



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**CONSTANTINO ANTÔNIO CAVALCANTE JÚNIOR**

**DESEMPENHO DO MODELO *AQUACROP/FAO*<sup>®</sup> PARA CULTIVO DO  
MILHO EM ALAGOAS**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**Fevereiro - 2019**

**CONSTANTINO ANTÔNIO CAVALCANTE JÚNIOR**

**DESEMPENHO DO MODELO *AQUACROP/FAO*<sup>®</sup> PARA CULTIVO DO  
MILHO EM ALAGOAS**

**Orientadores:**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Vera Lucia Antunes de Lima - UFCG

Prof<sup>º</sup> Dr. Iêdo Teodoro - UFAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro – 2019

C376d Cavalcante Júnior, Constantino Antônio.  
Desempenho do modelo *AquaCrop*/FAO® para cultivo do milho em Alagoas / Constantino Antônio Cavalcante Júnior. – Campina Grande, 2019.  
82 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.  
"Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima, Prof. Dr. Iêdo Teodoro".  
Referências.

1. Modelagem agrícola. 2. *Zea mays* L. 3. Validação. 4. Calibração. I. Lima, Vera Lúcia Antunes de. II. Teodoro, Iêdo. III. Título.

CDU 631.92:633.15(043)



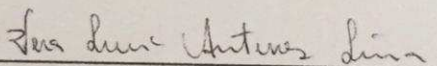
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

CONSTANTINO ANTÔNIO CAVALCANTE JÚNIOR

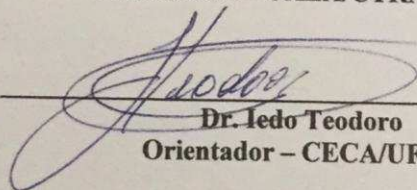
“DESEMPENHO DO MODELO AQUACROP/FAO® PARA O CULTIVO DO  
MILHO NO ESTADO DE ALAGOAS”

APROVADO (A): 18 de fevereiro de 2019

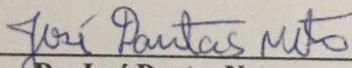
BANCA EXAMINADORA



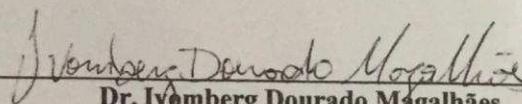
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima  
Orientadora – UAEEA/CTRN/UFCEG



Dr. Iedo Teodoro  
Orientador – CECA/UFAL



Dr. José Dantas Neto  
Examinador – UAEEA/CTRN/UFCEG



Dr. Ivomberg Dourado Magalhães  
Examinador – CECA/UFAL

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente, a Deus, por me guiar em todos os momentos da minha vida, me concedendo força, sabedoria e discernimento;

Ao meu pai, Constantino Antônio da Silva Filho por ser o exemplo de homem, a ser seguido com sua educação, humildade, honestidade, amizade e caráter. A minha mãe Eliane Viana Cavalcante Silva pelo seu incansável esforço em colaborar com o processo de formação intelectual e humano com carinho, amor e paciência;

Aos meus familiares, que sempre acreditaram em meu esforço;

Ao meu irmão Aristides Constantino Cavalcante

A minha namorada Fernanda Emanuelle Mendonça de Moraes pelos conselhos, carinho, amor e estímulo durante toda a caminhada, nos dias mais difíceis;

Aos meus avós;

A todos que contribuíram e contribuem com a minha formação, colegas amigos e orientadores.

**DEDICO!**

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais Constantino Antônio da Silva Filho e Eliane Viana Cavalcante Silva, pelo carinho, amor e incentivo com o qual me educaram.

Ao meu irmão Aristides Constantino Cavalcante e a minha namorada Fernanda Emanuelle Mendonça de Moraes, pelo apoio e companheirismo.

Aos meus orientadores, professora Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Antunes de Lima e professor Dr. Iêdo Teodoro, pelos ensinamentos, amizade, respeito, confiança, orientações e incentivos durante toda a graduação; ao professor Dr. Guilherme Bastos Lyra, pela amizade, ensinamentos e conselhos;

Em especial ao professor Dr. José Leonaldo de Souza, pelo exemplo de docente a ser seguido, pela amizade e ensinamentos compartilhados;

Ao professor Dr. José Dantas Neto e ao Dr. Ivomberg Dourado Magalhães, por ter aceitado o convite para fazer parte dessa banca examinadora;

Ao corpo docente da UFCG e UFAL/CECA, pela importante contribuição na minha formação profissional;

Aos colegas de laboratório e amigos: Artur Cantarelli, Allan Moura, Aristides Cavalcante, Jeferson Miguel, Marcelo Augusto, Augusto César, Lekson Rodrigues, Adolpho Quintela, Pedro Luã, Samuel Silva, Marcos Liodório, Franklin, Ivomberg Dourado, Claudio, Dimas, Wemerson Saulo, Rener Luciano, Patricia e Ricardo pela convivência, amizade, contribuição e ajuda;

A todos os meus colegas e amigos de turma pela amizade, ajuda e convivência.

Ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - CTRN/ UFCG, em especial àqueles com os quais convivi: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lucia Antunes de Lima, Prof<sup>o</sup>. Dr. Carlos Azevedo, Prof<sup>o</sup>. Dr. Hugo Guerra, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Sallydelândia, e Prof<sup>o</sup>. Dr. José Dantas;

A CAPES, pela concessão de bolsa.

A todos os que acreditaram em mim e me ajudaram de forma na conclusão deste trabalho.

**AGRADEÇO!**

## **EPÍGRAFE**

“Dificuldades preparam pessoas comuns  
para destinos extraordinários”.

*(C.S. Lewis)*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
SUMMARY.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1. A cultura do milho .....	5
2.2. Aspectos econômicos e nutricionais .....	8
2.3. Cultivo de milho irrigado.....	9
2.4. Modelagem agrícola.....	10
2.5. Modelo AquaCrop® .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Experimento para calibração do modelo AquaCrop® .....	13
3.2. Experimentos para validação do modelo .....	14
3.3. Calibração do modelo AquaCrop®.....	19
3.4. Validação do modelo AquaCrop®.....	20
3.5. Descrição do modelo AquaCrop®.....	21
3.6. Performace do modelo AquaCrop® .....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Variáveis meteorológicas durante a calibração.....	32
4.2. Variáveis de crescimento durante a calibração.....	34
4.3. Cobertura do solo durante a calibração.....	41
4.4. Armazenamento de água no solo durante a calibração.....	45
4.5. Variáveis meteorológicas durante a validação.....	47
4.6. Variáveis de crescimento durante a validação.....	51
4.7. Cobertura do solo durante a validação.....	57
CONCLUSÕES .....	62
REFERÊNCIAS .....	63



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principais produtores mundiais de milho.....	6
<b>Figura 2.</b> Produtividade de milho no Brasil na safra (2018/19).....	7
<b>Figura 3.</b> Produtividade de milho nas regiões de cultivo do Brasil na safra (2018/19).... .....	7
<b>Figura 4.</b> Produtividade de milho na região Nordeste do Brasil na safra (2018/19).....	8
<b>Figura 5.</b> Localização da área experimental em Rio Largo 2013.....	13
<b>Figura 6.</b> Localização da área experimental em Arapiraca 2008.....	15
<b>Figura 7.</b> Localização da área experimental em Pão de Açúcar 2015.....	16
<b>Figura 8.</b> Layout do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> versão 6.1.....	22
<b>Figura 9.</b> Interface do banco de dados de clima do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> versão 6.1.....	23
<b>Figura 10.</b> Chuva pluvial mais irrigação diária em quatro épocas de plantio para região de Rio Largo, Alagoas durante a calibração do modelo <i>AquaCrop</i> .....	33
<b>Figura 11.</b> Variação da temperatura do ar mínima (T <sub>mín</sub> ), média (T <sub>méd</sub> ) e máxima (T <sub>máx</sub> , °C) para as quatro épocas de plantio em Rio Largo, AL no ano de 2013.....	34
<b>Figura 12.</b> Dados observados (pontos com desvio padrão) e simulado (linha sólida) de biomassa (t ha <sup>-1</sup> ) em épocas de plantio E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , E <sub>3</sub> e E <sub>4</sub> de milho, cultivados na região de Rio Largo, Alagoas para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	35
<b>Figura 13.</b> Análise de regressão para biomassa acumulada acima do solo simulada e observada em quatro épocas de plantio (E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , E <sub>3</sub> e E <sub>4</sub> ), em Rio Largo, Alagoas para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	39
<b>Figura 14.</b> Cobertura do solo (%) observada (pontos) e simulada (linha sólida) para quatro épocas de plantio de milho, cultivado em Rio Largo, Alagoas, no ano de 2013 para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	42
<b>Figura 15.</b> Curva de regressão da cobertura do solo simulada e observada durante quatro épocas de plantio para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	43
<b>Figura 16.</b> Armazenamento de água no solo simulado (linha pontilhada azul) e observado (linha sólida preta), para as quatro épocas de plantio de milho utilizadas para calibrar o modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	46

<b>Figura 17.</b> Chuva mais irrigação diária em quatro regiões de cultivo nos anos de 2008, 2015 e 2016, no estado de Alagoas para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	49
<b>Figura 18.</b> Variação da temperatura do ar mínima (T <sub>mín</sub> ), média (T <sub>méd</sub> ) e máxima (T <sub>máx</sub> , °C) para quatro regiões de cultivo nos anos de 2008, 2015 e 2016.....	50
<b>Figura 19.</b> Dados observados (pontos com desvio padrão) e simulado (linha sólida) de biomassa (t ha <sup>-1</sup> ) em quatro regiões de cultivo nos anos de 2008, 2015 e 2016, no estado de Alagoas para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	52
<b>Figura 20.</b> Análise de regressão para biomassa acumulada acima do solo simulada e observada em quatro áreas experimentais localizadas no estado de Alagoas para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	55
<b>Figura 21.</b> Cobertura do solo (%) observada (pontos) e simulada (linha sólida) para três ciclos de cultivo de milho, no estado de Alagoas utilizados para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	58
<b>Figura 22.</b> Curva de regressão da cobertura do solo simulada e observada durante três anos de cultivo para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	59

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resumo dos experimentos utilizadas calibração e validação do do <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> com a cultura do Milho.....	19
<b>Tabela 2.</b> Variáveis de entrada conservativas para cultura do milho no <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	20
<b>ContinuaçãoTabela 2.</b> Variáveis de entrada conservativas para cultura do milho no <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> .....	21
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros físicos hídrico do solo das áreas experimentais em Rio Largo, Arapiraca e Pão de Açúcar - AL, Ponto de murcha permanente – (PWP); Capacidade de campo – (FC); Conteúdo de água na saturação – (SAT).....	25
<b>Tabela 4.</b> Observações fenológicas e variáveis específicas para o modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> com a cultura do milho, cultivado em Rio Largo, Arapiraca e Pão de Açúcar, Alagoas durante a calibração (C.1,2,3 e 4) e validação (V).....	28
<b>Tabela 5.</b> Índice de confiança e critérios de desempenho.....	30
<b>Tabela 6.</b> Rendimentos de biomassa e grãos observados e simulados para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> em quatro épocas de plantio (E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , E <sub>3</sub> e E <sub>4</sub> ).....	37
<b>Tabela 7.</b> Avaliação estatística de simulações e observações de acúmulo de biomassa para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> , utilizando índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.....	41
<b>Tabela 8.</b> Avaliação estatística de simulações e observações de cobertura do solo para calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> , utilizando o índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.....	44
<b>Tabela 9.</b> Avaliação estatística entre as simulações e observações de armazenamento de água para a calibração do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> , utilizando o índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.....	46
<b>Tabela 10.</b> Rendimentos de biomassa e grãos observados e simulados para validado para três municípios do estado de Alagoas em quatro anos de cultivo.....	54
<b>Tabela 11.</b> Avaliação estatística de simulações e observações de acúmulo de biomassa para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> , utilizando índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.....	56
<b>Tabela 12.</b> Avaliação estatística de simulações e observações de cobertura do solo para validação do modelo <i>AquaCrop</i> <sup>®</sup> , utilizando o índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.....	60

## DESEMPENHO DO MODELO *AQUACROP/FAO*<sup>®</sup> PARA CULTIVO DO MILHO EM ALAGOAS

### RESUMO

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura agrícola com grande importância econômica e social para o Brasil. O presente trabalho teve por objetivo, avaliar o desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> com base na calibração para quatro épocas de plantio (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>) e validação em quatro ciclos de cultivo em três estações experimentais Arapiraca (2008), Pão de Açúcar (2015) e Rio Largo (2015/2016) no estado de Alagoas para cultura do milho e identificar as correlações entre os dados de biomassa, rendimento de grãos, umidade e cobertura do solo observado e simulado. Os dados de entrada para calibração do modelo foram cedidos por Sarmento (2015), já os elementos que formaram o banco de dados utilizado para validação do modelo foram disponibilizados por Medeiros (2008), Anjos (2016), Cantarelli (2016) e Barbosa (2017). Bem como, dados coletados das estações agrometeorológicas (temperatura máxima e mínima, precipitação e componentes para quantificação da evapotranspiração de referência) localizadas próximo às áreas de cultivo. O desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi avaliado através de comparações estatísticas utilizando testes como o índice de concordância, coeficiente de correlação de Pearson, índice de confiança, porcentagem de desvio e raiz quadrada do erro médio. Durante a calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> houve superestimativa dos dados para o acúmulo de biomassa na primeira, segunda e quarta épocas de plantio com 7,18; 14,58 e 0,56% para (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>), respectivamente, e subestimativa no rendimento de grãos em 5,98; 5,93 e 9,39%, para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente. Durante a validação observou-se desvio médio para o acúmulo de biomassa de 7,31%, enquanto para o rendimento de grãos foi de 3,3%. Na calibração, os dados de cobertura do solo apresentaram índice de concordância de Willmont variando de 0,94 a 0,99% para E<sub>3</sub> e E<sub>1</sub>, respectivamente. Enquanto na validação variaram de 0,92 a 0,99 para Rio Largo, 2016; Arapiraca, 2008 e Rio Largo, 2015, respectivamente. Já para o armazenamento de água no solo, coeficiente de correlação de Pearson variou de 0,77 a 0,80 na (E<sub>1</sub> e E<sub>4</sub>) e E<sub>2</sub>, respectivamente. O modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> tem ajuste ótimo para a cultura do milho nas condições de clima e solo do Estado de Alagoas.

**Palavras-chave:** Modelagem agrícola. *Zea mays L.* Validação. Calibração.

## PERFORMANCE OF THE AQUACROP/FAO<sup>®</sup> MODEL FOR THE CULTIVATION OF CORN IN ALAGOAS

### ABSTRACT

The Maize (*Zea mays* L.) is an agricultural crop of great economic and social importance for Brazil. The objective of the present work was to evaluate the performance of the AquaCrop<sup>®</sup> model based in the calibration of four planting seasons (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> and E<sub>4</sub>) and to validate the same model for four crop cycles in three experimental stations Arapiraca (2008), Pão de Açúcar (2015) and Rio Largo (2015/2016) in the state of Alagoas for maize cultivation. And to identify the correlation between biomass data, grain yield, soil moisture and canopy cover observed and simulated. The input data for calibration of the model were provided by Sarmento (2015), and the elements that formed the database used for validation of the model were provided by Medeiros (2008), Anjos (2016), Cantarelli (2016) and Barbosa (2017). As well as, data collected from agrometeorological stations (maximum and minimum temperature, precipitation and components for quantification of reference evapotranspiration) located near the growing areas. The performance of the AquaCrop<sup>®</sup> model was evaluated through statistical comparisons using tests such as the concordance index, Pearson's correlation coefficient, confidence index, deviation percentage and mean root mean square root. During the calibration of the AquaCrop<sup>®</sup> model there was an overestimation of the data for the accumulation of biomass in the first, second and fourth planting seasons with 7.18; 14.58 and 0.56% for (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> and E<sub>4</sub>), respectively, and underestimate in grain yield at 5.98; 5.93 and 9.39% for E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> and E<sub>4</sub>, respectively. During validation, the mean deviation for biomass accumulation was 7.31%, while grain yield was 3.3%. The soil cover data presented Willmont concordance index ranging from 0.94 to 0.99% for E<sub>3</sub> and E<sub>1</sub>, respectively during the calibration, while in the validation ranged from 0.92 to 0.99 for Rio Largo, 2016; Arapiraca, 2008 and Rio Largo, 2015, respectively. As for soil water storage, Pearson's correlation coefficient ranged from 0.77 to 0.80 in (E<sub>1</sub> and E<sub>4</sub>) and E<sub>2</sub>, respectively. The AquaCrop<sup>®</sup> model have an optimal adjustment to maize crop under climatic and soil conditions of Alagoas State.

