDD: 633

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA  
Departamento de Ciências Humanas – Campus IX

**SIMULAÇÃO DA BIOMASSA E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA PARA O CLIMA  
ATUAL E FUTURO**

Trabalho de Conclusão de Curso -TCC apresentado à Universidade do Estado da Bahia  
como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Banca Examinadora:

*Alberto do Nascimento Silva*

---

Dr. Alberto do Nascimento Silva  
Orientador/Presidente

*Marcos Antônio Vanderlei Silva*

---

Dr. Marcos Antônio Vanderlei Silva  
Coorientador

*Evandro Chaves de Oliveira*

---

Dr. Evandro Chaves de Oliveira  
Examinador Externo 1

*Silas Alves Souza*

---

MSc. Silas Alves Souza  
Examinador Externo 2

Data de realização: 10 de dezembro de 2021

## **DEDICATÓRIA**

A minha mãe, Irimacia de Souza Lima, aos meus avós maternos Francisca Alves de Souza e Francisco Joaquim Alves de Lima (em memória), que tem sido meu apoio, inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao único Deus, que nos salva por meio de Jesus Cristo, por me conceder a vida e me acompanhando ao longo de toda trajetória em busca dos meus objetivos.

A minha mãe, Irimacia de Souza Lima, a minha avó Francisca Alves de Souza e minha irmã, Tainá Lima Chagas, por todo apoio para que pudesse realizar todos os meus objetivos.

Aos meus tios e tias, em especial a meu tio Jefferson, a meu tio Marcos que é, também, meu Coorientador, a minha tia Isabélia por todo suporte, conselho e ensinamento ao longo de todo curso e a família Lima e Souza estendo o meu muito obrigado.

Aos meus amigos (Alicia Souza, Allicia Regina, Bianca Tavares, Bruna Makyssine, Danilo Fernandes, Gabriela Carvalho, Israel Santana, Ivson Samuel, Késia Vanessa, Mirlla Coelho, Matheus Silva e Silvanir Sena), por toda parceria, alegrias, bem como ajuda nas dificuldades vividas ao longo da graduação.

Ao grupo do GAMU – Grupo de Pesquisa em Agrometeorologia da UNEB – por toda experiência vivida, bem como ensinamentos e aprendizados que vou levar comigo ao longo da vida profissional, estendo meus agradecimentos aos meus amigos de pesquisa Acassio e Weverson pela parceria.

Ao meu orientador Dr. Alberto do Nascimento Silva e ao meu Coorientador professor/ tio Dr. Marcos Antônio Vanderlei Silva pelas orientações, confiança e conhecimento transmitido durante o curso e execução do trabalho.

A Universidade do Estado da Bahia (UNEB), juntamente com seus funcionários e a todos que de alguma maneira contribuíram direta ou indiretamente para concretização dessa etapa importante de minha vida, os meus sinceros agradecimentos, **OBRIGADO**.

## RESUMO

A utilização do AquaCrop consiste na alimentação de dados no software de uma cultura específica para trazer estimativas de produtividade daquela cultura, analisando o desenvolvimento do dossel, expansão das raízes e condições ambientais. Além disso, a agricultura hoje consome cerca de 70% de toda a água doce e pode precisar produzir 60% a mais de alimentos até 2050. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi simular a produtividade e a biomassa da soja, em sistema irrigado, considerando o clima presente e cenário de alteração climática através do modelo AquaCrop. O trabalho foi realizado na região do Oeste da Bahia no município de Luís Eduardo Magalhães, utilizaram-se dados coletados da Soja cultivar M8349 IPRO. Para a simulação com o modelo AquaCrop foram alimentados os dados do clima, cultura, campo, irrigação e solo. O modelo foi rodado 10 vezes para a calibração da produção da cultura da soja e, posteriormente, foi feita a comparação com a produtividade real, analisando-se a produtividade e biomassa. As produtividades estimadas e reais foram comparadas estatisticamente, considerando: raiz quadrada do erro médio (RMSE), coeficiente de correlação ( $r$ ), índice de concordância de Willmont ( $d$ ) e índice de confiança ( $c$ ). O software AquaCrop respondeu positivamente as simulações da produtividade e biomassa da soja, tendo desempenho considerado “Muito Bom”, com valores do índice “ $c$ ” de 0,82 e de 0,85. A simulação com os cenários Clima Presente e RCP 8.5, mostraram queda de produtividade para projeções climáticas à médio prazo (ano agrícola 2050-2051).

**Palavras chaves:** Software; AquaCrop; M8349 IPRO; Modelagem computacional.

## ABSTRACT

The use of AquaCrop consists of feeding data into the software for a specific crop to bring estimates of productivity for that crop, analyzing canopy development, root expansion and environmental conditions. In addition, agriculture currently consumes around 70% of all fresh water and may need to produce 60% more food by 2050. In this sense, the objective of this work was to simulate soybean productivity and biomass in an irrigated system, considering the present climate and climate change scenario through the AquaCrop model. The work was carried out in the western region of Bahia in the municipality of Luís Eduardo Magalhães, using data collected from soybean cultivar M8349 IPRO. For the simulation with the AquaCrop model, the climate, crop, field, irrigation and soil data were fed. The model was run 10 times to calibrate the production of the soybean crop and, later, it was compared with the real yield, analyzing yield and biomass. Estimated and actual yields were statistically compared, considering: root mean square error (RMSE), correlation coefficient (r), Willmont agreement index (d) and confidence index (c). The AquaCrop software responded positively to the soybean productivity and biomass simulations, having a performance considered “Very Good”, with “c” index values of 0.82 and 0.85. The simulation with the Climate Present and RCP 8.5 scenarios showed a drop in productivity for medium-term climate projections (agricultural year 2050-2051).

**Key words:** Software; AquaCrop; M8349 IPRO; Computational modeling.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - percentagem

°C - graus Celsius

**FAO** – organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

**km<sup>3</sup>** - quilômetro cúbico

**kg** - quilograma

**IBGE** – instituto brasileiro de geografia e estatística

**ton** – tonelada

**ha** - hectare

**RMSE** – raiz quadrada do erro médio

**mm** – milímetro

**r** – coeficiente de correlação

**d** – índice de concordância de Willmont

**CO<sub>2</sub>** - dióxido de carbono

**c** – índice de confiança

**Ea** – erro absoluto médio

**Er** – erro relativo

**r** – coeficiente de correlação de Pearson

**Y<sub>rt</sub>** – valores reais médios de produtividade observados no i-ésimo experimento

**Y<sub>r</sub>** – valores simulados de produtividade no i-ésimo experimento

**n** – número de experimentos

**Zn** – zinco

**CONAB** – companhia nacional de abastecimento

**ET<sub>o</sub>** – evapotranspiração de referência

**ppm** – parte por milhão

**km<sup>2</sup>** – quilômetros quadrados

**S** – sul

**W** – oeste

**m** – metros

**RCP** – caminhos representativos de concentração

**Matopiba** – Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia

**t** – tonelada

**DAP** – Dias após plantio

**HI** – Índice de Colheita

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Datas das coletas e estádios fenológicos da cultura.....	23
Tabela 2. Calibração com alteração de parâmetros não conservativos .....	24
Tabela 3. Desempenho do modelo através do índice “c” .....	26
Tabela 4. Análise do cenário climático RCP 8.5 e clima presente (Irrigado e Não Irrigado) ..	31
Tabela 5. Análise do erro e desempenho do Modelo AquaCrop.....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem de Satélite da fazenda SAMA e Pivô 8.....	21
Figura 2. A, B – Pivô 8 Soja (cultivar M8349 IPRO) .....	22
Figura 3. Evolução da ETo (mm), da precipitação (mm) ao longo do ciclo da cultura (1 e 2: Crescimento vegetativo; 3: Florescimento; e 4 Maturação e colheita) para o cenário Clima Presente.....	27
Figura 4. Evolução da ETo (mm), da precipitação (mm) ao longo do ciclo da cultura (1 e 2: Crescimento vegetativo; 3: Florescimento; e 4 Maturação e colheita) para o cenário RCP 8.5 .....	28
Figura 5. Biomassa observada, simulada e calibrada pelo modelo AquaCrop cultura da soja cultivar M8349 IPRO .....	29
Figura 6. Produtividade observada, simulada e calibrada pelo modelo AquaCrop cultura da soja, cultivar M8349 IPRO.....	30
Figura 7. Evolução da cobertura vegetal da cultura da Soja para os cenários Clima Presente (Irigado) e RCP 8.5 .....	32
Figura 8. Transpiração da Cultura da Soja para os cenários Clima Presente (Irigado) e RCP 8.5 .....	32