**Key words:** Agricultural modeling. *Zea mays* L. Validation. Calibration.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho se destaca por ser o principal cereal cultivado no mundo, correspondendo a 37% dos cereais produzidos na safra 2016/17 (Organization of Nations United for Agricultural and Food – FAO, 2018). Por outro lado, estima-se uma necessidade de aumento de 35% na produção para atender a demanda global de 2016 a 2050 (TILMAN *et al.*, 2011). Além disso, observa-se uma relação direta entre o aumento em áreas cultivadas e a redução da disponibilidade hídrica, em virtude da maior extração deste recurso pela cultura (MURGA-ORRILLO *et al.*, 2016). Estando, portanto, relacionada com a redução da disponibilidade de água, a atenuação do rendimento agrícola e acúmulo de biomassa do milho (CHILUNDO *et al.*, 2017).

A produtividade média brasileira de milho em grão na safra 2018/19 foi 5,5 t ha<sup>-1</sup>. Ao passo que, os estados do Nordeste brasileiro apresentaram rendimento agrícola médio de 2,6 t ha<sup>-1</sup>, enquanto o Estado de Alagoas produziu 27,7 mil toneladas, com produtividade média de 1,02 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019). O baixo rendimento alagoano está relacionado com o manejo agrônomico de incipiente nível tecnológico (CARVALHO BRASIL *et al.*, 2007; FRANÇA *et al.*, 2009), que provoca alta vulnerabilidade dos sistemas de produção que dependem única e exclusivamente da chuva, baixa oferta de insumos agrícolas, sobretudo de fertilizantes e solos empobrecidos (GETNET *et al.*, 2016; TITTONELL *et al.*, 2010; KARANDISH e SIMUNEK, 2017). Esse baixo rendimento agrônomico ameaça a segurança alimentar.

Essa vulnerabilidade pode ser atenuada através do uso de modelos na agricultura permite a previsão de safras e tem importância crescente no setor público e privado, pois, podem prever a produção agrícola e as flutuações do mercado, garantir a segurança alimentar, aperfeiçoar práticas de manejo agrícola e uso de recursos naturais (BARBOSA *et al.*, 2019).

Os modelos agrícolas possuem grande abrangência e são utilizados como ferramentas de auxílio para tomada de decisões que permite explorar distintas alternativas de gestão (PAREDES *et al.*, 2015). Nesse sentido, o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> se destaca como uma ferramenta de fácil manuseio para simular o desenvolvimento de muitas culturas, dentre as quais se destaca o milho (HSIAO *et al.*, 2009; STRICEVIC *et al.*, 2011; ABEDINPOUR *et al.*, 2012; PAREDES *et al.*, 2014).

Para Magalhães (2017), o modelo AquaCrop foi proposto como uma ferramenta de fácil utilização para diversos usuários interessados na estimativa do crescimento, em fitomassa, e do rendimento de culturas, através de reduzido número de parâmetros que facilitam a calibração e utilização para diferentes culturas e estratégias de manejo.

Portanto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> durante a calibração em quatro épocas de milho e validação com base em quatro anos de cultivo e três localidades no estado de Alagoas, a fim de identificar a correlação existente entre os dados de biomassa, rendimento de grãos, cobertura e umidade do solo observados e simulados.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. A cultura do milho

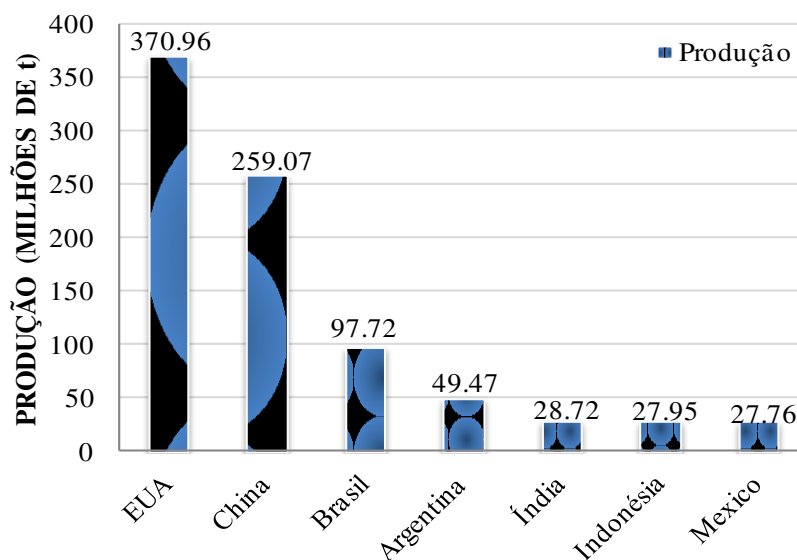
O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de grande importância (QIAN *et al.*, 2019; MULLEN *et al.*, 2019; SHIRINBAYAN *et al.*, 2019), representa cerca de 30% dos grãos produzidos mundialmente, com destaque para sua aplicabilidade no setor alimentício, tanto para alimentação humana (PARK *et al.*, 2019; SOUSA *et al.*, 2019), quanto para ração animal (GERON *et al.*, 2018; TIAN *et al.*, 2019), na geração de bioenergia (KUMAR & SINGH, 2019; LIU *et al.*, 2019) e na biomedicina farmacológica (WANG & ZHAO, 2019), dentre outras finalidades.

A cultura do milho tem seus primórdios históricos na região da Meso-América a cerca de 10 mil anos, sendo grande responsável pelo início da agricultura formal e pelo estabelecimento de sociedades primitivas. Os antigos agricultores começaram a selecionar e manipular os ancestrais deste grão desenvolveram e domesticaram o milho que conhecemos hoje. Em alguns séculos, os nativos mesoamericanos transformaram os ancestrais do milho em várias raças de milho primitivas que ainda constituem a base genética para a produção de híbridos (GARCÍA-LARA & SERNA-SALDIVAR, 2019).

Desde tempos longínquos à contemporaneidade, o milho se destaca por sua adaptação a diferentes ecossistemas, com produção anual superior a um bilhão de toneladas. Após a descoberta das Américas, o milho foi disseminado para a Europa, Ásia e África, onde também é amplamente plantado e usado. Atualmente, são produzidos híbridos de alta produtividade, transgênicos, variedades e tipos especiais, como pipoca, milho doce e com alto teor de proteína (GARCÍA-LARA & SERNA-SALDIVAR, 2019).

De acordo com o departamento de estatística da FAO (2017), verifica-se para a *Commodity* milho que os principais países produtores do mundo são: Estados Unidos (EUA), China e Brasil, com 370.96; 259.07 e 97.72 milhões de toneladas, respectivamente (Figura 1).



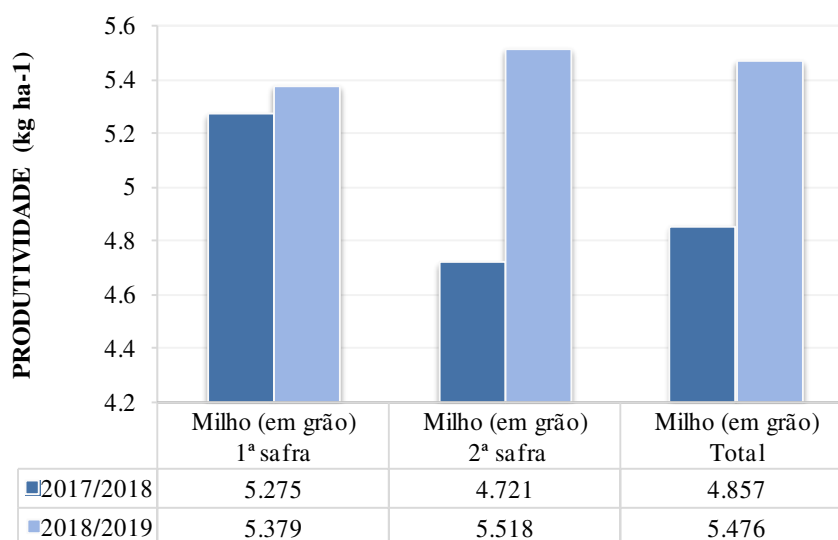


Fonte: FAOSTAT (2019).

**Figura 1.** Principais produtores mundiais de milho.

Para a FAO (2017), a população da terra pode alcançar os 10 bilhões de habitantes até 2050, aumentando significativamente a demanda agrícola por alimentos. Sendo os cereais a fonte mais importante da nutrição, compreendendo uma indispensável fonte de energia para a população mundial (Organization of Nations United for Agricultural and Food – FAO, 2018).

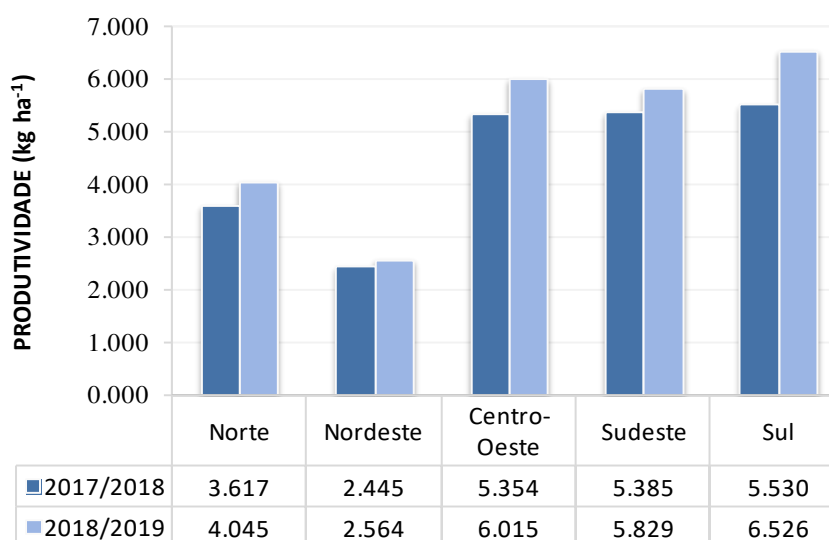
No Brasil a produção de milho em grãos é distribuída em duas épocas de plantio, denominada primeira safra ou safra de verão e segunda safra ou safrinha, a soma das duas resulta na produção nacional (Figura 2). De acordo com dados do último levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019) referente ao quarto levantamento da safra 2018/19, o país produziu o equivalente a 237,3 milhões de toneladas de grãos, dos quais 91,2 milhões de toneladas correspondem ao milho total produzido no biênio 2018/19. Neste sentido, observa-se produtividade média para a safra total 2017/18 de  $4,86 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto na safra de 2018/19 foi de  $5,48 \text{ t ha}^{-1}$ , com variação percentual de 12,7%.



Fonte: CONAB 2019

**Figura 2.** Produtividade de milho no Brasil na safra (2018/19).

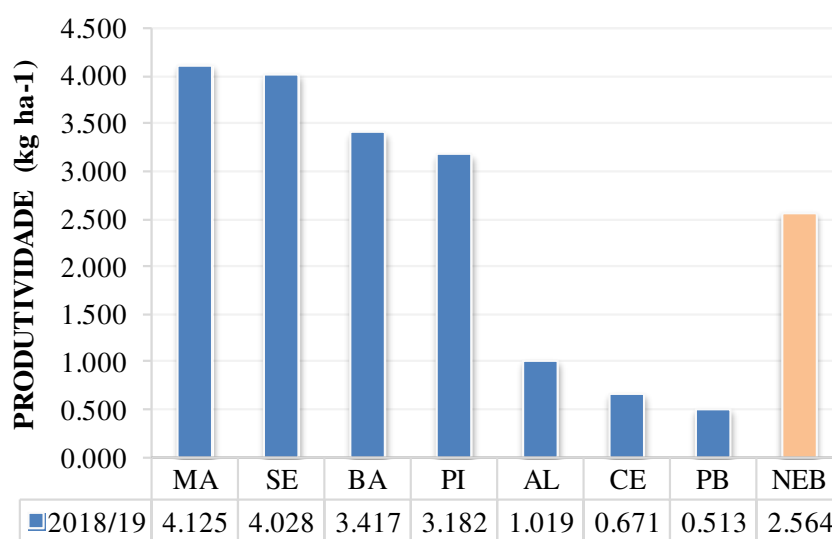
As maiores produtividades na safra 2018/19 (Figura 3) são observadas no Sul do Brasil chega a 6,5 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que no nordeste Brasileiro atinge apenas 2,6 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019), o baixo rendimento da região nordeste pode estar relacionado com o manejo agrônomo de baixo nível tecnológico, que utiliza sistemas agrícolas artesanais (CARVALHO BRASIL *et al.*, 2007; FRANÇA *et al.*, 2009) bem como, a alta dependência dos fatores ambientais.



Fonte: CONAB 2019

**Figura 3.** Produtividade de milho nas regiões de cultivo do Brasil na safra (2018/19).

Neste contexto, observa-se a maior produtividade no estado do Maranhão chegando a  $4,1 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto o estado de Alagoas se apresenta com a quinta maior produtividade da região nordeste com  $1,02 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 4), porém, experimentos realizados em Arapiraca (situada no agreste Alagoano) conseguem atingir em torno de  $8,00 \text{ t ha}^{-1}$  em regime de sequeiro (FERREIRA JÚNIOR, 2007; LYRA *et al.*, 2010), já Sarmiento (2015) observou rendimento de  $6,41 \text{ t ha}^{-1}$  em cultivos realizados na região de Rio Largo, enquanto Anjos (2016) observou em Pão de Açúcar rendimento agrícola de  $5,30 \text{ t ha}^{-1}$  e Barbosa (2017) cultivando milho em Rio Largo observou rendimento de grãos de  $6,7 \text{ t ha}^{-1}$ . De acordo com Lyra *et al.* (2010) o milho no Estado de Alagoas, para apresentar bons rendimentos agrícolas em regime de sequeiro, deve ter o início da sementeira no período das águas, assegurando ao menos parte do ciclo no período chuvoso e em condições hídricas favoráveis.



Fonte: CONAB 2019

**Figura 4.** Produtividade de milho na região Nordeste do Brasil na safra (2018/19).

## 2.2. Aspectos econômicos e nutricionais

O milho é o grão mais consumido no mundo e está entre os que mais crescem em volume anual de produção, superando o arroz e o trigo em mais de 25%. Os grãos maduros do milho são largamente utilizados para produção de alimentos e produtos industriais. O progresso tecnológico tem sido feito tanto na separação de grãos e componentes químicos quanto no desenvolvimento de produtos que utilizam essas

frações moídas. O valor deste cereal não pode ser subestimado porque o milho se tornou uma das *commodities* mais relevantes para a humanidade (MARTINEZ *et al.*, 2019).

O grão do milho desempenha papel fundamental na alimentação e nas aplicações industriais (SHIRINBAYAN *et al.*, 2019). O amido de milho é quase 100% digerível e pode ser aumentado pelo processamento de grãos. Embora o milho seja mais pobre em proteína que outros alimentos, ele é uma importante fonte de energia, fibra digestível, minerais e vitaminas para a nutrição animal. Variedades genéticas de milho foram desenvolvidas com o intuito de aumentar seu valor nutricional, denotando a importância do cultivo dessa cultura (LOY & LUNDY, 2019). Havendo necessidade de aumento da produtividade em virtude da estabilização do rendimento dos sistemas de cultivo visando atender as necessidades de alimentos e fibras para a população mundial (BOYER *et al.*, 2013; HOWELL, 2001).

### **2.3. Cultivo de milho irrigado**

O estresse hídrico é um dos fatores abióticos que limitam a produção agrícola. A resposta adaptativa das plantas a esse fator envolve uma série de mudanças morfológicas, metabólicas e moleculares. Esse estresse induz a diminuição da fotossíntese, perda da área do dossel e redução da assimilação do carbono, causando senescência prematura durante a reprodução e estágios de crescimento (YANG *et al.*, 2019).

Por ser uma cultura de alta demanda de água, o milho pode obter altos rendimentos de grãos quando a água e os nutrientes são disponibilizados corretamente. Estudos recentes relatam que condições inadequadas, especialmente a seca, influenciam a mudança da composição de sementes e limita seu crescimento (KAPLAN *et al.*, 2019).

Em vista disso, o cultivo de milho em regiões semiáridas enfrenta certa pressão sob a ótica do uso da água para fins de irrigação, devido à crescente demanda hídrica dos centros urbanos e industriais (DERNER *et al.*, 2015; SEAGER e VECCHI, 2010). No entanto, estudos relataram que a produção de milho pode ser aumentada pela irrigação complementar, onde a chuva não consegue fornecer umidade suficiente para o desenvolvimento pleno da cultura (OWEIS e HACHUM, 2006).

## 2.4. Modelagem agrícola

A evolução histórica da agricultura confunde-se com o desenvolvimento de modelos de previsão e produção de culturas, uma vez que as experimentações empíricas dos agricultores lhes permitiam observar as variações de produção em função da época de plantio e das mudanças edafoclimáticas acentuadas nos agro ecossistemas de cultivo. Nesse contexto, a modelagem tornou-se uma ferramenta importante na agricultura, notadamente, para tomada de decisões acerca do manejo de fatores bióticos e abióticos de produção das culturas (XU *et al.*, 2019).

O uso de modelos na agricultura permite a previsão de safras e tem importância crescente no setor público e privado, pois, podem prever a produção agrícola e as flutuações do mercado, garantir a segurança alimentar, aperfeiçoar práticas de manejo agrícola e uso de recursos. A modelagem tem ganhado maior visibilidade na contemporaneidade, sobretudo em cenários com perspectiva de mudanças climáticas, em que as culturas podem expressar mudanças morfofisiológicas com reflexo sobre a produtividade (BARBOSA *et al.*, 2019; LECERF *et al.*, 2019).

A incerteza nas decisões introduziu a necessidade de desenvolvimento e melhoria contínua da modelagem agrícola, induzindo os pesquisadores a conceber e propor uma variedade de modelos, desde o conceitual, o mecanicista e o estocástico. Assim, desde o início da modelagem, modelos como *AquaCrop*<sup>®</sup> (RAES *et al.*, 2009; STEDUTO *et al.*, 2009), Apex (GASSMAN *et al.*, 2009), Mohid Land (SIMIONESEI *et al.*, 2016), Daisy (HANSEN *et al.*, 1991), Simetaw (MANCOSU *et al.*, 2016), dentre outros, são utilizados para simulação com precisão satisfatória para várias culturas.

Na literatura especializada, inúmeras pesquisas podem ser mencionadas com a utilização de modelagem na agricultura (WANG *et al.*, 2008; YANG *et al.*, 2013; BATTILANI *et al.*, 2014; PAREDES *et al.*, 2014; AHMADI *et al.*, 2015; TSAKMAKIS *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2018). É importante ressaltar que, apesar de suas semelhanças, esses modelos são construídos com diferentes níveis de complexidade, filosofia, requisitos de entrada, processos e ciclos que simulam, de modo que a escolha do modelo é uma etapa preponderante na arte de simular produtividade (TSAKMAKIS *et al.*, 2019).

Todos os modelos têm seu próprio propósito e mérito, e antes que um desses seja usado, uma avaliação crítica mais apropriada para estudo deve ser feita, com base no

escopo e propósito do mesmo (BENNETT *et al.*, 2013). Por exemplo, alguns modelos podem ser muito bons em fornecer estimativas sazonais com uma calibração limitada, enquanto outros podem fornecer informações diárias ou mesmo horária que podem ser relevantes em estudos detalhados, sob a condição de disponibilidade de bons dados para sua calibração (VANUYTRECHT *et al.*, 2014).

Para fazer escolhas adequadas de qual (is) modelo (s) aplicar, os usuários do modelo devem ter uma boa visão sobre a ampla gama de modelos e seus escopos, disponíveis, atualmente, atentando-se para as mudanças de versões. Para um bom uso, todos esses modelos compartilham a necessidade de estimativa de parâmetro apropriada, avaliação de desempenho e análise de incerteza de diferentes etapas do processo de modelagem (REFSGAARD *et al.*, 2007; SALTELLI & ANNONI, 2010; WARMINK *et al.*, 2010; BENNETT *et al.*, 2013; VANUYTRECHT *et al.*, 2014).

## 2.5. Modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

Dentre os modelos de simulação de culturas, o *AquaCrop*<sup>®</sup> da FAO (RAES *et al.*, 2009) foi inicialmente, calibrado e validado para a cultura do milho, em três localidades distintas na Espanha. Posteriormente, vem sendo amplamente utilizado em várias pesquisas (RAZZAGHI *et al.*, 2017; RAN *et al.*, 2018; PIRMORADIAN e DAVATGAR, 2019; TSAKMAKIS *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2019), incluindo novas pesquisas com milho no mundo (NYAKUDYA & STROOSNIJDER, 2014; AKUMAGA *et al.*, 2017), no Brasil (MARTINI, 2018) e Nordeste brasileiro (ANJOS, 2011, 2016).

Para Magalhães (2017), o modelo estabelece um equilíbrio entre precisão, simplicidade, robustez e facilidade de uso, sendo destinado a usuários práticos, tais como especialistas em extensão e gestores de recursos hídricos.

O modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> possui, relativamente, poucos parâmetros conservativos da cultura que são os valores *default* do modelo, de modo que simula o rendimento da safra final em quatro etapas fáceis de entender, o que torna o enfoque da modelagem transparente. As etapas consistem na simulação do desenvolvimento da cobertura do dossel da cultura, da transpiração da cultura, da biomassa acima do solo e do rendimento final da colheita (VANUYTRECHT *et al.*, 2014). Para melhor

aproveitamento dos benefícios do modelo, é imprescindível que o usuário compreenda todas as etapas da simulação (FOSTER *et al.*, 2017).

Ressalta-se que, tensão e temperatura de água afetam alguns processos do *AquaCrop*<sup>®</sup>. Deficiências nutricionais e efeitos da salinidade são simulados indiretamente através da moderação do desenvolvimento da cobertura do solo e pela redução da transpiração da cultura e da produtividade de água normalizada. O efeito do CO<sub>2</sub> na biomassa é simulado alterando a produtividade da água normalizada. O modelo requer um número relativamente pequeno de valores de parâmetros explícitos e possui principalmente, variáveis de entrada intuitiva (VANUYTRECHT *et al.*, 2014).

Dentre as principais funções do *AquaCrop*<sup>®</sup>, destacam-se, a produção diária de biomassa e o rendimento final das culturas em relação ao abastecimento e consumo de água e ao manejo agrônômico, com base nos conceitos atuais de planejamento fisiológico, água e salinidade. Detalhes dos processos simulados são fornecidos em um conjunto de três artigos (STEDUTO *et al.*, 2009; RAES *et al.*, 2009; HSIAO *et al.*, 2009), no documento Irrigation and Drainage Paper N<sup>o</sup>. 66 ‘Resposta de rendimento da cultura à água’ (STEDUTO *et al.*, 2012) e no manual do modelo (RAES *et al.*, 2012). De acordo com, Steduto *et al.* (2009) e Hsiao *et al.* (2009) o *AquaCrop*<sup>®</sup> é um modelo regido pela água utilizado como ferramenta de apoio para tomada de decisões, planejamento e análise de cenários climáticos futuros.

A partir da premissa original de uma relação direta entre o consumo de água pela planta e a produtividade da cultura, a abordagem de Doorenbos e Kassam (1979), foi à base para a evolução do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. É importante destacar que no modelo, a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) é separada em transpiração da cultura (Tr) e evaporação da água do solo (E), para evitar confundir o efeito do uso improdutivo do consumo de água pela evaporação, pois, a evaporação se torna o componente principal da evapotranspiração na fase inicial do ciclo da cultura (MAGALHÃES, 2017).

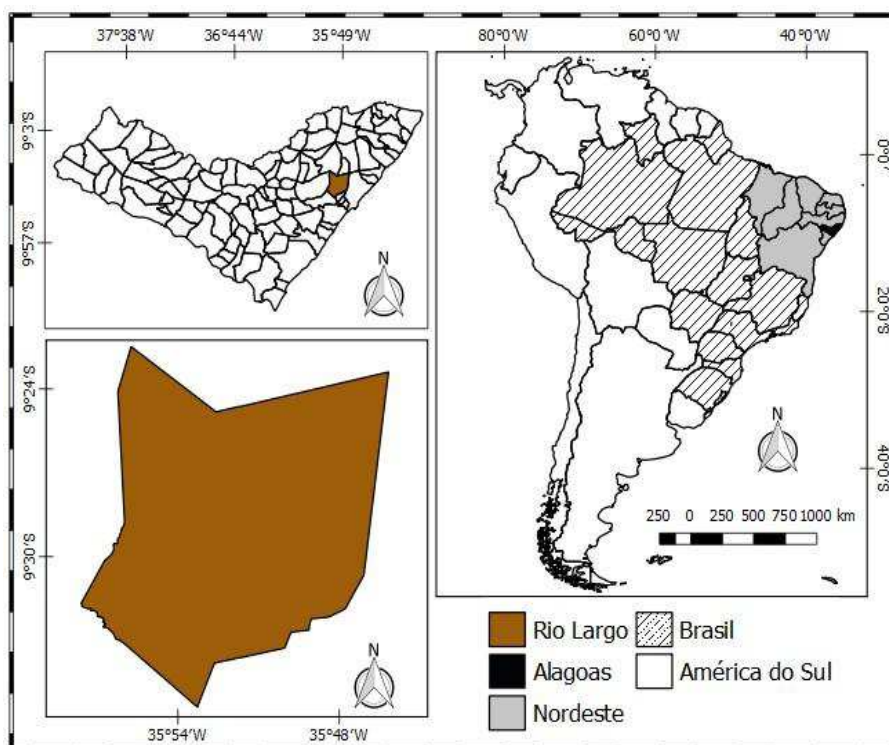
Em maio de 2018, foi lançada uma nova versão do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> (v. 6.1), onde foram incluídas atualizações e novas funcionalidades, como: atualização dos resultados referentes à cobertura do solo, acúmulo de biomassa e água no solo, quando da realização de simulações considerando dados observados; incorporação da calculadora de evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>); novas condições iniciais para realizar a simulação; práticas de superfície de campo; eventos de irrigação de arroz inundado; e avaliação dos resultados de simulação usando indicadores estatísticos (FAO, 2018).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Experimento para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

##### 3.1.1. Descrição da área experimental

Os parâmetros necessários para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foram obtidos através do experimento realizado por Sarmento (2015), que foi conduzido na área experimental do Centro de 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, 127 m de altitude, em uma área de 2.800 m<sup>2</sup> (Figura 5). 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 pluvial média anual é 1.800 mm. A temperatura média anual é de 25,4° C e umidade relativa do ar média mensal acima de 70% (SOUZA *et al.*, 2006).



Fonte: Autor (2019)

**Figura 5.** Localização da área experimental em Rio Largo 2013.



### 3.1.1.1. Manejo agrícola e delineamento experimental – Rio Largo, AL 2013.

O experimento consistiu em quatro épocas de plantio ( $E_1$ - 28 de junho,  $E_2$ - 08 de julho,  $E_3$ - 18 de julho e  $E_4$ - 28 de julho de 2013) e quatro densidades de semeadura de milho (37.500; 50.000; 87.500 e 125.000 plantas por hectares) irrigado por gotejamento. De acordo com Sarmiento (2015), os resultados observados para segunda densidade de plantio (50.000 plantas por hectare) foi o mais produtivo e apresentou diferença significativa quando submetido aos testes estatísticos em comparação com os outros tratamentos sendo, portanto, utilizado como parâmetro de entrada para o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> Versão 6.1 Plus (RAES *et al.*, 2012).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso no esquema de parcelas subdividas (densidades e épocas de plantio) (4×4), com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Utilizando espaçamento entre linhas de 0,80 m, sendo a variedade cultivada AL Bandeirante, classificado como semiprecoce, desenvolvido pelo Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes da CATI.

O plantio e tratos culturais tiveram início com a abertura manual dos sulcos, posteriormente foi feita adubação de fundação, utilizando a seguinte formulação: 30-80-60 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e K<sub>2</sub>O, respectivamente. A semeadura foi realizada no dia 28 de junho, 08 de julho, 18 de julho e 28 de julho de 2013, primeira ( $E_1$ ), segunda ( $E_2$ ), terceira ( $E_3$ ) e quarta ( $E_4$ ) épocas de plantio, respectivamente. A adubação de cobertura foi realizada aos 20 dias após plantio, utilizando 150 kg de Ureia ha<sup>-1</sup>, atendendo as recomendações propostas por Rocha (2012).

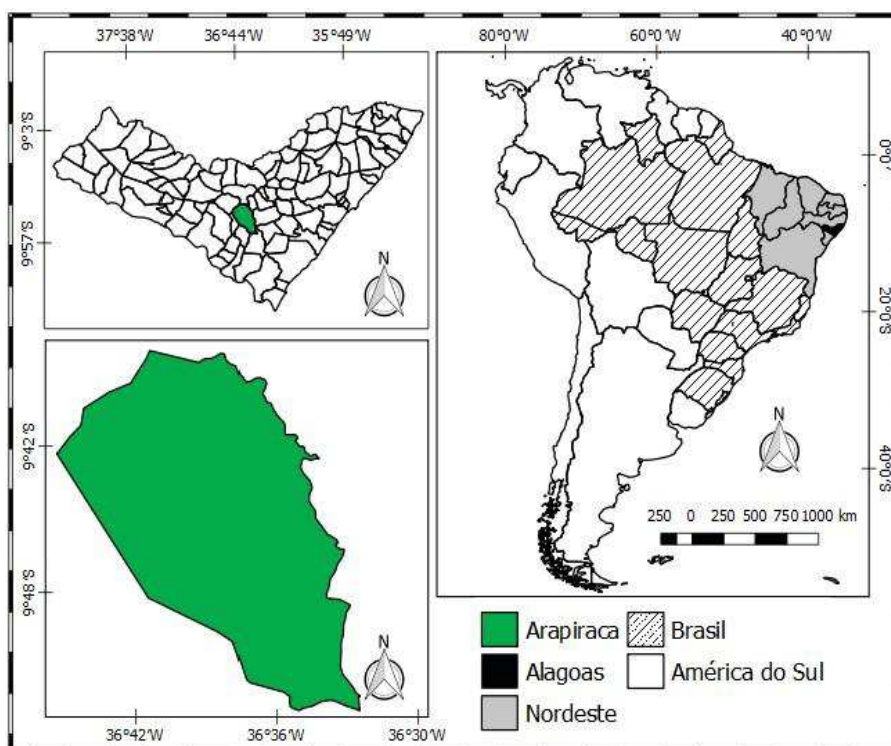
## 3.2. Experimentos para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

### 3.2.1. Descrição das áreas experimentais

Os experimentos foram conduzidos nas seguintes localidades do Estado de Alagoas: Arapiraca, Pão de Açúcar e Rio Largo.

Na região Arapiraca foi instalado um dos experimentos conduzidos para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> gerido por Medeiros (2009), no povoado Batingas (09°48'55,1" S; 36°36'22,8" W), a 236 m altitude (Figura 6). De acordo com a EMBRAPA (1999), o solo da região é classificado como latossolo vermelho amarelo distrófico. O clima da região é do tipo As', segundo a classificação climática de Köppen (1948), com déficit no verão e excesso hídrico no outono/inverno. A precipitação anual

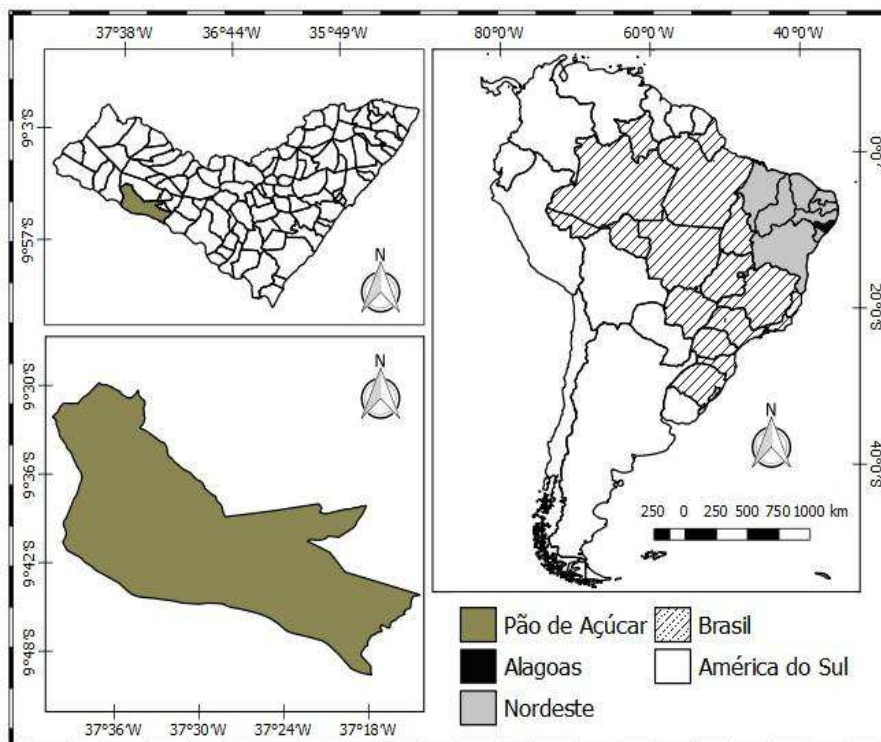
varia de 750 a 1.000 mm, com temperaturas médias de 25 °C, de acordo com Nimer (1977).