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1. Cultura da Soja .....	15
2.2. Estresse hídrico.....	16
2.3. Cenários Climáticos Futuros .....	17
2.4. Modelo AquaCrop.....	18
<b>3. MATERIAIS MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1. Descrições da área experimental .....	21
3.2. Informações da cultura .....	22
3.3. Dados de entrada necessário para simulação do AquaCrop.....	23
3.4. Cenários Climáticos e dados para projeções futuras .....	24
3.5. Análise estatística .....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
4.1. Caracterizações climáticas dos cenários presentes e futuros.....	27
4.2. Biomassas observada, calibrada e simulada. ....	28
4.3. Produtividades observada, calibrada e simulada. ....	29
4.4. Resultados de cenários futuros .....	30
4.5. Análises estatísticas .....	33
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é a principal fonte mundial de proteína para alimentação animal e, usada também, na produção de óleo para alimentação humana, na indústria e para produção de biocombustível, além do Brasil possuir o status de maior produtor de soja mundial (CONAB, 2021a).

O período de pré-colheita da soja se inicia na maturação fisiológica dos grãos se estende até a colheita. Esse período é uma das etapas mais críticas para a produção, pois qualquer alteração pluviométrica pode afetar no produto final, o grão. É válido salientar que os preços internacionais do grão sofrem influência do cenário climático e suas projeções climatológicas. Por isso a necessidade de projeções futuras de produtividades para ter-se uma estimativa dos preços na Bolsa de Chicago.

A água é um recurso finito e indispensável para o crescimento de uma cultura. O mau uso desse recurso vem trazendo preocupações sobre a disponibilidade da água para as futuras gerações. Além disso, segundo Veriato (2015) apenas 0,3% ou 105 mil km<sup>3</sup> é água potável, a qual não está distribuída uniformemente no globo. Nesse contexto, ainda segundo a autora, em 2050 estima-se um aumento da demanda hídrica mundial em 55% e a agricultura, que hoje consome cerca de 70% de toda a água doce, pode precisar produzir 60% a mais de alimentos, impactando no consumo da água doce disponível no planeta e podendo vir a causar um colapso se não for usada de forma racional.

Os cenários climáticos futuros são projeções de modificação do clima do planeta baseado em análises estatísticas futuras. A interferência humana é um dos principais fatores do desequilíbrio ambiental, como o aumento das emissões dos gases de efeito estufa mais especificamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). As consequências do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e de eventos climáticos extremos já são apontadas por diversos estudos, dentre eles tem-se (GOMES et al., 2020; SOUSA et al., 2019; MARTINS et al., 2019; VERIATO et al., 2015 ISLAM et al., 2012). Além disso, espera-se um aumento da demanda de suplementação hídrica para os anos futuros bem como a redução da precipitação e aumento da temperatura média.

Estima-se que no médio prazo todas as regiões do planeta sofrerão mudanças do clima, incluindo elevação de temperatura, estações quentes alongadas, mais ondas de calor e menos extremos de frio o que afetará a agricultura (IPCC, 2021).

Considerando-se os cenários futuros e a ocorrência de eventos meteorológicos adversos cada vez mais frequentes, tem-se os modelos agrometeorológicos, a exemplo, do AquaCrop que ajuda na simulação do crescimento e da produtividade. Assim o modelo disponibiliza um planejamento da colheita futura sobre diferentes climas, permitindo a redução das incertezas durante o processo de tomada de decisão.

A simulação é uma ferramenta útil para predizer resultados futuros esperados para a cultura que não pode ser testadas de maneira experimental, ademais a previsão de produtividade é de grande importância, pois fornece informações úteis ao agricultor para o planejamento das safras futuras, além de ter uma previsão do desempenho da cultura no decorrer da safra. Nessa perspectiva, uma das principais vantagens do AquaCrop é a previsão do desempenho da cultura antes da implantação da safra.

A utilização do AquaCrop consiste na alimentação de dados no software de uma cultura específica para trazer estimativas de produtividade daquela cultura, analisando o desenvolvimento do dossel, expansão das raízes e condições ambientais.

Nesse viés, o objetivo do presente trabalho foi simular a produtividade e a biomassa da soja, em sistema irrigado e não irrigado, considerando o clima presente e cenário de alteração climática através do modelo AquaCrop.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Cultura da Soja**

A cultura da soja exige um mínimo de 550-800 mm para que possa manifestar seu potencial produtivo, porém este volume é variável, principalmente em função da região de cultivo, ciclo da cultivar e condições edafoclimáticas (BUBANS, 2019).

A soja é uma planta oleaginosa pertencente à família das Fabaceae. Em virtude do desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes ambientes, a cultura da soja pode ser cultivada em todas as regiões do Brasil. Ademais, a soja liderou a implantação de uma nova civilização no Brasil Central, levando o progresso e o desenvolvimento para regiões despovoadas e desvalorizadas como a expansão continua em novos territórios do bioma Cerrado, estabelecendo uma nova fronteira agrícola chamada de Mapitoba – Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, no Norte e Nordeste do país (FREITAS, 2011).

Báez et al. (2020) destaca a importância da soja como uma das principais fontes de alimento, tanto para consumo humano como para consumo animal. A CONAB (2021a) destaca a soja como principal fonte de proteína para alimentação animal e, usada também, na produção de óleo para alimentação humana e na indústria para produção de biocombustíveis. Já no âmbito do agronegócio mundial, a produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentou crescimento dos mais expressivos (EMBRAPA, 2010).

A soja é classificada como uma planta de dias curtos, ou seja, é necessário um mínimo de horas de luz para florescer, o que recebe o nome de fotoperíodo crítico. O fotoperíodo da soja é variável entre as cultivares, cada cultivar possui um número de horas de luz (TEJO et al., 2019). O período pré-colheita da soja se inicia na maturação fisiológica dos grãos e se estende até a operação de colheita (TSUKAHARA et al., 2016).

A soja tem seu desenvolvimento vegetativo e produtivo influenciado pela época de semeadura, sendo esta a variável que produz maior impacto sobre a sua produtividade (CRUZ et al., 2010). Além disso, a produtividade é determinada pelo conjunto da constituição genética da cultivar, das condições ambientais no local de cultivo e da interação entre o genótipo e ambiente (TEJO et al., 2019).

O Brasil é o maior produtor de soja mundial, com uma produtividade média de 3.529 kg/ha na safra 20/21 (CONAB, 2021a), seguido dos Estados Unidos e Argentina. A área

plantada, no período 20/21 apresentou crescimento de 4,3% comparado com a safra anterior, atingindo 38,5 milhões de hectares, além das estatísticas apontarem uma produção recorde (136 milhões de toneladas) com incremento de 8,9% comparando-se com a safra anterior (CONAB, 2021b).