Fonte: Autor (2019)

**Figura 6.** Localização da área experimental em Arapiraca 2008.

O segundo experimento conduzido para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi gerido por Anjos (2016), na área experimental localizada na Fazenda Tororó III, município de Pão de Açúcar, AL, (09°45'20,7" S; 37°25'12,3' W) a uma altitude de 18 m (Figura 7). O clima da região foi classificado como BSh', conforme classificação de Köeppen (1948). Apresentando precipitação pluviométrica média de 500 mm ano<sup>-1</sup>, e temperatura média do ar de 27 °C (BARROS *et al.*, 2012). Os parâmetros obtidos para a validação do modelo na região foram coletados do segundo experimento realizado entre agosto e dezembro de 2015, pois apresentaram maior variabilidade dos resultados além de fornecer um elevado número de variáveis necessárias para entrada do modelo.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 7.** Localização da área experimental em Pão de Açúcar 2015.

O terceiro experimento utilizado para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi conduzido por Cantarelli (2016), no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, na região de Rio Largo, AL (Figura 5). A região em que o experimento estava localizado apresenta um solo classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso Argissólico, de textura médio-argilosa (SOUZA *et al.*, 2006).

Já o quarto e último experimento utilizado para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi conduzido por Barbosa (2017), o mesmo teve início em 29 de fevereiro de 2016, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, em uma área de 3.040 m<sup>2</sup> (Figura 5).

### 3.2.1.1. Manejo agrícola e delineamento experimental utilizado para validação

A área experimental conduzida em Arapiraca, AL foi composta por quatro épocas de plantio 06 de maio, 19 de maio, 10 de junho e 30 de junho de 2008, (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>), respectivamente. Segundo Medeiros (2009), os resultados observados na terceira época de plantio (10 de junho de 2008) que foi a melhor, apresentaram diferença significativa quando submetido aos testes estatísticos em comparação com os

outros tratamentos sendo, portanto, utilizado como parâmetro de entrada para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> Versão 6.1 Plus (RAES *et al.*, 2012).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com seis repetições, adotando o espaçamento entre linhas de 0,80 m, totalizando uma densidade de plantio de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No entanto, realizou-se a adequação das variáveis de produção para 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, já que os valores de calibração do modelo foram realizados para a densidade supracitada.

A variedade de milho utilizada foi AL Bandeirantes, e o manejo cultural se iniciou dois meses antes da semeadura, com correção do pH, posteriormente, foram abertos os sulcos manualmente. Para adubação de fundação utilizou-se a seguinte formulação: 40-60-50 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, mais 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, atendendo a recomendação proposta por Cruz *et al.* (2006). Aos 15 e 32 dias após o plantio foi aplicada a adubação de cobertura utilizando 100 kg ha<sup>-1</sup> de Sulfato de Amônio.

Em Pão de Açúcar utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com seis lâminas de irrigação (50, 75, 100, 125, 150 e 175% da ET<sub>0</sub>) correspondendo aos tratamentos, em quatro repetições, no entanto, para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, adotou-se o tratamento correspondente à terceira lâmina de irrigação a qual atende as necessidades básicas da cultura correspondendo a 100% da ET<sub>0</sub>, proposto por Anjos (2016), sendo desta forma utilizada como parâmetro de entrada para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> Versão 6.1 Plus (RAES *et al.*, 2012).

A área experimental de Pão de Açúcar foi de 480 m<sup>2</sup>, com espaçamento entre linhas de 0,80 m e entre plantas de 0,20 m, totalizando uma densidade de plantio de 62.500 plantas ha<sup>-1</sup>. No entanto, realizou-se a adequação das variáveis de produção para 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, já que os valores de calibração do modelo foram realizados para a densidade supracitada. Aplicou-se a adubação de fundação no dia do plantio atendendo as necessidades da cultura obedecendo a seguinte formulação: 45-138-37 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, aos 35 e 45 dias após o plantio realizou-se a adubação de cobertura com 112 kg ha<sup>-1</sup> de ureia. No entanto, o sistema de irrigação empregado foi por gotejamento, aplicado na cultura do milho, híbrido AG 7088 da Agrocere, semeado no dia 25 de agosto de 2015.

Em Rio Largo, AL o delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições e seis tratamentos, os quais foram representados pelas

seguintes cultivares de milho: AL Bandeirante, Jaboatão e Batité e híbridos: AG 7088 PRO<sub>2</sub>, AG 7098 PRO<sub>2</sub> e AG 8677 PRO<sub>2</sub>, as quais foram semeadas no espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,25 m entre plantas resultando em uma densidade de plantio de 50.000 plantas hectare<sup>-1</sup>. No entanto, utilizou-se para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> o tratamento correspondente ao híbrido AG 7088 PRO<sub>2</sub> o qual apresentou o melhor ajuste aos dados modelados, sendo desta forma adotada como parâmetro de entrada para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> Versão 6.1 Plus (RAES *et al.*, 2012).

A abertura dos sulcos foi realizada de forma manual, após o sulcamento o plantio foi executado no dia 08 de junho de 2015, aplicando a seguinte formulação em adubação de fundação 200-115-192 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, seguindo a recomendação proposta por Coelho *et al.* (1995) visando atingir uma produtividade média de 10 t ha<sup>-1</sup>, aos 15 dias após o plantio realizou-se a adubação de cobertura, aplicando 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando como fonte Ureia.

Já no ano de 2016 na região de Rio Largo, AL adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, tendo como fator principal cinco lâminas de irrigação: 40, 80, 120, 150 e 200%, da ET<sub>C</sub>, e fator secundário doses de nitrogênio (N), na forma de ureia: 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>.

No entanto, utilizou-se para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> o tratamento correspondente a 120% da ET<sub>C</sub>, visando observar apenas o suprimento das necessidades básicas da cultura, sem que houvesse estresse hídrico, além de utilizar o tratamento três correspondente a 150 kg ha<sup>-1</sup> de Ureia como fonte de Nitrogênio, o qual apresentou o melhor ajuste aos dados modelados, sendo desta forma adotado como parâmetro de entrada para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> Versão 6.1 Plus para o ano de 2016 (RAES *et al.*, 2012).

O espaçamento adotado foi de 0,80 m entre linhas e 0,25 m entre plantas proposto por Sarmiento (2015), totalizando uma densidade de plantio de 50.000 plantas hectare<sup>-1</sup>, utilizando o genótipo AG 7088 VTPRO<sub>3</sub>

A adubação de fundação foi realizada tomando como referencia uma produtividade agrícola de grãos média de 10 t ha<sup>-1</sup>, conforme Coelho *et al.* (1995), aplicando a seguinte formulação: 00-115-192 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Já a adubação de cobertura foi realizada aos 15 dias após o plantio,

utilizado ureia como fonte de Nitrogênio, distribuindo as doses de (N): 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Assim sendo, observa-se a calibração em uma unidade experimental localizada no município de Rio Largo, AL com quatro épocas de plantio, e a validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> contemplou quatro estações experimentais Arapiraca, 2008; Pão de Açúcar, 2015 e Rio Largo, 2015 e 2016, utilizando diferentes tratamentos a fim de avaliar o desempenho do modelo em diferentes situações e ambientes de cultivo, utilizando quatro anos de cultivos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo dos experimentos utilizados para calibração e validação do *AquaCrop*<sup>®</sup> com a cultura do Milho.

Experimento	Local	Tratamento	Ano
<b>Calibração</b>			
Rio Largo, AL	Centro de Ciências Agrárias - UFAL	Épocas de plantio com irrigação	2013
<b>Validação</b>			
Arapiraca, AL	Povoado Batingas	Épocas de plantio em sequeiro	2008
Pão de Açúcar, AL	Fazenda Tororó III	Lâminas de Irrigação, 100% ET <sub>0</sub>	2015
Rio Largo, AL	Centro de Ciências Agrárias - UFAL	Competição em sequeiro	2015
Rio Largo, AL	Centro de Ciências Agrárias - UFAL	Lâminas de Irrigação (120% ET <sub>0</sub> ) e Doses de Nitrogênio (150 kg ha <sup>-1</sup> )	2016

Fonte: Autor (2019)

### 3.3. Calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

O modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi calibrado para a cultura do milho cultivado na região de Rio Largo (Tabela 2), descrito no item 3.1., utilizando os parâmetros experimentais e a segunda densidade de plantio (50.000 plantas por hectare) por apresentar maiores produções de biomassa acumulada e rendimento de grão. Dessa forma, simulou-se também o armazenamento de água no solo, cobertura do solo e rendimento de biomassa e grãos para as quatro épocas de plantio, e os resultados foram comparados com os valores observados em campo.

### 3.4. Validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

A validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi para a cultura do milho cultivado em três regiões do estado de Alagoas (Arapiraca 2008, Pão de Açúcar 2015 e Rio Largo (2015/2016)) durante quatro anos de cultivo, em condições irrigada ou em sequeiro. Os resultados (Figura 2) simulados foram comparados com os observados em campo sem que houvesse a alteração do banco de dados da cultura, estabelecendo variações apenas no banco de dados climático e de solo para as respectivas regiões e estações de cultivo. Desta forma, comparou-se os resultados de produção (biomassa acumulada e rendimento de grão), além do armazenamento de água no solo, cobertura do dossel e rendimento de biomassa e grãos para as estações de cultivo com os valores observados em campo.

**Tabela 2.** Variáveis de entrada conservativas para cultura do milho no *AquaCrop*<sup>®</sup>.

Descrição	Valores	Default	Unid.
<b>Conservativo (geralmente aplicável)</b>			
Temperatura base	10,0	8,0	°C
Temperatura de paralisação	30,0	30,0	°C
Cobertura do dossel com 90% de emergência das plântulas (CC0)	5,0	7,0	cm <sup>2</sup>
Coefficiente de crescimento do dossel (CGC)	16,5	16,3	%
Coefficiente de transpiração para a cultura com CC = 100%	1,1	1,0	
Declínio no coeficiente da cultura após atingir o máximo de cobertura do dossel (CCX)	5,0	4,0	%
Coefficiente de declínio do dossel (CDC) até a senescência	6,7	11,7	%
Limite limiar de crescimento da folha p-superior	0,25	0,14	
Limite limiar de crescimento da folha p-inferior	0,55	0,72	
Forma da curva do coeficiente de estresse no crescimento da folha	3,0	2,9	
Limiar de condutância estomática p-superior	0,5	0,69	
Forma da curva do coeficiente estresse estomático	3,0	6,0	
Coefficiente de senescência em estresse p- superior	0,85	0,69	
Forma da curva do coeficiente de estresse na senescência	3,0	2,7	
Ponto de anaerobiose	5,0	5,0	%

Fonte: Autor (2019)

**Continuação Tabela 2.** Variáveis de entrada conservativas para cultura do milho no *AquaCrop*<sup>®</sup>.

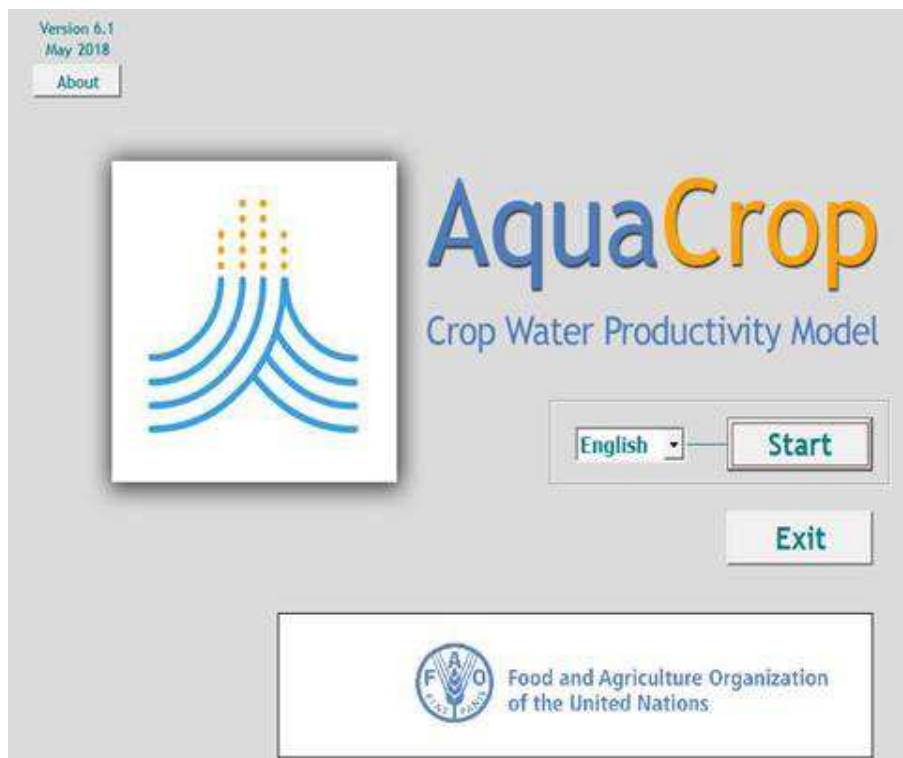
Descrição	Valores	Default	Unid.
<b>Considerado conservador, podendo ser específico para cada cultivar</b>			
Parâmetro de produtividade da água é normalizado pelo o clima (WP *)	30,0	33,7	g m <sup>-2</sup>
Índice de colheita de referência (HI0)	33,0	48,0	%
GDDa (graus dias acumulados) a partir de 90% de emergência para o início da antese	65,0	54,0	°GD
Duração da antese	11,0	13,0	dias
Coefficiente, inibição do crescimento da folha no HI	3,0	5,0	
Coefficiente de inibição estomático no HI	3,0	5,0	

Fonte: Autor (2019)

### 3.5. Descrição do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

O modelo utilizado para realizar as simulações de cenários foi *AquaCrop*<sup>®</sup> versão 6.1 (Maio, 2018) (Figura 8), desenvolvido pela FAO (HSIAO *et al.*, 2009). As simulações foram realizadas com a inserção de arquivos básicos de entrada para o modelo como: banco de dados climáticos (temperatura do ar mínima e máxima, evapotranspiração de referência - ET<sub>0</sub>, precipitação e CO<sub>2</sub> (o modelo usa como padrão dados de concentração média anual de CO<sub>2</sub> do Observatório Mauna Loa, no Havaí)), banco de dados cultural (densidade de plantio, fases e estádios fenológicos, tempo de emergência, cobertura máxima do solo), banco de dados de irrigação e banco de dados do solo (densidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e conteúdo de saturação). O software utilizado para criar os bancos de dados foi o Microsoft Office 2016 (Bloco de Notas).





Fonte: Adaptado de Steduto *et al.* (2009)

**Figura 8.** Layout do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> versão 6.1.

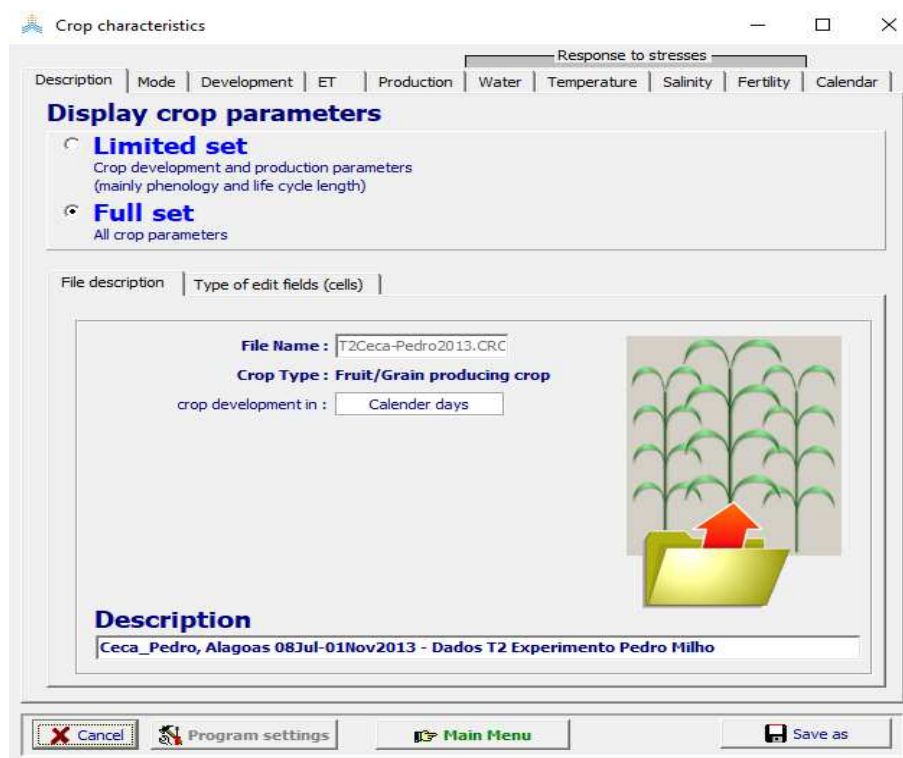
O modelo considera a produtividade normalizada da água da cultura (WP) constante para um determinado clima, sendo normalmente agrupada de acordo com o metabolismo da cultura, para plantas que apresentam mecanismos C<sub>3</sub> a produtividade de água estará entre 15 e 20 g m<sup>-2</sup>, já as plantas C<sub>4</sub> apresentam produtividade de água variando de 30 a 35 g m<sup>-2</sup> (STEDUTO *et al.*, 2009).

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).

### 3.3.1. Parâmetros climáticos

O banco de dados climáticos (Figura 9) foi composto pelos seguintes parâmetros de entrada: precipitação pluvial, temperatura do ar máxima e mínima diária (as quais foram coletadas e cedidas pelo Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar (LARAS)), evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) (estimada através do método *Penman-Monteith-FAO* com dados de entrada provenientes da mesma estação

agrometeorológica) e a concentração média anual de CO<sub>2</sub> atmosférico, que é usada como padrão de concentração para o ano 2000 (369,47 ppm = 716,0 mg m<sup>-3</sup>) registrados no Observatório do *Mauna Loa* no Havaí (RAES *et al.*, 2017) e ajustado pelo modelo para o respectivo ano simulado. O modelo também relaciona os componentes solo-cultura-atmosfera através balanço de água (ARAYA *et al.*, 2010A). Esses arquivos foram salvos no software *WordPad*<sup>®</sup>, ficando posteriormente disponíveis ao usuário na interface de comando.



Fonte: Adaptado de Steduto *et al.* (2009)

**Figura 9.** Interface do banco de dados de clima do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> versão 6.1.

### 3.3.2. Parâmetros de solo

Os parâmetros de solo utilizados para composição do banco de dados foram distribuídos em cinco experimentos, o primeiro composto pelas variáveis coletadas na estação experimental de Rio Largo no ano de 2013 foi utilizado para calibrar o modelo. Já a validação foi realizada com os parâmetros coletados nas áreas experimentais de Arapiraca, Pão de Açúcar e Rio Largo no estado de Alagoas (Tabela 3). Na região de cultivo de Rio Largo o solo foi classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argílico de textura médio-argilosa (CARVALHO, 2003), em Arapiraca o solo apresentou textura

franco argiloarenoso de acordo com, Medeiros (2009), já em Pão de Açúcar o solo da área experimental apresentou textura franco arenosa (ANJOS, 2016).

Posteriormente, foram criados os bancos de dados contendo os parâmetros do perfil do solo, necessários ao modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, como: textura, condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), conteúdo volumétrico de água na saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Para os experimentos realizados na área do Centro de Ciências Agrárias (CECA/UFAL) e Arapiraca (Povoado Batingas), foram obtidos os parâmetros a partir de coletas realizadas em campo e análises em laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Alagoas por Sarmiento (2015) e Medeiros (2009). Já o experimento conduzido por Anjos (2016), em Pão de Açúcar obteve os parâmetros a partir de análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande.

Os arquivos de saída gerados com o banco de dados de solo contêm informações diárias sobre umidade do solo ao longo do perfil, conteúdo de água na zona radicular, balanço de água no solo e necessidade de irrigação. Esses dados foram organizados em planilhas do *Microsoft Office Excel*<sup>®</sup> 2016 e posteriormente transferidos para o *SigmaPlot*<sup>®</sup> 14.0 para confecção dos gráficos.

A quantificação de umidade do solo foi determinada apenas para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> observada através do método eletromagnético (*Time Domain Reflectometry* - TDR) sendo este um método confiável para mensurar os teores de água do solo (ARSOY *et al.*, 2013). Seguindo metodologia proposta por Rocha *et al.*, (2014), distribuindo as hastes de 0,30 m de comprimento verticalmente a profundidades variando de 0,0 - 0,30 m e 0,30 - 0,60 m. Sarmiento (2015) calibrou as hastes para as condições de solo encontradas no experimento. Em seguida, coletaram-se os valores observados em campo para as quatro épocas de plantio, a fim de confeccionar o banco de dados que serviu como parâmetro para calibração dos resultados estimados pelo modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

**Tabela 3.** Parâmetros físicos hídrico do solo das áreas experimentais em Rio Largo, Arapiraca e Pão de Açúcar - AL, Ponto de murcha permanente – (PWP); Capacidade de campo – (FC); Conteúdo de água na saturação – (SAT).

Textura do solo	Camadas do solo	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Conteúdo volumétrico de água no solo (mm /mm <sup>-1</sup> )		
			PWP	FC	SAT
<b>Calibração</b>					
<i>Rio Largo 2013</i> - Médio argilosa	0-10	1,36	0,12	0,20	0,40
	10-20	1,44	0,13	0,22	0,43
	20-30	1,52	0,14	0,24	0,43
<b>Validação</b>					
<i>Arapiraca 2008</i> -Franco argilo arenosa	0-30	1,53	0,063	0,11	0,40
	30-60	1,59	0,081	0,14	0,39
<i>Pão de Açúcar 2015</i> - Franco Arenoso	0-30	1,39	0,0643	0,23	0,48
	30-60	1,41	0,0645	0,26	0,47
<i>Rio Largo 2015</i> - Médio argilosa	0-10	1,36	0,12	0,20	0,40
	10-20	1,44	0,13	0,22	0,43
	20-30	1,52	0,14	0,24	0,43
<i>Rio Largo 2016</i> - Médio argilosa	0-10	1,36	0,12	0,20	0,40
	10-20	1,44	0,13	0,22	0,43
	20-30	1,52	0,14	0,24	0,43

Fonte: Autor (2019)

### 3.3.3. Parâmetros fenológicos e de crescimento da cultura

O arquivo de cultura no AquaCrop<sup>®</sup> apresenta parâmetros específicos da cultura pertencentes a 13 estádios de crescimento fenológico com desenvolvimento de copa, raízes, evapotranspiração, água, fertilidade e temperatura (STEDUTO *et al.*, 2009).

O banco de dados da cultura foi formulado a partir dos parâmetros coletados no experimento realizado em Rio Largo, AL no ano de 2013 para calibração do modelo AquaCrop<sup>®</sup> e não foram alterados para os anos e regiões de cultivo a fim de realizar a validação do modelo para o estado de Alagoas. Esta parametrização é dividida basicamente em dois módulos, as variáveis são classificadas como conservativas e o não conservativo. As conservativas são as que permanecem constantes em função do tempo, como produtividade de água (WP\*) que é definida de acordo com as características climáticas em função da cultura agrícola adotada (STEDUTO *et al.*, 2009). De acordo com, Raes *et al.* (2017) este balizamento da produtividade de água para a cultura do milho, uma planta C<sub>4</sub> pode variar de 30 a 35 g m<sup>-2</sup>. Essa preposição é corroborada com as indicações de Stricevic *et al.* (2014) e Abedinpour *et al.* (2012) que utilizam WP\* 34

$\text{g m}^{-2}$  e Stroosnijder e Biazin (2012) usa  $\text{WP}^*$  de  $30,7 \text{ g m}^{-2}$ , justificando a calibração do modelo para a região de cultivo e cultura manejada adotando  $\text{WP}^*$  de  $30 \text{ g m}^{-2}$ .

Os módulos que penalizam a produtividade e acúmulo de biomassa foram desativados considerando-se a ausência de restrição nutricional e salinina para as áreas experimentais, já que houve a reposição da demanda requerida pela cultura com adubações minerais de fundação e cobertura, não havendo, portanto, estresse causado por redução da fertilidade do solo. As pragas e doenças não são consideradas, apresentando uma limitação para a modelagem (AKUMAGA *et al.*, 2017). Desta forma, controlou-se a presença de ervas nativas, pragas e doenças, objetivando reduzir a interferência negativa na produção final da cultura. Para a avaliação adotou-se  $\text{WP}^*$   $30 \text{ g m}^{-2}$  semelhante ao estudo desenvolvido por Mhizha (2010) que utilizou  $\text{WP}^*$   $29,0 \text{ g m}^{-2}$ .

As variáveis específicas da cultura foram observadas diariamente, e classificadas de acordo com a metodologia proposta por Ritchie *et al.* (1993). Para normatizar esses parâmetros, foram contabilizados os graus-dia acumulados (GDA, °C dia) através da equação 1, considerando a temperatura base de referência para a cultura do milho  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  (BERLATO e MATZENAUER, 1986).

$$GDA = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_x + T_n}{2} \right) - T_b \quad (1)$$

Em que: GDA é a soma térmica, em graus-dia;  $T_x$  é a temperatura máxima diária ( $^\circ\text{C}$ );  $T_n$  é a temperatura mínima diária ( $^\circ\text{C}$ ) e  $T_b$  temperatura base para o milho ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

As avaliações de crescimento foram realizadas semanalmente analisando as variáveis necessárias para calibração e validação do modelo (Tabela 4), utilizando quatro épocas de plantio para calibrar e os parâmetros resultantes da primeira época de plantio para realizar a validação do modelo como: índice de área foliar (IAF) data de emergência, máxima cobertura do solo (CS), duração da floração, início da senescência, profundidade efetiva do sistema radicular (Z) e biomassa seca (BS). Esses resultados depois de simulados foram comparados com os valores observados por Sarmiento, (2015), Medeiros (2009), Anjos (2016), Cantarelli (2016) e Barbosa (2017), quanto à

produção de biomassa seca (BS), rendimento de grãos (Y), cobertura do dossel (CC) e conteúdo de água no solo.

**Tabela 4.** Observações fenológicas e variáveis específicas para o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> com a cultura do milho, cultivado em Rio Largo, Arapiraca e Pão de Açúcar, Alagoas durante a calibração (C.1, 2,3 e 4) e validação (V) em função dos dias após a semeadura (DAS).

Descrição	Valores					Unidades
	C.1	C.2	C.3	C.4	V	
Tempo desde a semeadura até a emergência	5	8	7	8	5	DAS
Tempo desde a semeadura até a cobertura máxima do dossel	63	61	58	59	63	DAS
Tempo desde o plantio à floração	65	63	59	60	65	DAS
Duração da floração	11	12	8	11	11	DAS
Tempo desde o plantio até o início da senescência	79	81	71	80	79	DAS
Tempo desde o plantio até à maturação fisiológica	117	117	113	109	117	DAS
Profundidade efetiva das raízes			0.3			Metros
Densidade de plantio, Rio Largo (2013)			50.000			Plantas ha <sup>-1</sup>
Cobertura máxima do dossel (CCx) Rio Largo (2013)			90			%

Fonte: Autor (2019)

A quantificação do rendimento de grãos para a cultura foi calculada a partir da massa total de grão em cada tratamento, ajustada para um teor de umidade de 13%. Já o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, de acordo com Steduto *et al.* (2009), simula o rendimento de grãos e o acúmulo de biomassa de forma semelhante ao modelo de Doorenbos e Kassam (1979), que utiliza a relação da evapotranspiração (ET) no cálculo do rendimento agrícola da cultura (Y) equação 2. Entretanto, há a partição da evapotranspiração em evaporação da água do solo (E) e transpiração da água pela cultura (Tr) por parte do *AquaCrop*<sup>®</sup>, conservando os outros parâmetros como acúmulo de biomassa total e índice de colheita da cultura.

$$Y = B * IC \quad (2)$$

Em que: Y é o rendimento da cultura (t ha<sup>-1</sup>); B é a biomassa total (t ha<sup>-1</sup>) e IC é o índice de colheita.

O índice de colheita foi calculado por Sarmiento (2015) de acordo com a metodologia proposta por Yang *et al.* (2004) e Demétrio *et al.* (2008) utilizando a equação 3, considerando o rendimento de grãos com 13% de umidade.

$$IC = \frac{RG}{BS_{acum}} \quad (3)$$

Em que: IC é o índice de colheita; RG é o rendimento de grãos (13% de umidade) e  $BS_{acum}$  é a biomassa seca acumulada até o estágio fenológico R6 (maturação).

A cobertura do solo foi estimada utilizando metodologia proposta por Adams e Arkin, (1977) equação 4, em que a fração de irradiância fotossintética interceptada pelo dossel da cultura foi calculada por Sarmiento, (2015) além do coeficiente de extinção da luz 0,6. Posteriormente, utilizaram-se os dados de índice de área foliar da cultura para cada região de cultivo a fim de comparar os resultados simulados com os observados por Medeiros (2009), Anjos (2016), Cantarelli (2016) e Barbosa (2017), em campo.

$$CS = 1 - \exp(-k * IAF) \quad (4)$$

Em que: IAF é o índice de área foliar da cultura e k é o coeficiente de extinção de luz.

Para a calibração e validação do modelo utilizaram-se os parâmetros de desenvolvimento da cultura para cobertura do solo determinado por seis variáveis características: coeficiente de crescimento do dossel (CCD - 14,5% dia<sup>-1</sup>), coeficiente de declínio do dossel (CDD - 7,5% dia<sup>-1</sup>), cobertura máxima do solo (CD<sub>x</sub> - 90%), 5 dias para emergência, 79 dias até o início da senescência e 117 dias até a maturação final.

### 3.6. Performace do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

#### 3.6.1. Análise dos dados modelados

A acurácia e verificação do desempenho do modelo em relação aos dados de saída para a calibração e validação foi realizada através de comparações entre resultados simulados e observados utilizando testes estatísticos. Comparou-se os valores de

cobertura do solo (CC), biomassa seca (BS), rendimento de grãos (Y) e umidade do solo, utilizando indicadores estatísticos como: índice de concordância, coeficiente de correlação de Pearson, índice de confiança, porcentagem de desvio e raiz quadrada do erro médio.

O Índice de Concordância foi 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 5.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n \left( |Si - \bar{O}| + |Oi - \bar{O}| \right)^2} \right] \quad (5)$$

Em que:  $Si$  é o valor estimado pelo modelo no dia  $i$ ;  $Oi$  é o valor observado no dia  $i$  e  $\bar{O}$  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 6.

$$r = \left[ \frac{\sum XY - \frac{\sum X * \sum Y}{N}}{(N - 1)Sx * Sy} \right] \quad (6)$$

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;  $Sx$  é o desvio padrão dos valores de  $x$  e o  $Sy$  é o desvio padrão dos valores de  $y$ .



A equação 7 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 (Tabela 5), utilizando o produto entre o coeficiente de correlação “r” e o índice de concordância de Willmott “d”.

$$c = (r * d) \quad (7)$$

**Tabela 5.** Índice de confiança e critérios de desempenho.

Valor de “c”	Desempenho do modelo
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Regular
0,41 a 0,50	Ruim
≤0,40	Muito ruim

Fonte: Adaptado de Camargo e Sentelhas (1997)

A Porcentagem de Desvio indica a subestimativa ou superestimativa entre os valores observados e simulados (TOJO SOLER, 2004). Essa porcentagem é dada pela equação 8.

$$PE = \left[ \frac{(Si - Oi)}{Oi} \right] * 100 \quad (8)$$

Em que: PE é a porcentagem de desvio; *Si* é o valor estimado pelo modelo e *Oi* é o valor observado.

A Raiz Quadrada do Erro Médio (equação 9) é utilizada para quantificar a performance geral do modelo sintetizando a diferença média entre os valores observados e estimados. De acordo com Loague e Green, (1991), quanto mais próximo de zero, melhor o resultado o ajuste do modelo para a simulação.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n-1}} \quad (9)$$

Em que: RMSE é a raiz quadrada do erro médio;  $S_i$  é o valor estimado pelo modelo;  $O_i$  é o valor observado e  $n$  é o número de dados.