## **2.2. Estresse hídrico**

A água é indispensável para a vida no planeta, foi esse elemento da natureza que proporcionou a existência da vida animal e vegetal na terra, é a água que impulsiona desenvolvimento econômico, sociocultural e ecológico (VERIATO et al., 2015). Em grande parte do mundo, esse recurso sempre foi o principal fator limitante para a produção agrícola, onde as chuvas não são suficientes (ANJOS, 2011).

O lucro hoje é um dos fatores almeçados na produção agrícola, sendo a irrigação um dos pilares da produção. Diante disso, busca-se irrigar de maneira precisa para evitar desperdícios e obter o máximo de produção, sendo o déficit de água um fator extremamente prejudicial para a produção.

A Embrapa (2004) aponta que a degradação dos recursos hídricos tende a atingir patamares alarmantes face ao ritmo do crescimento industrial e agrícola associado a uma densidade populacional crescente e a falta de comprometimento em todos os níveis de atividade quanto à conservação desses recursos.

O fator que mais limita a produtividade de qualquer cultura é o estresse hídrico a que a planta está submetida durante o seu desenvolvimento, sendo que quanto menor for o déficit hídrico da cultura, maior serão as chances de expressar todo seu potencial produtivo. Os efeitos adversos da restrição hídrica dependem da sua intensidade e duração e da fase de desenvolvimento de uma determinada cultura (OLIVEIRA, 2018). Sendo que a falta de água é o segundo maior redutor de produtividade, perdendo apenas para a ocorrência de doenças nas lavouras (AGUIAR et al., 2008). Como efeitos decorrentes da falta d'água, destacam-se o menor desenvolvimento da planta, a baixa produtividade especificamente em sementes e a diminuição da qualidade fisiológica (OLIVEIRA, 2018), além de o estresse hídrico reduzir a abertura dos estômatos e diminuir a quantidade de assimilados disponíveis para o desenvolvimento de grãos (MINUZZI et al., 2015).

Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento de plantas em decorrência do decréscimo da área foliar e da biomassa, mas caso as condições hídricas se

tornem favoráveis, posteriormente, pode chegar a garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos (BERGAMASCH et al., 2006).

Os efeitos da falta d'água irão depender da sua época, intensidade e da duração. No geral, as condições hídricas a que as plantas estão submetidas no campo determinam a produção e a qualidade das sementes produzidas. Contudo, esses efeitos variam em decorrência da intensidade e da época em que ocorrem (OLIVEIRA, 2018).

A água é um fator limitante para o desenvolvimento da cultura, sendo um dos pilares da produção, cujo tanto a falta como o excesso afetam o crescimento, a sanidade e a produção de plantas (MONTEIRO et al., 2006). Segundo Viana et al. (2021), para que as plantas se tornem resistentes a períodos de déficit hídrico é necessário um bom desenvolvimento das raízes, o melhoramento na absorção de água das camadas mais profundas, as altas taxas de fotossíntese, a condutância estomática e os ajustes de turgor celular, além de uma nutrição balanceada de todos os nutrientes essenciais.

### **2.3. Cenários Climáticos Futuros**

Os cenários climáticos são representações sobre o clima futuro, descrevendo como se modificará o clima do planeta em decorrência de uma determinada alteração da composição da atmosfera, resultante das atividades humanas e baseado em um conjunto de suposições, incluindo tendências que regem o comportamento do sistema climático sobre grandes períodos de tempo (CAMILLONI; BIDEGAIN; 2005 apud HAMANDA et al., 2008).

A mudança climática é um processo decorrente do efeito acumulativo contínuo das emissões excessivas de gases de efeito estufa (dentre eles o dióxido de carbono) e de aerossóis, provenientes da intensificação de algumas atividades humanas (HAMANDA et al., 2008). Marengo (2001) em seu estudo sobre mudanças climáticas globais e regionais aponta uma projeção futura do aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e redução nas chuvas intensas, bem como períodos secos mais fortes e frequentes.

Ademais, Marengo (2001) aponta que as consequências do aquecimento global e de eventos climáticos extremos devem ser preocupações importantes para o cultivo de forma a assegurar a continuidade do fornecimento de alimento. Além disso, as condições térmicas influenciam os mais diversos processos vitais das plantas, desde a germinação até o desenvolvimento fenológico, influenciando o crescimento da planta como um todo (MINUZZI et al., 2015).

Islam et al. (2012) afirma que as mudanças nos padrões de temperatura e precipitação, juntamente com o aumento dos níveis de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), podem alterar a demanda de evapotranspiração (ET) e afetar a disponibilidade de água e a produção agrícola.

Estudo sobre a avaliação dos impactos das mudanças no balanço da água aponta que os cenários de mudanças no clima previsto pelos modelos computacionais indicam reduções no regime de precipitação e aumento na frequência de eventos extremos na maior parte da Amazônia ocidental (GOMES et al., 2020).

Veriato et al. (2015) em seu estudo sobre escassez hídrica e perspectivas para 2050, prevê que em 2050 terá um aumento da demanda hídrica mundial de 55% devido à crescente demanda do setor industrial, dos sistemas de geração de energia termoelétrica e dos usuários domésticos. Ainda segundo o autor, entre 2000 e 2050 estima-se um aumento de 400% da demanda global de água pela indústria manufatureira.

Sousa et al. (2019) em seu estudo de projeções climáticas futuras para o estado do Tocantins, mostra a possibilidade de redução de precipitação para o estado em até -524,8 mm para o século XXI (2011-2040). Além disso, as projeções mostram, também, a possibilidade de aquecimento do estado com temperaturas médias chegando a um aumento de 5,1 °C.

#### **2.4. Modelo AquaCrop**

Os modelos computacionais são ferramentas capazes de trazer projeções futuras do clima e procuram estimar a resposta das plantas frente às interações com os fatores edafoclimáticos (OLIVEIRA, 2018). Os modelos computacionais que simulam o desenvolvimento e produtividade de culturas agrícolas estão sendo cada vez mais utilizadas nos países que possuem agricultura tecnificada (PIEKARSKI, 2016).

A principal vantagem dos modelos computacionais voltados à agricultura está na possibilidade de avaliação do funcionamento do sistema de produção antes de implantá-lo. Além disso, os modelos, também, possuem utilidades na pesquisa, auxiliando na interpretação de resultados experimentais e simulação do desenvolvimento das culturas em diversos cenários (PIEKARSKI, 2016).

A simulação é uma ferramenta útil para prever resultados de ensaios ou ações, que não podem ser testados experimentalmente (ANJOS, 2011), essa simulação traz um planejamento de colheita, bem como diminui as incertezas no processo de tomada de decisão.

O AquaCrop é um modelo de crescimento de cultura, desenvolvido pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). O AquaCrop foi estruturado para simular a produção potencial e sua produtividade final basicamente em quatro etapas: desenvolvimento do dossel, transpiração da cultura, acúmulo de biomassa e produtividade final (OLIVEIRA, 2019). Entretanto, a modelagem está ainda em estágio inicial de desenvolvimento, uma vez que muitos modelos simulam apenas os principais fatores que afetam as culturas (ANJOS, 2011).

O AquaCrop, incorpora os conhecimentos atuais das respostas fisiológicas das culturas em uma ferramenta com a finalidade de simular a biomassa e a produtividade das plantas que podem ser alcançadas pela cultura em resposta a água disponível no local de cultivo (OLIVEIRA, 2018; ANJOS, 2011;). O modelo estabelece equilíbrio entre precisão, simplicidade, robustez e facilidade de uso (ANJOS, 2011), se diferenciando assim dos demais como: DSSAT-CSM, APSIM e CROPSYST (OLIVEIRA, 2018). É importante afirmar que o AquaCrop considera a cobertura do dossel (CC) ao invés do índice de área foliar (IAF), sendo um dado de obtenção mais fácil e simplificando o modelo (OLIVEIRA, 2018).