As variáveis de cobertura do solo (CS) e acúmulo de biomassa (AB) foram submetidas à análise de regressão linear (equação 10), considerando-se as variável dependente e as demais variáveis contidas no mesmo CP, mais os tratamentos, como variáveis independentes, com o intuito de ajustar um modelo. Foi utilizado o modelo de regressão linear múltipla com  $k$  variáveis independentes:

$$CS \text{ ou } AB = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i X_{ij} + \varepsilon_j \quad (10)$$

Em que: CS ou AB cobertura do solo e acúmulo de biomassa,  $\alpha$  é o coeficiente linear,  $\beta_i$  é o coeficiente de regressão das variáveis independentes  $X_i$ ,  $X_{ij}$  são variáveis independentes  $X_i$  na observação  $j$  e  $\varepsilon_j$  é o erro associado à variável RG na observação  $j$  (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2004).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Variáveis meteorológicas durante a calibração

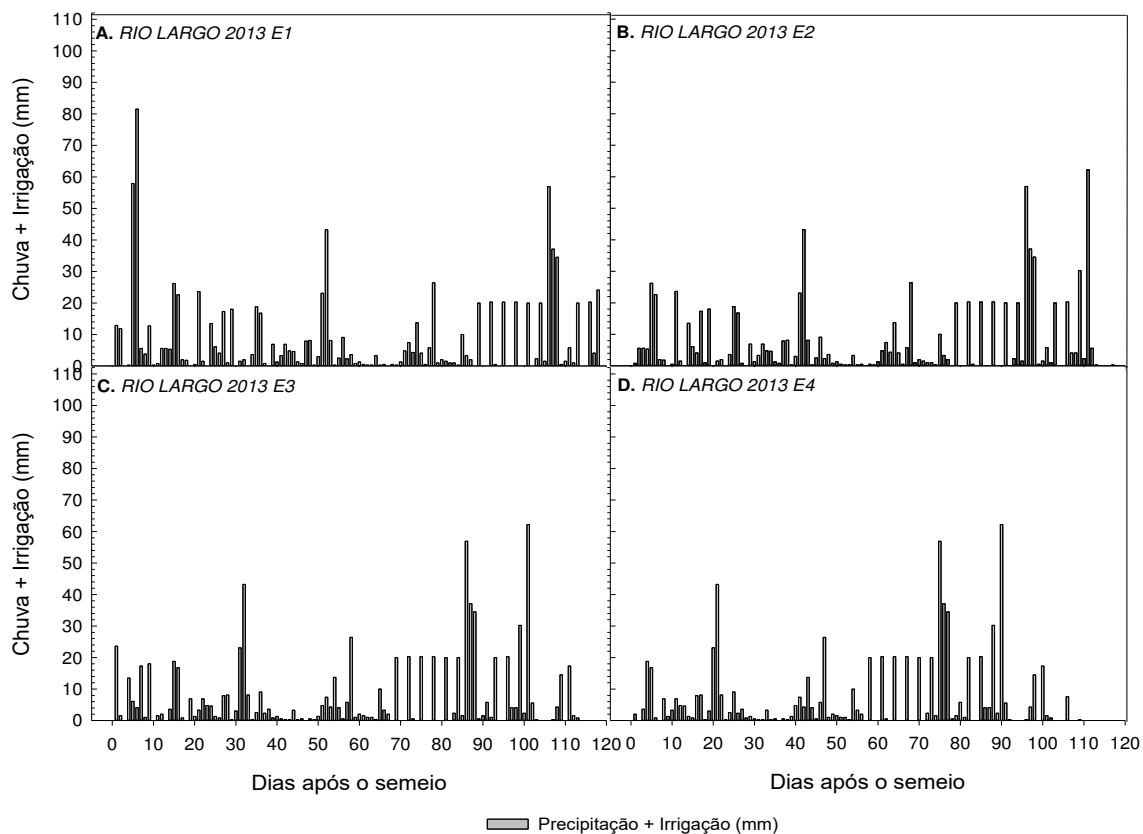
#### 4.1.1. Região de Rio Largo, Alagoas durante a calibração

A precipitação pluvial total para o experimento de calibração em Rio Largo, AL nas quatro épocas de plantio (Figura 10) foram de 846,8; 678,9; 635,8 e 551,4 mm para (E<sub>1</sub>- 28 de junho, E<sub>2</sub>- 08 de julho, E<sub>3</sub>- 18 de julho e E<sub>4</sub>- 28 de julho de 2013), respectivamente, atendendo em todas as épocas a necessidade hídrica do milho que é de 500 a 800 mm ciclo<sup>-1</sup>, para obter produção máxima, dependendo do clima (DOORENBOS & KASSAM, 1994). Porém, a precipitação pluvial para a área experimental ocorreu de forma concentrada em curtos intervalos de tempo, havendo necessidade de manter as lâminas de irrigação suplementar até que a quarta época de plantio atingisse o estágio fenológico reprodutivo R<sub>5</sub>, evitando estresse hídrico na fase de floração e/ou enchimento de grãos, sendo este período o mais crítico, demandando uma alta e regular disponibilidade hídrica de acordo com, Veloso *et al.*, (2009) de no mínimo 562 mm bem distribuídos durante todo o ciclo de cultivo da cultura.

Com a finalidade de atender a necessidade de boa distribuição de água ao longo do ciclo, aplicaram-se lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de referência de acordo com Sarmento (2015), totalizando 97,1; 171,8; 183,0 e 188,7 mm para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente. Resultando em um acumulado de chuva mais irrigação de 943,9; 850,8; 818,8 e 740,1 mm para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente. Ao analisar o quantitativo de precipitação pluvial ao longo dos ciclos de cultivos observa-se que a necessidade hídrica da cultura é atendida, porém a irregularidade de distribuição com a presença de veranicos ao longo do ciclo aponta a necessidade de irrigação suplementar afim de, evitar estresse hídrico ao longo do ciclo, sendo controlado com o início da irrigação, para manter o armazenamento de água (ARM) superior à água facilmente disponível (AFD).

Durante o ciclo de cultivo do milho para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> em Rio Largo, AL no ano de 2013 observou-se para primeira época de plantio (E<sub>1</sub>), a ocorrência de eventos de precipitação pluvial ou irrigação em 84,6% dos dias, totalizando 943,9 mm com intensidade média de 8,1 mm d<sup>-1</sup> (Figura 10A). Na segunda época de plantio (E<sub>2</sub>) observou-se um total de 850,8 mm, de chuva mais irrigação e

intensidade média diária de 7,3 mm, sendo constatados eventos de entrada de água no sistema em 82,9% do ciclo da cultura (Figura 10B). Para a terceira época de plantio o total acumulado de água foi de 818,8 mm, com intensidade média de 7,2 mm d<sup>-1</sup> (Figura 10C). No entanto, para quarta época observou-se a ausência de precipitação pluvial ou irrigação em 21,1% dos dias de cultivo, com total de 740,1 mm e intensidade média de 6,8 mm d<sup>-1</sup> (Figura 10D).



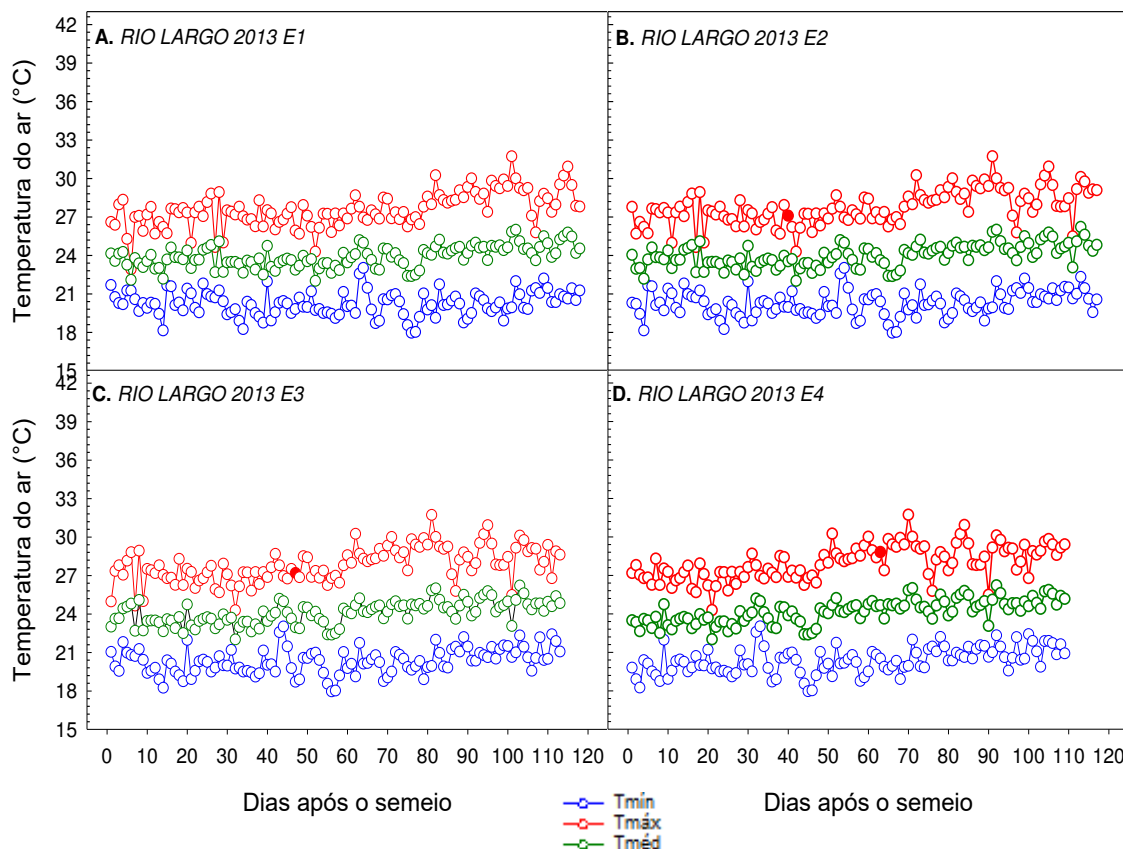
Fonte: Autor (2019)

**Figura 10.** Chuva mais irrigação diária em quatro épocas de plantio para região de Rio Largo, Alagoas durante a calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

As condições térmicas observadas no experimento utilizado para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> estiveram na faixa classificada como ideal para o cultivo do milho (Figura 11), visto que o desenvolvimento da cultura é ótimo em temperaturas variando de 21 a 30 °C (MUCHOW, 1990). As temperaturas médias observadas para o período de cultivo foram de 23,8; 23,6; 23,7 e 23,9 °C para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente. Ao analisar as temperaturas máximas das quatro épocas de plantio observa-se em média 27,6; 27,7; 27,8 e 28,0 °C na E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente. No entanto, as

temperaturas mínimas observadas nos ciclos de cultivo foram em média: 23,9; 24,0; 24,1 e 24,2°C nas E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente.

As temperaturas mínimas e máximas do ar estiveram em todo o ciclo de cultivo dentro da faixa considerada como ótima para a cultura do milho compreendendo o intervalo de 10 °C (VILANOVA *et al.*, 1972), a 32 °C (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004).



Fonte: Autor (2019)

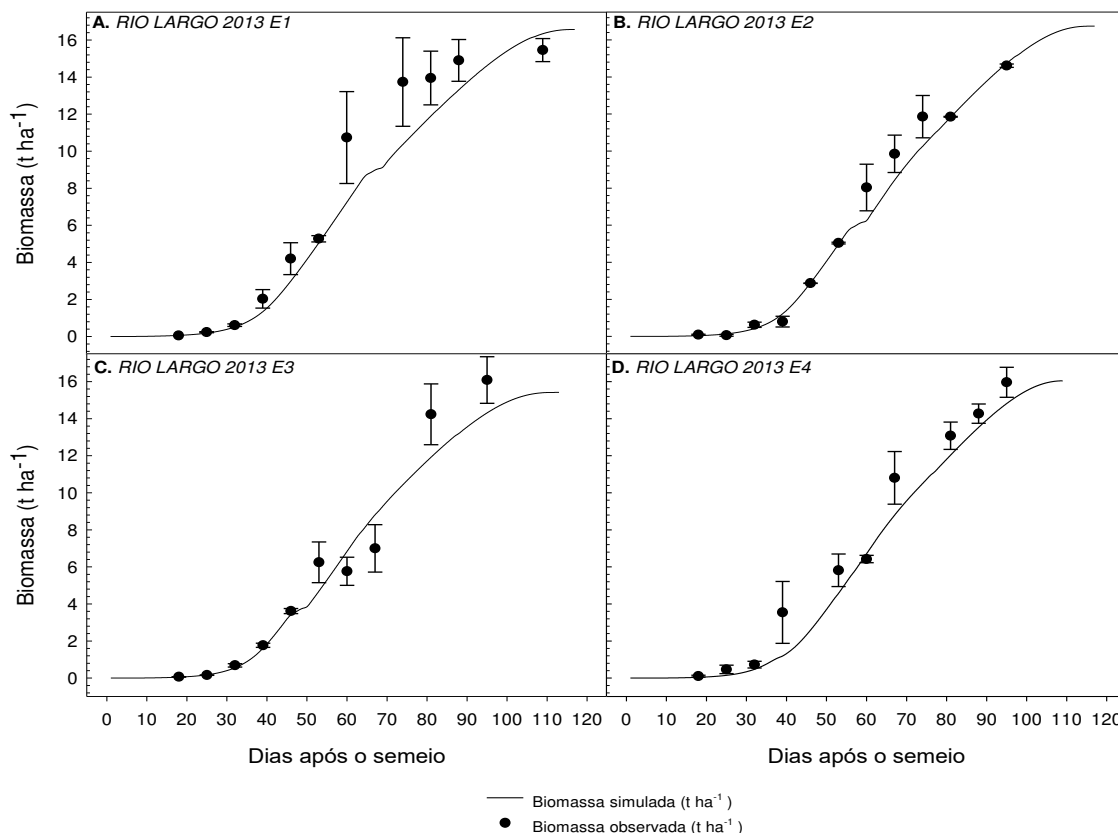
**Figura 11.** Variação da temperatura do ar mínima (T<sub>mín</sub>), média (T<sub>méd</sub>) e máxima (T<sub>máx</sub>, °C) para as quatro épocas de plantio em Rio Largo, AL no ano de 2013.

## 4.2. Variáveis de crescimento durante a calibração

### 4.2.1. Acúmulo de biomassa

O acúmulo de biomassa da cultura do milho durante os quatro ciclos de cultivo para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, cultivado na região de Rio Largo, AL (Figura 12) foi avaliado com comparações entre acúmulo de biomassa acima do solo observada

(distribuída em onze pontos ao longo do ciclo de cultivo) e acúmulo de biomassa acima do solo simulada através do modelo. As interações observadas entre simulações e observações foram satisfatórias para as quatro épocas com base nas análises estatísticas realizadas.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 12.** Dados observados (pontos com desvio padrão) e simulado (linha sólida) de biomassa ( $t\ ha^{-1}$ ) em épocas de plantio E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub> de milho, cultivados na região de Rio Largo, Alagoas para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

Ao avaliar a interação apresentada durante a primeira época de plantio (Figura 12A), constata-se que os primeiros seis pontos coletados (18, 25, 32, 39, 46 e 53 DAS) apresentam menor desvio padrão com acúmulo de biomassa observado de: 0,05; 0,2; 0,6; 2,0; 4,2 e 5,3  $t\ ha^{-1}$  enquanto os acúmulos de biomassa simulados foram 0,1; 0,2; 0,5; 1,3; 2,9 e 5,0  $t\ ha^{-1}$  havendo subestimativa dos valores simulados em relação aos observados, constatado e corroborado por Abedinpour *et al.* (2012) ao avaliar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> para milho em um ambiente semiárido da Índia e Costa e Barros (2001), que verificaram tendência semelhante com modelo logístico de simulação para cultura do milho, em que houve uma subestimativa dos valores observados em campo quando

comparados com os simulados até o final da fase vegetativa. Desta forma, o desvio padrão verificado para os seis primeiros pontos de observação foram (0,0; 0,03; 0,07; 0,5; 0,9 e 0,2) nas seis respectivas datas de análise 18, 25, 32, 39, 46 e 53 DAS.

Por outro lado, os três últimos pontos avaliados apresentaram menores interações elevando, portanto, o desvio padrão para 1,4; 1,1 e 0,6 nos últimos pontos de observação aos 81, 88 e 109 DAS, totalizando acúmulo de biomassa observado de 13,9; 14,9 e 15,5 t ha<sup>-1</sup> e o simulado de 11,9; 13,3 e 16,3 t ha<sup>-1</sup>, pesquisas desenvolvidas por Costa e Barros (2001), corroboram com os resultados encontrados, em que demonstram tendência de aumento da dispersão dos pontos ao longo do ciclo, afirmando que os processos físicos e biológicos são mais complexos e mais difíceis de serem estimados por meio de modelagem.

Na segunda época de plantio (Figura 12B) verifica-se uma alta correlação entre os pontos observados e simulados até os 53 DAS, correspondendo a maior parte do ciclo vegetativo de cultivo, aos 39, 46 e 53 DAS o acúmulo de biomassa observado foi 0,8; 2,8 e 5,0 t ha<sup>-1</sup> enquanto os simulados foram 1,2; 2,9 e 4,9 t ha<sup>-1</sup> havendo, portanto, subestimativa dos dados simulados quando comparados com os observados. Ao isolarmos os dois últimos pontos, ratifica-se tendência de aumento da interação, com acúmulo de biomassa observada de 11,8 a 14,6 t ha<sup>-1</sup>, enquanto as simulações variam de 11,8 a 14,7 t ha<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 0,02 e 0,09 para 81 e 95 DAS respectivamente.