A simulação da expansão do dossel contabiliza a radiação incidente apenas nas folhas que não estão sombreadas e, assim, aumenta a precisão na contabilização da taxa fotossintética da cultura (PIEKARSKI, 2016). Nessa esteira, Oliveira. (2018) aponta que caso ocorra estresse hídrico, a Cobertura do dossel (CC) simulado será menor que o potencial de cobertura do dossel (CC<sub>pot</sub>) para condições sem estresse.

O modelo AquaCrop trabalha com dois grupos, denominados conservativos e não conservativos. Os parâmetros conservativos devem permanecer constantes em diferentes condições de cultivo e regimes hídricos, sendo obtidos de cultivares de alto rendimento, sem limitação hídrica e fertilidade. Os parâmetros não conservativos são parâmetros calibrados pelo usuário, sendo dependentes do local, genótipo utilizado e manejo (OLIVEIRA, 2018).

A calibração de modelos, segundo Oliveira. (2018), envolve o ajuste de parâmetros chaves do modelo, de forma a minimizar o erro entre os dados reais e simulados. Já Oliveira. (2019) entende a calibração como um processo de ajustes dos parâmetros do modelo para que

seja capaz de representar a realidade observada. Outrossim, vale salientar que o modelo AquaCrop já foi parametrizado, calibrado e validado para diversas regiões e culturas no mundo (OLIVEIRA, 2018).

### 3. MATERIAIS MÉTODOS

#### 3.1. Descrições da área experimental

O trabalho foi realizado na fazenda SAMA, a qual se encontra na região do Oeste da Bahia no município de Luís Eduardo Magalhães, a 947 km de Salvador e a 540 km de Brasília.

O município de Luís Eduardo Magalhães (LEM) que foi emancipado de Barreiras em 2001 é um município da mesorregião do Extremo Oeste Baiano, que integra a região do médio São Francisco (EMBRAPA CERRADOS, 2010). Atualmente, o município de LEM possui uma população estimada de 92.671 habitantes, com uma extensão territorial de 4.036,094 km<sup>2</sup> (IBGE 2021), contribui economicamente com um PIB per capita de R\$ 72.967,01 (IBGE, 2018).

Conforme a classificação de Köppen o clima é Aw, isto é, típico de savana, com inverno seco (KÖPPEN, 1948), possui uma estação seca, de maio a outubro, e outra chuvosa, de novembro a abril, com precipitação pluviométrica média anual de 500 a 1500 mm e amplitude média anual de temperatura entre 21,3° e 27,2°C e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C, o município se encontra no bioma Cerrado. O bioma Cerrado está classificado entre os principais biomas do planeta, a temperatura média anual no Cerrado varia de 17,2° a 28,3°C (NOVAIS, 2019).



Figura 1. Imagem de Satélite da fazenda SAMA e Pivô 8.

### 3.2. Informações da cultura

A cultivar M8349 IPRO foi desenvolvida para a região da Bahia, Maranhão e Piauí, tem ciclo precoce na segunda safra. A temperatura adequada para o desenvolvimento da soja está entre 20°C e 30°C (MIRANDA et al., 2021) Os dados coletados da Soja (cultivar M8349 IPRO) foram retirados do pivô 8 na fazenda, tendo a seguinte coordenada geográfica 12°13'30.6"S 45°58'35.0"W, com uma altitude de 807m. O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com um sistema de preparo do solo plantio semidireto.



Figura 2. A, B – Pivô 8 Soja (cultivar M8349 IPRO)

A soja (cultivar M8349 IPRO) teve sua semeadura no dia 28/10/2020 e colheita no dia 16/03/2021 com duração do ciclo de 140 dias. Os dados de clima (para calibração do clima presente) foram provenientes da Estação Meteorológica instalada na fazenda, obtendo-se dados diários para a safra 20/21. As variáveis obtidas da estação meteorológica foram: Precipitação, Radiação solar, Velocidade do vento, Umidade Relativa do ar e Temperatura máxima, média e mínima do ar.

Para a mensuração da biomassa foram coletadas 20 plantas do pivô 8 durante todo o ciclo de desenvolvimento, totalizando 10 coletas conforme tabela 1. Após a coleta, separavam-se as folhas, as hastes, as raízes e as vagens condicionando-as em sacos. Em seguida, eram levadas para o laboratório da Universidade do Estado da Bahia (UNEB) e pesadas para obtenção do peso fresco. Logo após, todo o material coletado era levado para

estufa de circulação de ar forçada, onde ficavam a 105°C por 72 horas para, posteriormente, ser aferido o peso seco e obtido a biomassa final.

Tabela 1. Datas das coletas e estádios fenológicos da cultura.

<b>Data da Coleta</b>	<b>Estádio Fenológico</b>	<b>DAS</b>	<b>DAE</b>
27/11/2020	V3	31	25
04/12/2020	V4	38	32
18/12/2020	V6	52	46
05/01/2021	R2	70	64
12/01/2021	R3	77	71
20/01/2021	R5	85	79
27/01/2021	R5	92	86
08/02/2021	R5.7	104	98
18/02/2021	R6	114	108
05/03/2021	R7	129	123

DAS – Dias Após a Semeadura; DAE – Dias Após a Emergência.

### 3.3. Dados de entrada necessário para simulação do AquaCrop

Foi utilizado o modelo da FAO AquaCrop Versão 4.0 (STEDUTO et al., 2009; STEDUTO et al, 2012) que é um modelo focado em simular a resposta do rendimento de uma cultura específica ao estresse hídrico, durante todo o período de crescimento.

O AquaCrop simula o crescimento e desenvolvimento das plantas através dos dados alimentados no programa como, aspectos do clima, da cultura, da irrigação, do campo, do perfil do solo, entre outros. O mesmo busca testar os cenários distintos para o futuro e suas variações de clima tendo vantagem pelo fato de não se ter custo de implantação, manutenção e mão de obra.

Para a simulação com o modelo AquaCrop foram alimentados os dados do clima, cultura, campo, irrigação e solo, após a inserção dos valores dos parâmetros no AquaCrop, foram realizadas as calibrações das produtividades enquanto as produtividades calibradas não se aproximavam da produtividade real.

Foram realizadas 10 tentativas de calibrações com alterações de parâmetros não conservativos, a exemplo, do florescimento, senescência e índice de colheita (conforme Tabela 2) para posterior calibração do modelo. A calibração do modelo envolve o ajuste de parâmetros chaves do modelo, de forma a minimizar o erro entre os dados reais (observados)

e simulados (OLIVEIRA, 2018). Posteriormente, foi feita a comparação da produtividade real realizada em campo com a simulada e calibrada, na safra 2020/21.

Os parâmetros não conservativos são aqueles que podem ser alterados pelo usuário para a calibração, dependendo da localidade, manejo dentre outros fatores, já os parâmetros conservativos precisam ser constantes, independentemente, das diferenças de condições que são encontradas em cada região.

Tabela 2. Calibração com alteração de parâmetros não conservativos.

Run	Calibração		Parâmetro alterado		
	Produtividade	Biomassa	Qual	Valor antes	Valor depois
1	5,005	17,411	HI	35	28
2	5,393	17,500	HI	28	30
			Máxima cobertura do dossel	98	100
3	5,714	17,980	HI	30	31
			Dossel máximo	74	68
4	5,550	18,082	Max canopy	68	67
			HI	31	30
5	5,572	18,112	Senescência	128	131
6	5,572	18,112	Duração do florescimento	15	12
7	5,583	18,112	Duração do florescimento	12	15
			Florescimento	56	53
8	5,562	18,112	Florescimento	53	60
9	5,615	18,264	Florescimento	60	58
			Dossel máximo	67	66
10	5,427	18,264	HI	30	29

HI – Índice de Colheita.

### 3.4. Cenários Climáticos e dados para projeções futuras

O cenário climático escolhido para análise foi o RCP 8.5, para o ano agrícola 2050-2051 (médio prazo). Este representa a trajetória da população e economia, como elas vão reagir com o passar dos anos, levando em consideração a emissão de gases de efeito estufa para o futuro. Sendo o RCP 8.5 um cenário pessimista.

Com base nas coordenadas do pivô 8 foram obtidos os dados de temperatura (máxima e mínima) e precipitação a partir dos dados de projeção climática do modelo HADGEM2-ES (CHOU et al., 2014), para o cenário climático RCP 8.5, disponíveis na Plataforma PROJETA (<https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>). A plataforma criada pelo CEPTEC/INPE fornece

dados de projeções climáticas para América do Sul regionalizadas pelo modelo ETA (20 km), possibilitando acesso a diversos parâmetros climáticos. Os dados são fornecidos por ponto específico com base na latitude e longitude, os quais são adquiridos de forma gratuita. O cálculo da ETo para o cenário futuro foi feito dentro do modelo com base nos valores da temperatura máxima e mínima obtida, sendo o mesmo método utilizado pelo clima presente.

### 3.5. Análise estatística

As produtividades estimadas ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) e reais ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) foram comparadas estatisticamente, considerando: raiz quadrada do erro médio (RMSE), coeficiente de correlação ( $r$ ), índice de concordância de Willmott ( $d$ ) e índice de confiança ( $c$ ).

Cálculo do erro absoluto médio (Ea):

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^n |Yr_i - Ys_i|}{n} \quad (\text{Eq. 1})$$

Cálculo do erro relativo (Er):

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^n |Yr_i - Ys_i|}{\sum_{i=1}^n Ys_i} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Cálculo do coeficiente de correlação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Yr_i - \bar{Yr}) \cdot (Ys_i - \bar{Ys})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Yr_i - \bar{Yr})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Ys_i - \bar{Ys})^2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Cálculo do índice “d” de Willmott:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{S_i} - \bar{Y}_r)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|Y_{S_i} - \bar{Y}_r| + |Y_{r_i} - \bar{Y}_r|)^2}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Cálculo do índice “c” de Camargo e Sentelhas:

$$c = d \cdot r \quad (\text{Eq. 5})$$

sendo:  $E_a$  - erro absoluto médio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $E_r$  - erro relativo (%);  $r$  - coeficiente de correlação de Pearson (adimensional);  $d$  - índice “d” Willmott (adimensional);  $Y_{rt}$  - valores reais médios de produtividade observados no  $i$ -ésimo experimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_r$  - valores simulados de produtividade no  $i$ -ésimo experimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $n$  - número de experimentos na localidade (adimensional);  $c$  - índice “c” de Camargo e Sentelhas (adimensional).

O índice de concordância de Willmott é uma medida do grau em que os valores simulados concordam com os valores observados, variando de 0 a 1, sendo que quando igual a 0 indica discordância e quando igual a 1, indica concordância perfeita (SILVA, 2018a).

O RMSE mede a magnitude média dos erros estimados. Os valores de RMSE são sempre positivos, assim variam de 0 a infinito e quanto mais próximo o valor de 0, melhor desempenho de simulação do modelo (SILVA, 2018a).

Tabela 3. Desempenho do modelo através do índice “c”.

<b>Parâmetro de avaliação do modelo</b>	<b>Desempenho</b>
$(“c” > 0,85)$	“Ótimo”
$(0,76 \leq “c” \leq 0,85)$	“Muito bom”
$(0,66 \leq “c” \leq 0,75)$	“Bom”
$(0,61 \leq “c” \leq 0,65)$	“Mediano”
$(0,51 \leq “c” \leq 0,60)$	“Sofrível”
$(0,41 \leq “c” \leq 0,50)$	“Mau”
$(“c” \leq 0,40)$	“Péssimo”

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterizações climáticas dos cenários presentes e futuros.

A soja tem uma necessidade de água de 3 mm a 6mm/dia no estágio vegetativo (MIRANDA et al., 2021). A ausência de precipitação nos estágios iniciais, Estágio 1 e metade do Estágio 2 (Crescimento Vegetativo), acarretou em aumento substancial da evapotranspiração no cenário RCP 8.5, o que não ocorreu no clima presente (Figuras 3 e 4), pois não houve ausência de precipitação. Dessa forma, em termos quantitativos, o modelo mostrou que, para as condições de precipitação, com limitação hídrica para a cultura da soja, a umidade à disposição da planta, nos dois primeiros estágios, saiu de um superávit de 90,0 mm para um déficit de 72,3 mm, respectivamente para os cenários Clima Presente e RCP 8.5. Além do mais Minuzzi et al. (2015) aponta que o déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e interferindo em vários outros processos.

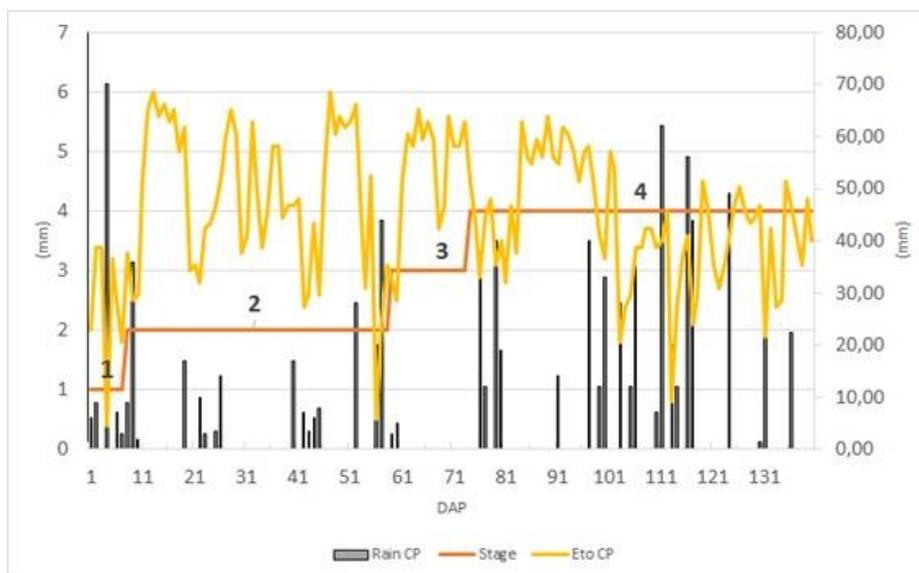


Figura 3. Evolução da ETo (mm) e da precipitação (mm) ao longo do ciclo da cultura (1 e 2: Crescimento vegetativo; 3: Florescimento; e 4: Maturação e colheita) para o cenário Clima Presente.

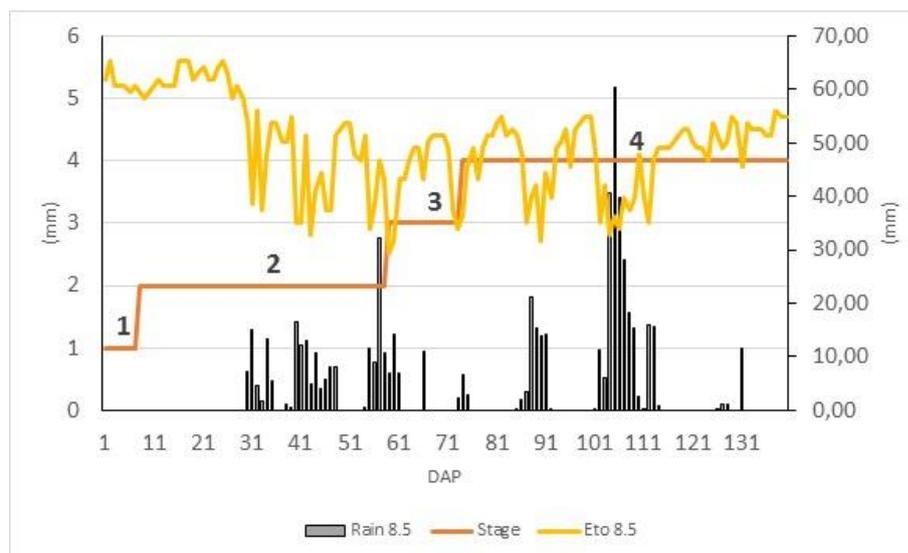


Figura 4. Evolução da ETo (mm) e da precipitação (mm) ao longo do ciclo da cultura (1 e 2: Crescimento vegetativo; 3: Florescimento; e 4: Maturação e colheita) para o cenário RCP 8.5.