Sob o mesmo ponto de vista, a terceira época de plantio (Figura 12 C) apresentou as menores taxas de desvios padrão aos 18, 25 e 32 DAS com 0,01; 0,01 e 0,09, respectivamente, com acúmulo de biomassa observada de 0,1; 0,16 e 0,69 t ha<sup>-1</sup>, ao passo que, o acúmulo gerado através do modelo foi de 0,05; 0,17 e 0,55 t ha<sup>-1</sup>. Heng *et al.* (2009) e Jin *et al.* (2014) ratificam os resultados observados ao avaliarem o desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> e também encontraram forte concordância entre valores de biomassa observados e simulados.

Assim como nas outras épocas de plantio, a quarta e última época (Figura 12 D) sugeriu tendência correlata, ao verificar os três últimos pontos (81, 88 e 95 DAS) observa-se uma subestimativa dos dados simulados quando comparados aos observados em campo, em que o acúmulo de biomassa simulado foi de 12,0; 13,5 e 14,8 t ha<sup>-1</sup>, enquanto o observado foi 13,1; 14,3 e 15,9 t ha<sup>-1</sup>, resultando em um desvio padrão de 0,7; 0,5 e 0,7 aos 81, 88 e 95 DAS, respectivamente, este desvio padrão baixo também foi observado por Raja, Kanth e Singh (2018).

#### 4.2.2. Análise para o acúmulo de biomassa e rendimento de grãos gerados na calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

Com o intuito de comparar o acúmulo total de biomassa simulada e observada durante o experimento conduzido para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> por meio da percentagem de desvio (%) apresentados na Tabela 6, observou-se uma variação de 6,6%, no entanto, o menor desvio é observado para quarta época de plantio 0,6%, enquanto, na segunda época verifica-se o maior desvio de 14,6%. Como também, há uma superestimativa no acúmulo de biomassa para primeira época de plantio em 7,2% e subestimativa de 4,2% para a terceira época de plantio. De acordo com, Paredes *et al.* (2014) ao parametrizar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> com dados calibrados, a simulação do acúmulo de biomassa em milho se apresenta mais alinhado, do que quando os parâmetros padrões são utilizados. Para Hsiao *et al.* (2009), a subestimação do acúmulo de biomassa ocorre quando os valores de entrada para produtividade de água padronizada e coeficiente de cultura são baixos.

**Tabela 6.** Rendimentos de biomassa e grãos observados e simulados para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> em quatro épocas de plantio (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>).

Data de plantio	Acúmulo final de biomassa (t ha <sup>-1</sup> )			Rendimento final de grãos (t ha <sup>-1</sup> )		
	Observado	Simulado	% Desvio	Observado	Simulado	% Desvio
<b>Calibração</b>						
Rio Largo 28/06/2013	15,46	16,57	7,18	6,02	5,66	-5,98
Rio Largo 08/07/2013	14,61	16,74	14,58	6,41	6,03	-5,93
Rio Largo 18/07/2013	16,09	15,42	-4,16	6,18	5,60	-9,39
Rio Largo 29/07/2013	15,96	16,05	0,56	5,65	5,76	1,95

Fonte: Autor (2019)

Por outro lado, ao observar na Tabela 6 o comportamento dos valores simulado e observados para produtividade de grãos na calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, foi possível inferir que houve uma subestimativa nas três primeiras épocas de plantio, apresentando média de porcentagem de desvio de 5,8%. A primeira época de plantio apresentou a produtividade final de grãos observada de 6,0 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a simulação foi de 5,7 t ha<sup>-1</sup> subestimando em 5,9% os valores observados. Na segunda época de plantio a produtividade observada foi 6,4 t ha<sup>-1</sup> enquanto, a produtividade simulada foi 6,0 t ha<sup>-1</sup>, havendo uma subestimativa de 5,9%. Paredes e Torres (2017), observaram

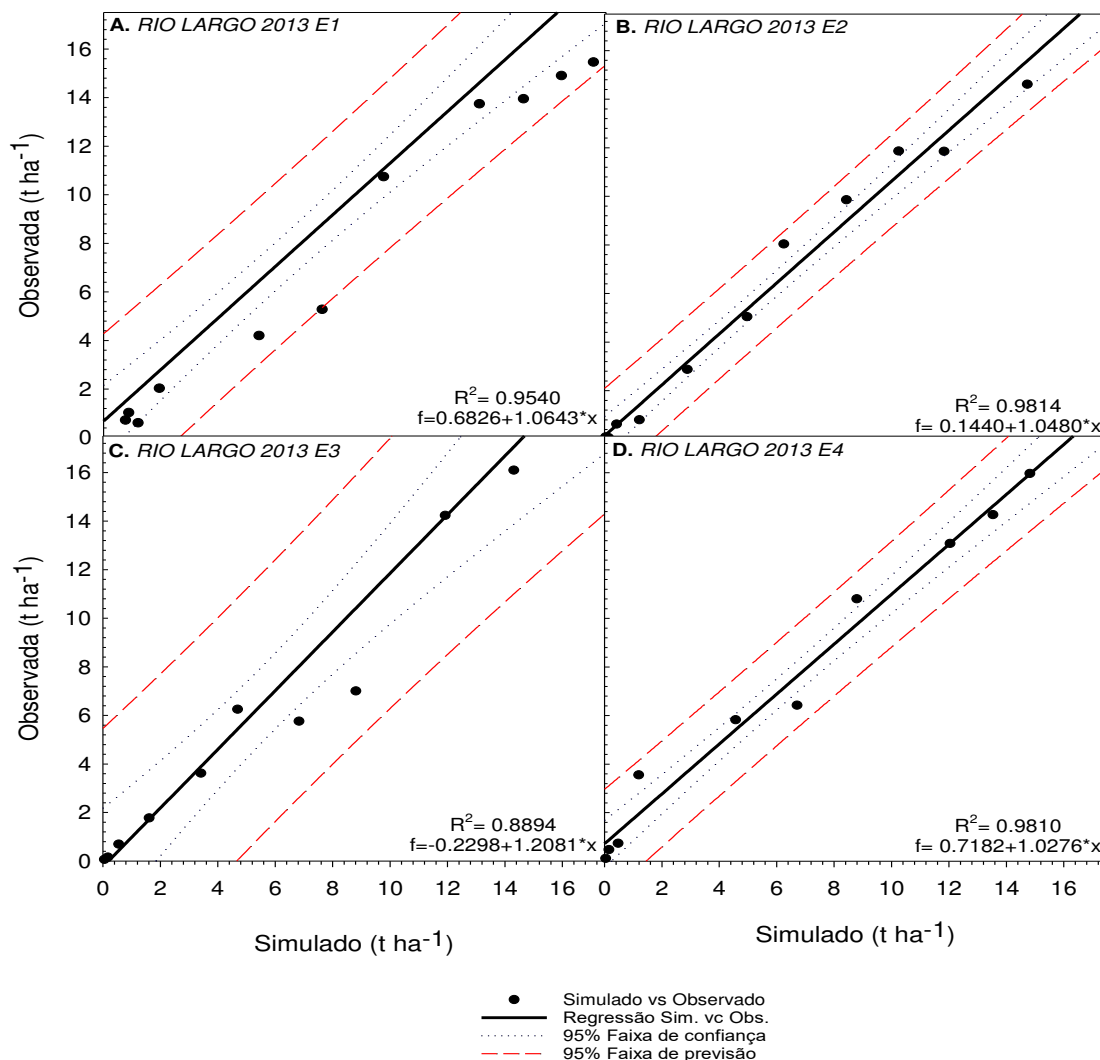


desvio entre a biomassa observada e simulada variando de 2% a -10,5%. Já na terceira época de plantio observa-se um aumento da porcentagem de desvio chegando a subestimar em 9,4% com rendimentos de grãos observado. Por fim, a quarta e última época de plantio apresentou a menor percentual de desvio com 1,9%, com rendimento de grãos observado de 5,6 t ha<sup>-1</sup>, enquanto o rendimento de grãos simulado foi de 5,8 t ha<sup>-1</sup>. De acordo com, Kumar (2018), os resultados da simulação gerados pelo modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> para rendimento de grãos e biomassa de milho são correlatos mesmo quando submetidos a diferentes níveis de irrigação. Corroborando com os experimentos realizados para validar e calibrar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> (Mebane *et al.* 2013; Katerji *et al.* 2013; Vila e Fereres 2012; Abedinpour *et al.* 2012; Hsiao *et al.* 2009; Heng *et al.* 2009), testaram com sucesso para rendimento de grãos e biomassa acumulada de milho em diferentes países e ciclos de cultivo.

#### 4.2.3. Regressão linear para acúmulo de biomassa durante a calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

Ao avaliar a regressão linear gerada através da comparação entre o acúmulo de biomassa acima da superfície do solo simulada e observada (Figura 13), para as quatro épocas de plantio utilizadas para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, observa-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), altamente similares com valores variando de 88,9 a 98,1% para E<sub>3</sub> e E<sub>2</sub>, respectivamente (Figuras 13C e 13B). De acordo com, Raja, Kanth e Singh (2018) em experimento realizado no Campus da Universidade Sher-e-Kashmir de Ciências Agrárias e Tecnologia da Caxemira, Shalimar, observaram coeficientes de determinação para calibração do modelo de 74,7%, seguindo a mesma tendência, Araya *et al.* (2010B) relataram valores de coeficiente de determinação superiores a 80% ao simular biomassa acima do solo de cevada, assim como, Stricevic *et al.*, (2011) encontraram valores de  $R^2$  superiores a 84% ao simular a produção de milho, corroborando, portanto, com os resultados encontrados na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

Diversos estudos utilizam a regressões lineares para avaliar os dados gerados pelo *AquaCrop*<sup>®</sup> ao simula o rendimento final de grãos e biomassa de milho (KATERJI *et al.*, 2013; MEBANE *et al.*, 2013).



Fonte: Autor (2019)

**Figura 13.** Análise de regressão para biomassa acumulada acima do solo simulada e observada em quatro épocas de plantio (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>), em Rio Largo, Alagoas para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

#### 4.2.4. Análise estatística para o acúmulo de biomassa gerado na calibração através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

Os dados observados em campo provenientes do experimento utilizado para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, foram confrontados com os dados simulados, e comparados estatisticamente por meio de testes como o índice de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE), para verificar a aplicabilidade do software na região de estudo (Tabela 7).

Diante do exposto, observou-se a variação do índice de concordância Willmont (d) oscilando de 0,95 (E<sub>3</sub>) até 0,99 (E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>), respectivamente, enquanto a primeira época de plantio apresentou índice de concordância de 0,98, aferindo, portanto, a concordância existente entre os dados observados em campo e simulados através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, indicando proximidade da exatidão por aproximasse a 1,0. Em trabalhos semelhantes, Xu *et al.* (2019), observaram variações no índice de concordância de 0,998 em 2012 e 0,996 em 2013, enquanto Hsiao *et al.* (2009) ao parametrizar e validar o modelo, observaram índice de concordância Willmont variando de 0,915 a 0,999, corroborando, portanto, com os resultados observados para calibração do modelo. Enquanto o coeficiente de correlação de Pearson (r) apresentou excelentes associações para todas as épocas de plantio havendo, portanto, uma alta correlação entre os dados de acúmulo de biomassa observada e simulada, variando de 0,94 (E<sub>3</sub>) a 0,99 (E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>).

O índice de confiança (c) foi classificado levando em consideração o desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, como ótimo por apresentar valores superiores a 0,85 para todas as épocas de plantio, variando de 0,89 (E<sub>3</sub>) a 0,98 (E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>). No entanto, os valores do RMSE foram relativamente baixos variando de 1,09 a 2,49 t ha<sup>-1</sup> para (E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub>) respectivamente, demonstrando um bom desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Os resultados observados por Xu *et al.* (2019) de RMSE relacionando o acúmulo de biomassa acima do solo simulado e observado foram de 0,52 t ha<sup>-1</sup> em 2012 e 0,61 t ha<sup>-1</sup> em 2013, já Hsiao *et al.* (2009) ao parametrizar e validar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> para a cultura do milho observou RMSE variando entre 0,58 t ha<sup>-1</sup> a 6,18 t ha<sup>-1</sup>, corroborando os resultados encontrados nesta pesquisa.

**Tabela 7.** Avaliação estatística de simulações e observações de acúmulo de biomassa para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, utilizando índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.

Local/ Data de Plantio	Calibração			
	d	r	c	RMSE (t ha <sup>-1</sup> )
Rio Largo - 28/06/2013	0,98	0,98	0,95	1,74
Rio Largo - 08/07/2013	0,99	0,99	0,98	1,09
Rio Largo - 18/07/2013	0,95	0,94	0,89	2,49
Rio Largo - 29/07/2013	0,99	0,99	0,98	1,20

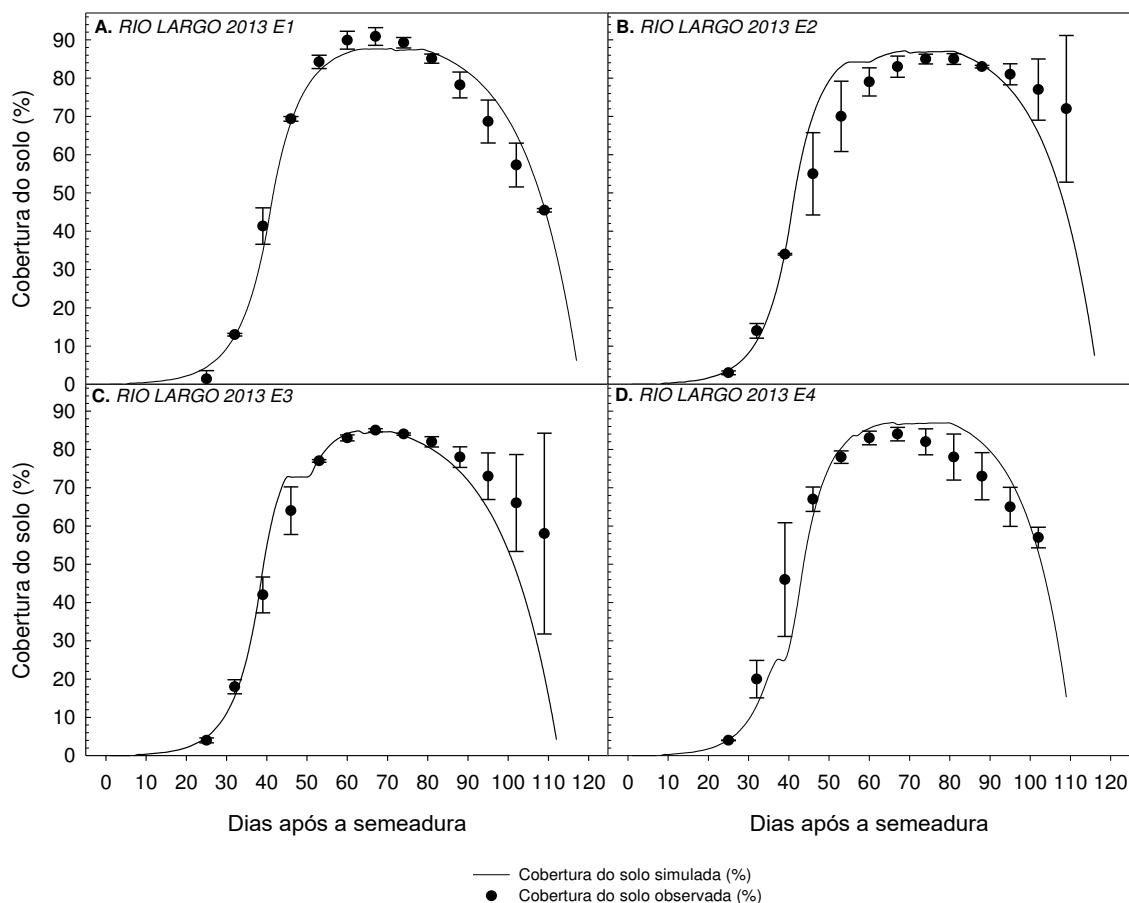
Fonte: Autor (2019)

#### 4.3. Cobertura do solo durante a calibração

As simulações de cobertura do solo para primeira época de plantio (Figura 14A) apresentaram alta concordância entre os valores observados em campo e os simulados através do modelo, nas avaliações realizadas aos 60, 67, 74 e 81 DAS, observou-se coberturas do solo simuladas de 86,6; 87,6; 87,3 e 86,8%, enquanto as observadas foram 89,9; 90,9; 89,2 e 85,1%, com variação de desvio padrão 2,3; 2,3; 1,4 e 1,2, para as quatro respectivas avaliações. Do mesmo modo, para segunda época de plantio (Figura 14B) aos 25, 32 e 39 DAS, observou-se desvio padrão de 0,5; 1,9 e 0,2, atingindo cobertura do solo simulada de 3,7; 11,3 e 34,3%, ao passo que, a cobertura do solo observada foi de 3,0; 14,0 e 34,0%, respectivamente, resultados semelhantes aos observados por Greaves e Wang, (2016) com a cultura da batata. Similarmente, a terceira época de plantio (Figura 14C) aos 53, 60, 67 e 74 DAS, observou-se desvio padrão de 0,3; 0,8; 0,4 e 0,3, acumulando cobertura acima do solo simulada de 77,5; 84,1; 84,4 e 83,6%, enquanto a cobertura acima do solo observada foi de 77,0; 83,0; 85,0 e 84,0%, respectivamente.