#### 4.2. Biomassas observada, calibrada e simulada.

A variação da biomassa foi pouco significativa como se observa na Figura 5, houve uma pequena variação da Biomassa observada com a Biomassa simulada. A Biomassa observada e simulada foi de  $18,670 \text{ ton.ha}^{-1}$  e  $17,411 \text{ ton.ha}^{-1}$  respectivamente, ocorrendo uma variação de  $1,259 \text{ ton.ha}^{-1}$  (-6,74%). Nesse mesmo viés, quando a Biomassa simulada foi calibrada, alterando-se parâmetros de cobertura do dossel e senescência, os quais são parâmetros sensíveis na calibração da biomassa o resultado foi ainda mais satisfatório, obtendo-se a Biomassa calibrada de  $18,264 \text{ ton.ha}^{-1}$ , variando  $0,406 \text{ ton.ha}^{-1}$  (-2,17%) quando comparado com a Observada. Os resultados apresentados demonstram o potencial do AquaCrop para simulação de biomassa da soja. Ademais, Raes et al. (2012) apud Piekarski et al. (2016) aponta que erros de até  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  são aceitáveis para cultura da soja em simulação de modelos computacionais, a exemplo, do AquaCrop.

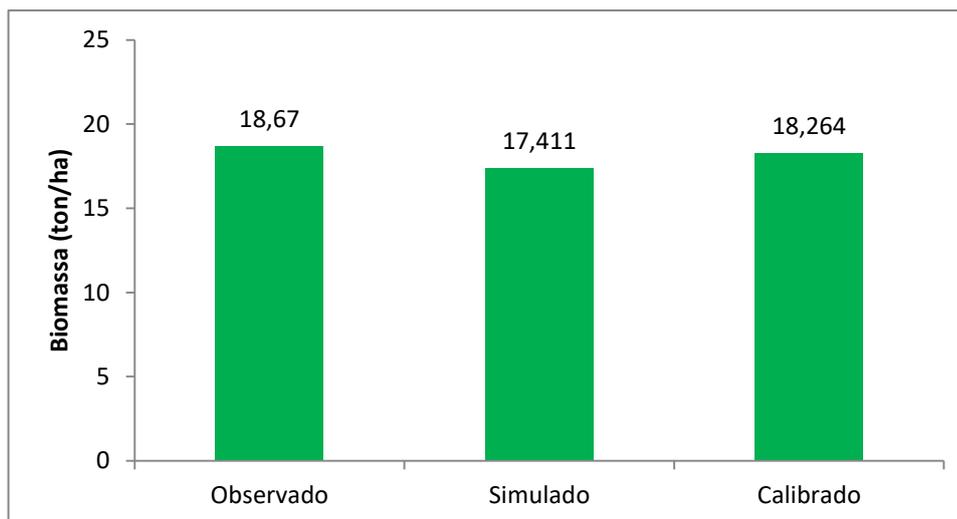


Figura 5. Biomassa observada, simulada e calibrada pelo modelo AquaCrop cultura da soja, cultivar M8349 IPRO.

#### 4.3. Produtividades observada, calibrada e simulada.

A Figura 6 apresenta os valores de produtividade da soja M8349 IPRO observados, simulados e calibrados. A produtividade observada foi de  $5,420 \text{ ton.ha}^{-1}$ , porém quando foi feita a simulação com as mesmas condições o valor ficou de  $6,256 \text{ ton.ha}^{-1}$ , superestimando o resultado em  $0,836 \text{ ton.ha}^{-1}$  (+15,42%). Buscando equilibrar o resultado com o valor observado foi feita a calibração, em que o valor foi para  $5,427 \text{ ton.ha}^{-1}$ , tendo uma variação positiva de apenas  $0,007 \text{ ton.ha}^{-1}$  (+0,12%), apresentando resultado satisfatório e mostrando a confiabilidade do modelo para estimar a produtividade da soja. Corroborando com o exposto Silva et al. (2020) indica que o AquaCrop pode prever a produtividade de grãos com uma precisão aceitável para cenários de mudanças climáticas na região do Matopiba. Além disso, o mesmo ao analisar o desempenho do AquaCrop para estimar a produtividade obteve uma excelente precisão.

A superestimava de 0,12% (observado comparado com calibrado) indica que o modelo tem melhor desempenho para condições de ausência de déficit hídrico e mais precisão para tratamento irrigado, como, também, foi apresentado por Silva et al. (2020); Silva et al. (2018); Piekarski et al. (2016).

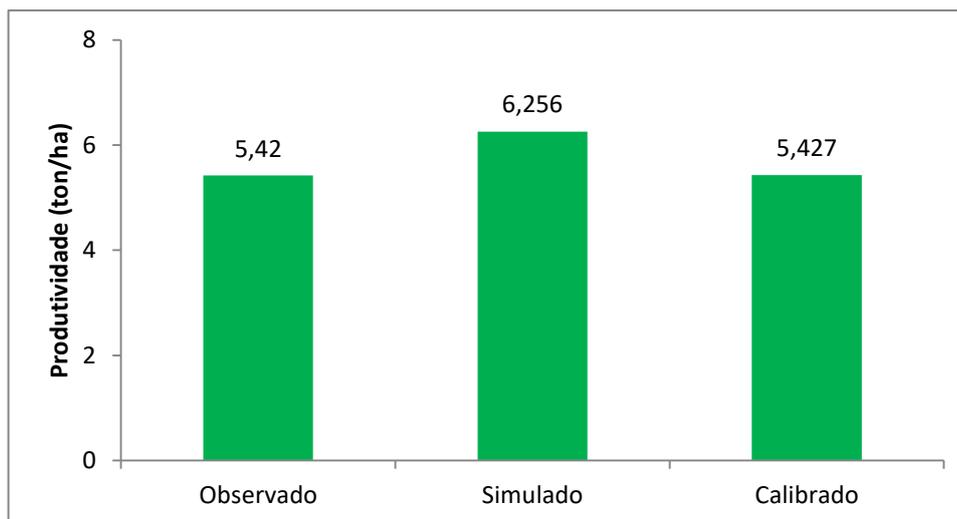


Figura 6. Produtividade observada, simulada e calibrada pelo modelo AquaCrop cultura da soja, cultivar M8349 IPRO.

#### 4.4. Resultados de cenários futuros

Por meio da Tabela 4, pode-se verificar que a redução de chuva impactou a produtividade da cultura da soja, dentro de um cenário futuro à médio prazo (ano agrícola 2050-2051). Vale salientar, que Miranda et al. (2021) aponta que dentre os fatores ambientais que mais afetam a produtividade está a precipitação.

A redução da chuva promoveu uma variação negativa de 26,34% e 32,59%, respectivamente, nos valores de biomassa e produtividade para o cenário RCP 8.5 quando comparado clima presente irrigado. Considerando o clima presente sem irrigação tendo-se, somente, a chuva, a variação continuaria negativa para um cenário à médio prazo (8.5), pois os decréscimos foram 11,59% para a produção de biomassa e 16,40% para a produtividade da cultura da soja. Resultados semelhantes foram mencionados por Ragab e Prudhomme, (2002) apud Viana et al. (2021) em que análises temporais, previstas por modelos de simulação para 2050, prevê uma redução nos níveis pluviométricos de 20 a 25% dos atuais para regiões áridas e semiáridas do globo. Ademias, as produtividades da soja podem ser reduzidas em até 30% pelas mudanças climáticas de maneira imediata (MIRANDA et al., 2021).

A redução de chuva foi projetada de -330 mm para o cenário climático RCP 8.5 quando comparado com os climas presentes. Corroborando com os resultados (SOUSA et al., 2019) em seu estudo sobre projeções climáticas no estado do Tocantins, também, observou uma redução da precipitação acumulada, quando se comparou o clima presente com o RCP (8.5) obteve uma redução de até -497,7 mm para o ano (2041-2070). O mesmo autor observou

que houve, ainda, uma redução da precipitação acumulada, comparando-se o clima presente com os RCPs (4.5 e 8.5). Entretanto, apesar da redução da produtividade para o cenário 8.5 este, obteve uma produtividade de 3.658 kg/ha se mantendo acima da produtividade nacional para o ano 20/21, que segundo a Conab (2021a) foi de 3.529 kg/ha.

Tabela 4. Análise do cenário climático RCP 8.5 e clima presente (Irrigado e Não Irrigada).

Identificação	Dados Calibrados			Diferença Clima Presente (Irrigado)		
	Chuva (mm)	Biomassa (ton/ha)	Produção (ton/ha)	Chuva (mm)	Biomassa (ton/ha)	Produção (ton/ha)
Clima Presente (Irrigado)	916,00	18.264,00	5.427,00	-	-	-
Clima Presente (Não irrigado)	916,00	15.217,00	4.376,00	-	3.047,00	1.051,00
RCP 8.5 (Não Irrigado)	586,00	13.452,00	3.658,00	330,00	4.812,00	1.769,00

A variação positiva da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera, de 382,71 para 545,50 ppm, contribuiu para o acréscimo médio da temperatura em 1,79°C, entre os dois cenários estudados. As alterações nos valores de CO<sub>2</sub>, da ETo e da temperatura influenciaram a resposta do aparelho fotossintético da planta. Tal fato pode ser constatado por meio da interface do modelo AquaCrop, Figura 7, na qual constata-se que houve uma perda no processo do desenvolvimento do dossel vegetativo real (colunas verdes) em relação ao desenvolvimento potencial do dossel, ilustrado pelas colunas cinzas. Essa perda foi mais intensa no RCP 8.5, por conta dos altos valores de ETo, que, ao longo de todo o ciclo, contribuindo para uma menor produtividade, quando comparada com o Clima Presente Irrigado (Tabela 4), sobretudo quando a transpiração, no cenário RCP 8.5 mostra-se ineficiente (colunas azuis), para dar suporte ao potencial produtivo da cultivar (Figura 8).

Oliveira (2018) aponta que caso ocorra estresse hídrico, a Cobertura do dossel (CC) simulado será menor que o potencial de cobertura do dossel (CCpot) para condições sem estresse, o que aponta que além dos fatores já citados o déficit hídrico, principalmente no cenário RCP 8.5 (Tabela 4), também, condicionou o processo de desenvolvimento do dossel. Ademais, segundo Anjos (2011), no AquaCrop o déficit hídrico manifesta-se através da inibição do crescimento do dossel e ainda segundo Oliveira (2019) o estresse hídrico pode acelerar a senescência do dossel a qualquer momento durante o ciclo da cultura, desde que o estresse seja intenso o suficiente.

Acréscimos médios de temperatura, também, foram encontrados por Sousa et al. (2019), em que para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 teve um aumento de temperatura variando de 1,7 a 5,1°C para os anos 2041-2070. Além disso, a concentração de CO<sub>2</sub> encontrada no presente estudo para o cenário RCP 8.5 (ano agrícola 2050-2051) foi de 545,50 pmm, resultado este que se encontra dentro da margem dos valores apontados por Riahi et al. (2001) apud Sousa et al. (2019), em que o cenário RCP 8.5, o qual é considerado um projeto pessimista que estabelece as maiores emissões de gases de efeito estufa atingirá até o ano de 2100, 936 pmm de CO<sub>2</sub>. Resultado semelhante, também, foi encontrado por Silva et al. (2020), em que o modelo HADGEM2-ES no cenário RCP 8.5 saiu de 378 pmm (cenário presente) para 885,0 pmm no período de 2094-2095.

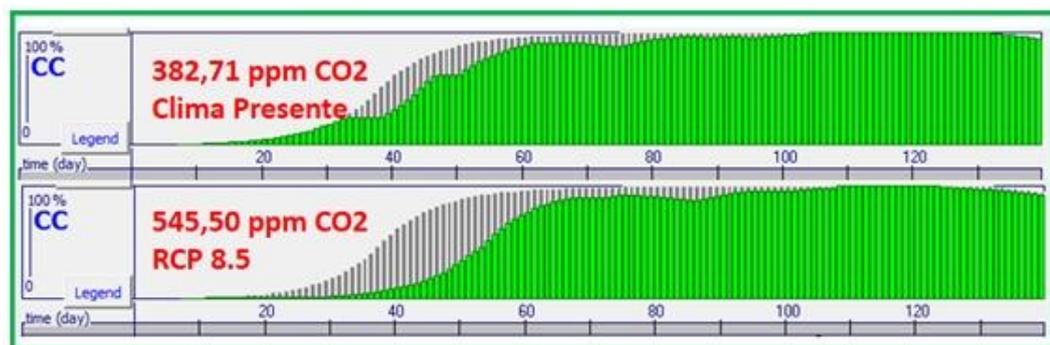


Figura 7. Evolução da cobertura vegetal da cultura da Soja para os cenários Clima Presente (Irrigado) e RCP 8.5.

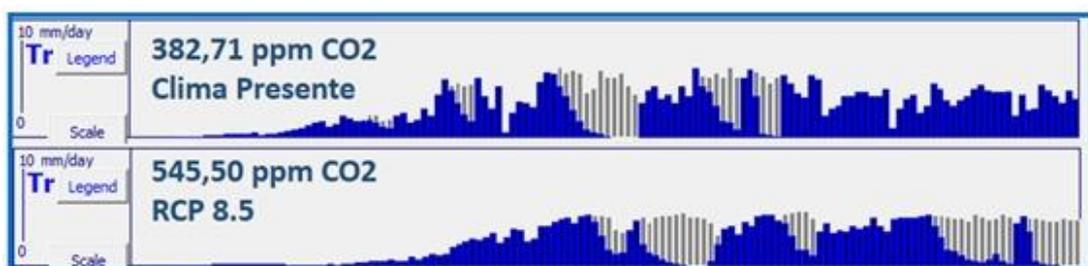


Figura 8. Transpiração da Cultura da Soja para os cenários Clima Presente (Irrigado) e RCP 8.5.

As projeções de mudanças de temperaturas, associada à diminuição de precipitação aqui apresentada, mostra um cenário pessimista do ponto de vista da disponibilidade e uso do recurso hídrico para o cenário RCP 8.5 (2050-2051) de acordo com as projeções avaliadas no estudo. Ademais, com o aumento da temperatura e redução das precipitações tem-se por consequência um aumento da ETo, conforme apresentado na Figura 4 e diminuição da produtividade (Tabela 4).

#### 4.5. Análises estatísticas

Os dados  $d$  de Willmott (Tabela 5) apresentou melhor exatidão para os dados calibrados (0,91) se comparado com os dados simulados (0,88), entretanto ambos tiveram um bom desempenho, pois, o índice  $d$  próximo de 1 indica que o modelo foi capaz de simular o rendimento da soja (cultivar M8349 IPRO) com alto grau de confiança. Além disso, não se constatou variação do coeficiente de correlação ( $r$ ). Segundo Anjos (2011) os baixos valores da RMSE para a biomassa demonstra o bom desempenho do AquaCrop. Os valores obtidos foram 3,9 e 3,3 ton/ha resultados pouco discrepantes. Ademais, os coeficientes de correlação ( $r$ ) para o dado simulado e calibrado ficaram de (0,93), resultando em excelente associação entre as variáveis observadas e simuladas. O modelo foi classificado como “Muito Bom”, com valores do índice “ $c$ ” de 0,82 e de 0,85 para simulada e calibrada respectivamente.

Resultados semelhantes, também, foram encontrados por Piekarki. (2016), em que o modelo AquaCrop teve um desempenho "Muito bom" para cultura da soja na região de Arapoti - Paraná, Castro - Paraná e Itaberá - São Paulo.

O modelo não apresentou grandes variações. Em regra, os resultados foram bastante concisos, pois a variação entre a produtividade observada e calibrada foi de  $0,007 \text{ ton.ha}^{-1}$  (+0,12%) e a biomassa, foi de  $0,406 \text{ ton.ha}^{-1}$  (-2,17%), não excedendo o limite aceitável ( $500 \text{ kg ha}^{-1}$ ) proposto por Raes et al. (2012) apud Piekarski et al. (2016).

Tabela 5. Análise de erro e desempenho da Biomassa do Modelo AquaCrop (Clima Presente Irrigado).

	RMSE t ha <sup>-1</sup>	r	d	c	Desempenho
Simulado	3,9	0,93	0,88	0,82	Muito bom
Calibrado	3,3	0,93	0,91	0,85	Muito bom

## 5. CONCLUSÃO

1. O resultado do valor calibrado da produtividade da soja foi mais eficiente que o valor calibrado de sua biomassa;
2. A simulação, com abundância de disponibilidade hídrica, superestima a produtividade, necessitando de calibração dos parâmetros não conservativos para apresentar valores precisos;
3. O software AquaCrop respondeu positivamente as calibrações da produtividade e biomassa da soja, tendo desempenho considerado “muito bom”;
4. A Simulação com o cenário RCP 8.5, mostrou queda de produtividade de 32,59% para projeções climáticas a médio prazo (ano agrícola 2050-2051).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R.S; MODA-CIRINO, V; FARIA, R.T; VIDAL, L.H.I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.

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.

BÉAZ, M. S. A; PETRY, M. T; CARLESSO, R. BASSO, L. J; ROCHA, M. R; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación. Agraria**, p. 3-12, 2020.

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.

BUBANS, V. E. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja semeadas em época não preferencial na região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. Orientador: Gerusa Massuquini Conceição. 2019. 40f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Ijuí – RS, 2019.

CASTILLO, A. C. **Efeito das mudanças climáticas sobre a demanda de água para Irrigação e o rendimento de grãos da cultura da soja na bacia do rio Potiribu, Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Dissertação de Mestrado), 79p., 2016.

CHOU, S. C; LYRA, A; MOURÃO, C; DEREZYNSKI, C; PILOTTO, I; GOMES, J; BUSTAMANTE, J; TAVARES, P; SILVA, A; RODRIGUES, D; CAMPOS, D; CHAGAS, D; SUEIRO, G; SIQUEIRA, G; MORENGO, J. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, n.5, v.3, p.512-527, 2014.

CONAB A – Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária. Brasília, v. 9, safra 20/21, 85p. 2021.

CONAB B – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília, v. 8, safra 20/21, n. 11, 108p. 2021.

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 – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada. Circular Técnica 7, 2004.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Desenvolvimento, Mercado e Rentabilidade da Soja Brasileira. Circular Técnica 74, 2010.

EMBRAPA CERRADOS. Caracterização geomorfológica do município de Luís Eduardo Magalhães, oeste baiano, Escala 1: 100.000, Kássia Batista de Castro, et al. – Planaltina, DF, 2010.

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.

GOMES, W. B; CORREIA, F. W. S; CAPISTRANO, V; VEIGA, J. A. P; VERGASTA, L. A; CHOU, S. C; LYRA, A. A; ROCHA, V. M. Avaliação dos Impactos das Mudanças na Cobertura da Terra e Cenários de Emissões (RCP 8.5) no Balanço de Água na Bacia do Rio Madeira. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p.689-702, 2020.

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.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. IPCC AR6, WG1: RESUMO COMENTADO. Observatório do Clima, 2021. Disponível em: [https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/08/OC-IPCC-AR6-FACTSHEET\\_FINAL.pdf](https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/08/OC-IPCC-AR6-FACTSHEET_FINAL.pdf)

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.

KOPPEN, W. **Climatologia: com um estúdio de los clima de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 479 p., 1948.

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.

MARKSIM DSSAT weather file generator, 2017. Disponível em: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/#>. Acesso em 24 mar. 2021

MARTINS, M. A; TOMASELLA, J; DIAS, C. G. Impacto das Mudanças Climáticas na Produtividade e Demanda Hídrica do Milho no Nordeste Brasileiro. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.

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.

MIRANDA, G. V; ALVES, M. E. V. B; BRAUN, E. M. W; MACHADO, P; HUBNER, J. P. M; LACERDA, K. L. Desempenho de cultivares de soja IPRO no extremo oeste do Estado Paraná em baixa altitude. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p.34898-34911, 2021.

MONTEIRO R. O. C; COLARES D. S; COSTA R. N. T; LEÃO M. C. S; AGUIAR J. V. Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n.4, out.-dez. 2006.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado**. Orientador: Jorge Luís Silva Brito. 2019. 184f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2019.

- 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.
- PIEKARSKI, K. R. **Produtividades de soja e milho estimadas com o modelo AquaCrop na região dos Campos Gerais**. Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza. 2016. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- 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.
- RAES, D. et al. AquaCrop Version 6.0 – 6.1: Reference manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2018.
- SILVA a, R. A. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do MATOPIBA**. Orientador: Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva. 2018. 113f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.
- SILVA, V. P. R; RAÚJO E SILVA, R; MACIEL, G. F; BRAGA, C. C; JÚNIOR, J. L. C. S; SOUZA, E. P; ALMEIDA, R. S. R; SILVA, M. T; HOLANDA, R. M. Calibration and validation of the AquaCrop model for the soybean crop grown under different levels of irrigation in the Motopiba region, Brazil. **Ciência Rural**, v. 48, n.1, 2018.
- SILVA, V. P. R; SILVA, R. A; MARCIEL, G. F; SOUZA, E. P; BRAGA, C. C; HOLANDA, R. M. Soybean yield in the Matopiba region under climate changes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 8-14, 2020.
- SOUZA, R. M; VIOLA, M. R; CHOU, S. C; ALVES, M. V. G; AVANZI, J. C. Projeções climáticas regionalizadas para o estado do Tocantins, Brasil, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15, v. 24, p. 330-347, 2019.
- STEDUTO, P. et al. . AquaCrop: concepts, rationale and operation. In: Crop Yield Response to Water. Irrigation & Drainage paper vol. 66FAO, Rome, 2012.
- 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.

TSUKAHARA, R. Y; FONSECA, I. C. B; SILVA, M. A. A; KOCHINSKI, E. G; NETO, J. P. SUYAMA, J. T. Produtividade de soja em consequência do atraso da colheita e de condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 8, p. 905-915, 2016.

VERIATO, M. K. L; BARROS. H. M. M; SOUZA. L. P; CHICO, L. R; BAROSI, K. X. L. Água: Escassez, crises e perspectivas para 2050. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 17-22, 2015.

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.

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.