Já para a quarta e última época de plantio (Figura 14D) aos 53, 60 e 67 DAS os resultados de cobertura acima do solo simulada foi 80,3; 85,5 e 86,5% à medida que, os valores observados foram 78,0; 83,0 e 84,0% apresentando desvio padrão de 1,6; 1,8 e 1,8 para os três respectivos pontos avaliados. Andarzian *et al.* (2011) em estudos com trigo no Irã, também observaram valores de cobertura do solo geralmente

superestimados desde a senescência até o final da safra. Resultados satisfatórios corroboram com o presente estudo, com o emprego do mesmo modelo com diferentes culturas, tais como culturas de cevada (ARAYA *et al.*, 2010B) e milho, tomate e batata (CASA *et al.*, 2013 KATERJI *et al.*, 2013).



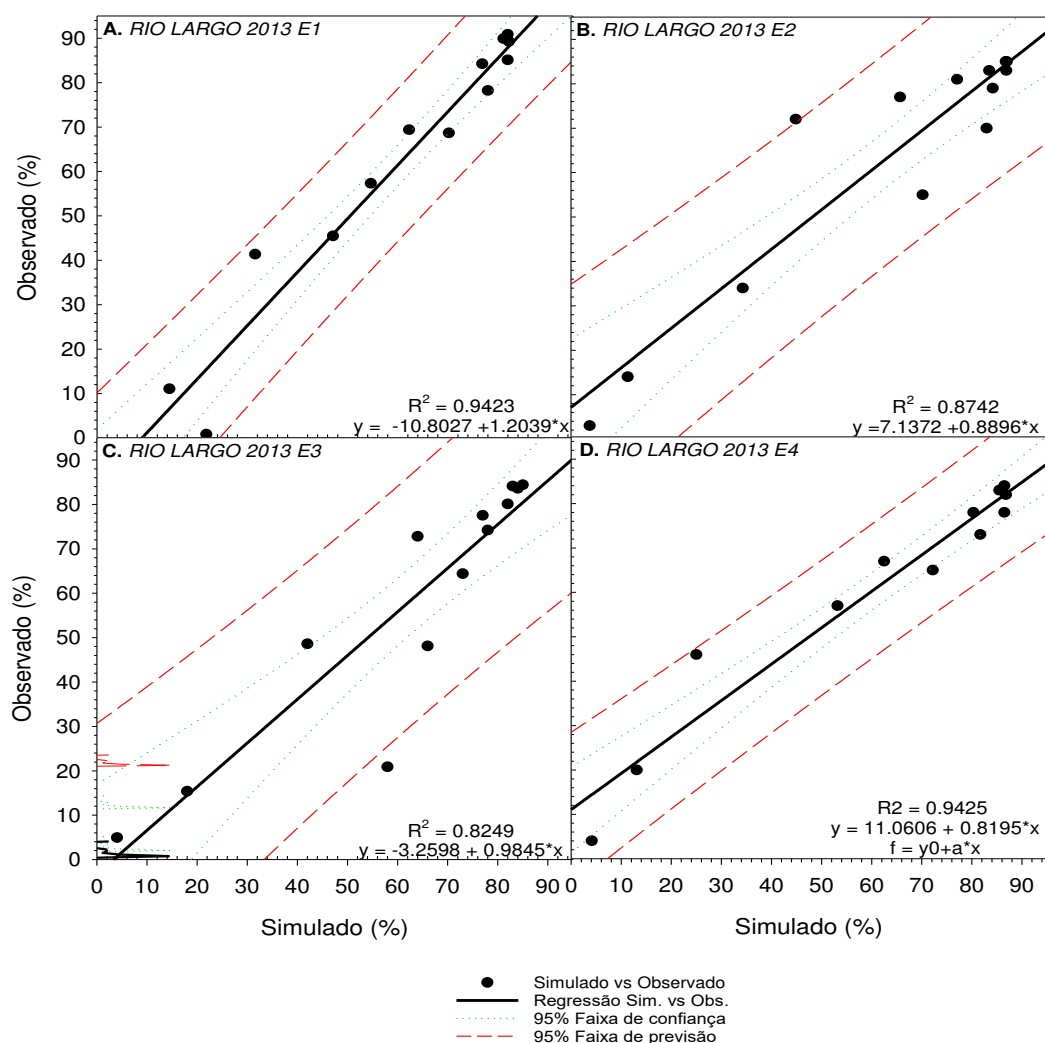
Fonte: Autor (2019)

**Figura 14.** Cobertura do solo (%) observada (pontos) e simulada (linha sólida) para quatro épocas de plantio de milho, cultivado em Rio Largo, Alagoas, no ano de 2013 para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

#### 4.3.1. Regressão linear para cobertura do solo durante a calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

Com a finalidade de averiguar os resultados observados acima, realizou-se as análises de regressão linear para cobertura do solo simulada e observada, para as quatro épocas de plantio de milho utilizadas para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> (Figura 15). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou de 0,82 (Figura 15C) a 0,94 (Figura 15A e 15D) para (E<sub>3</sub>) e (E<sub>1</sub> e E<sub>4</sub>), respectivamente.

Corroboram com os resultados observados no presente trabalho, pesquisas desenvolvidas por Xu *et al.* (2019), durante os anos de 2012 e 2013 com a cultura do arroz na estação experimental de drenagem na Província de Jianguo – China, os quais observaram  $R^2$  para as relações lineares entre as coberturas do solo observadas e simuladas foram 0,9664 e 0,9848 em 2012 e 2013, respectivamente. Apresentando, portanto, erro na simulação de cobertura do solo semelhante à maioria dos resultados simulados através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> utilizando diferentes culturas (BELLO e WALKER, 2017; MALIK *et al.*, 2017; SHRESTHA *et al.*, 2013).



Fonte: Autor (2019)

**Figura 15.** Curva de regressão da cobertura do solo simulada e observada durante quatro épocas de plantio para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

#### 4.3.2. Análise estatística para a cobertura do solo gerados na calibração através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

O índice de concordância Willmont (d) variou de 0,94 (E<sub>3</sub>) até 0,99 (E<sub>1</sub>), enquanto na segunda e quarta época de plantio foi de 0,97 e 0,98, respectivamente, ratificando, portanto, a concordância existente entre os dados observados em campo e simulados através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Em pesquisas desenvolvidas com arroz na China, Xu *et al.* (2019), observou índice de concordância de 0,98, apresentando um desempenho para simulação de cobertura do solo excelente de acordo com, Jamieson *et al.* (1991).

O Coeficiente de Correlação de Pearson (r) apresentou excelentes associações para todas as épocas de plantio havendo alta correlação entre os dados de cobertura do solo observada e simulada, variando de 0,97 (E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>) a 0,99 (E<sub>1</sub>). Por consequência, o índice de confiança (c) que classifica o desempenho do modelo para as simulações de cobertura do solo foi classificado como ótimo por apresentar índices superiores a 0,85 para todas as épocas de plantio, variando de 0,91 (E<sub>3</sub>) a 0,98 (E<sub>1</sub>).

**Tabela 8.** Avaliação estatística de simulações e observações de cobertura do solo para calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, utilizando o índice de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho em Alagoas.

Local/ Data de Plantio	Calibração			
	d	r	c	RMSE (%)
Rio Largo - 28/06/2013	0,99	0,99	0,98	4,32
Rio Largo - 08/07/2013	0,97	0,97	0,94	10,13
Rio Largo - 18/07/2013	0,94	0,97	0,91	12,15
Rio Largo - 29/07/2013	0,98	0,97	0,95	7,98

Fonte: Autor (2019)

No entanto, os valores do RMSE foram relativamente baixos variando de 4,3 a 12,1% para (E<sub>1</sub> e E<sub>3</sub>), respectivamente, demonstrando o bom desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Xu *et al.* (2019), observaram RMSE para a cobertura do solo de 3,6% e 4,2%, respectivamente. Resultado semelhante também foi observado por Bello e Walker (2017) e Saadati *et al.* (2011). Já Ran *et al.* (2018), observaram resultados que

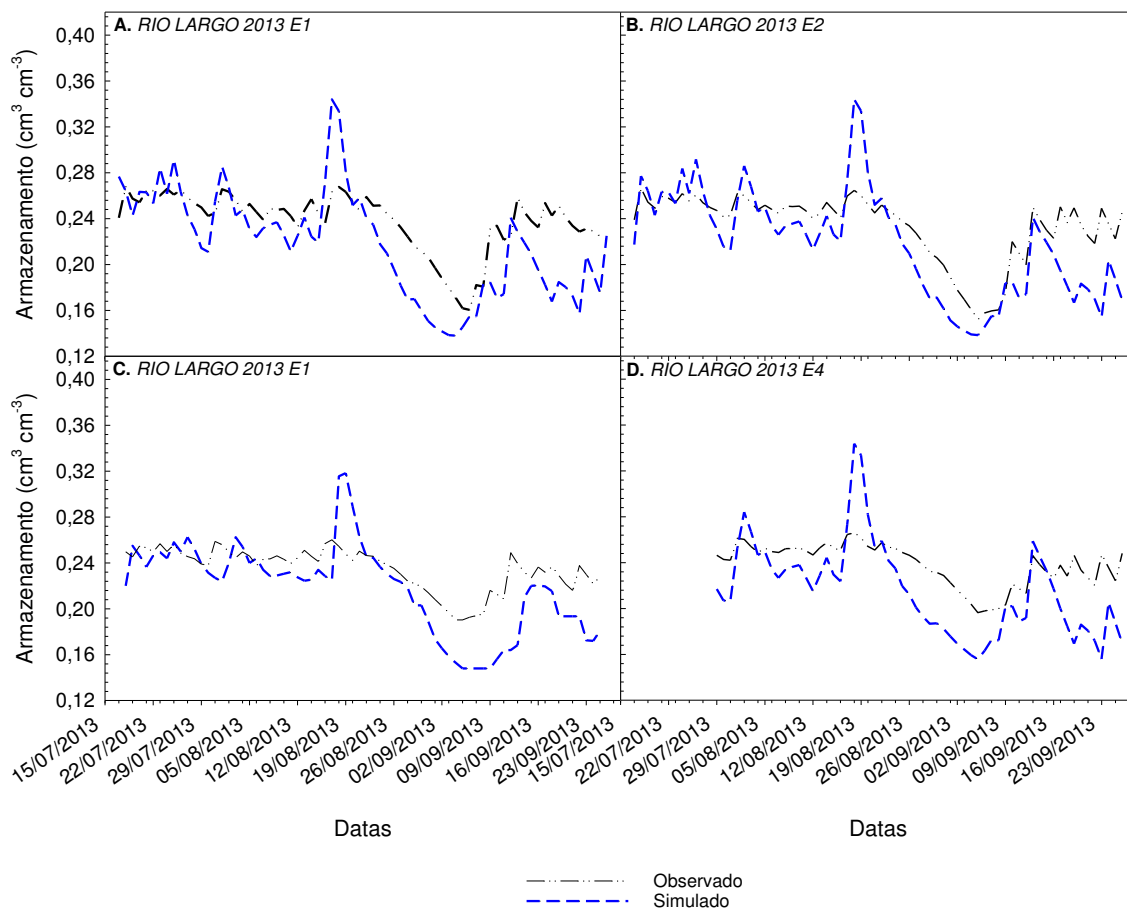
corroboram com os que foram demonstrados nesta pesquisa, com RMSE médio de 12,9%, além de observarem durante a parametrização do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> para os tratamentos de irrigação RMSE variando de 3,7% a 26,3%.

#### 4.4. Armazenamento de água no solo durante a calibração

Sarmento (2015) quantificou a precipitação pluvial para os quatro ciclos cultivados em 846,8; 678,9; 635,8 e 551,4 mm, respectivamente. Embora os valores precipitados na área atendessem a demanda hídrica da cultura houve necessidade de suplementação de água por meio da irrigação devido à irregularidade das chuvas apresentando veranicos esporádicos. Com o incremento de irrigação totalizou uma oferta hídrica de 943,9; 850,8; 818,8 e 740,1 mm para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>, respectivamente. A irrigação foi necessária para evitar a ocorrência de estresse hídrico, com consequente prejuízo do desenvolvimento da cultura principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos (VELOSO *et al.*, 2009).

A Figura 16 mostra os resultados da simulação para o total de água no solo (0-30 cm) nas quatro épocas de cultivo. Os valores simulados, bem como os observados, se mostraram correlatos ao abastecimento de água no solo (irrigação e chuva) seguindo a tendência dos valores observados. Em todas as épocas de plantio observa-se a orientação de subestimativa dos resultados simulados em relação aos observados. Todavia, observou-se um único valor destoante no dia 12/09/2013 com o conteúdo de água simulado de 0,249 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, enquanto o observado foi de 0,164 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, subestimando os valores observados em 34,14%, no entanto, neste dia houve um evento esporádico de precipitação pluvial totalizando 26,4 mm demonstrando a sensibilidade do modelo em simular o conteúdo de água no solo instantâneo. Wang *et al.* (2018), ao calibrar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> para cultura do milho na China utilizando umidade média do solo em 0-100 cm de profundidade obteve valores semelhantes ao encontrados com presente trabalho, já Salazar *et al.* (2009) afirmaram que os valores simulados do teor de água no solo seguem de perto a tendência dos valores observados, embora existam casos em que os erros são muito elevados aumentando, portanto, o que o desvio padrão.





Fonte: Autor (2019)

**Figura 16.** Armazenamento de água no solo simulado (linha pontilhada azul) e observado (linha sólida preta), para as quatro épocas de plantio de milho utilizadas para calibrar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

A avaliação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> para os parâmetros estatísticos utilizados estão dispostos na Tabela 9 contemplando os totais de armazenamento de água no solo (observado e simulado).

O índice de concordância de Willmont foi de 0,65 e 0,82 para a quarta e segunda época de plantio, respectivamente, já a primeira e terceira época de plantio apresentaram índices de concordância de 0,75 e 0,70 indicando uma boa concordância entre os valores. Em estudos realizados por Wang *et al.* (2018), observaram eficiência do modelo acima de 0,696 chegando até 0,805, enquanto Ran *et al.* (2018) observaram índices de concordância de 0,854, o que indica uma precisão aceitável na simulação, corroborando com os resultados observados nestas simulações.

O Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ) variou de 0,77 até 0,80 para primeira/quarta e segunda época de plantio. O desempenho do modelo foi classificado

como regular ao avaliar o índice de confiança (c) de (0,58; 0,56 e 0,50) para a primeira, terceira e quarta época de plantio, respectivamente e mediano (0,66) para segunda época de plantio. Já os valores de RMSE foram relativamente baixos variando de 0,03 a 0,04  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  para terceira e quarta época respectivamente, enquanto para primeira e segunda época de plantio o RMSE observado foi de 27,4 e 31,0  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , respectivamente. Enquanto, Ran *et al.* (2018) de 33,1 mm durante a validação e em diferentes tratamentos de lâminas de irrigação observou-se RMSE de 15,6 mm.

**Tabela 9.** Avaliação estatística entre as simulações e observações de armazenamento de água no solo para a calibração do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, utilizando o índice de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.

Local/ Data de Plantio	Calibração			
	d	r	c	RMSE ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
Rio Largo - 28/06/2013	0,75	0,77	0,58	27,45
Rio Largo - 08/07/2013	0,82	0,80	0,66	31,04
Rio Largo - 18/07/2013	0,70	0,79	0,56	0,03
Rio Largo - 29/07/2013	0,65	0,77	0,50	0,04

Fonte: Autor (2019)

#### 4.5. Variáveis meteorológicas durante a validação

##### 4.5.1. Regiões de Arapiraca, Pão de Açúcar e Rio Largo, em Alagoas

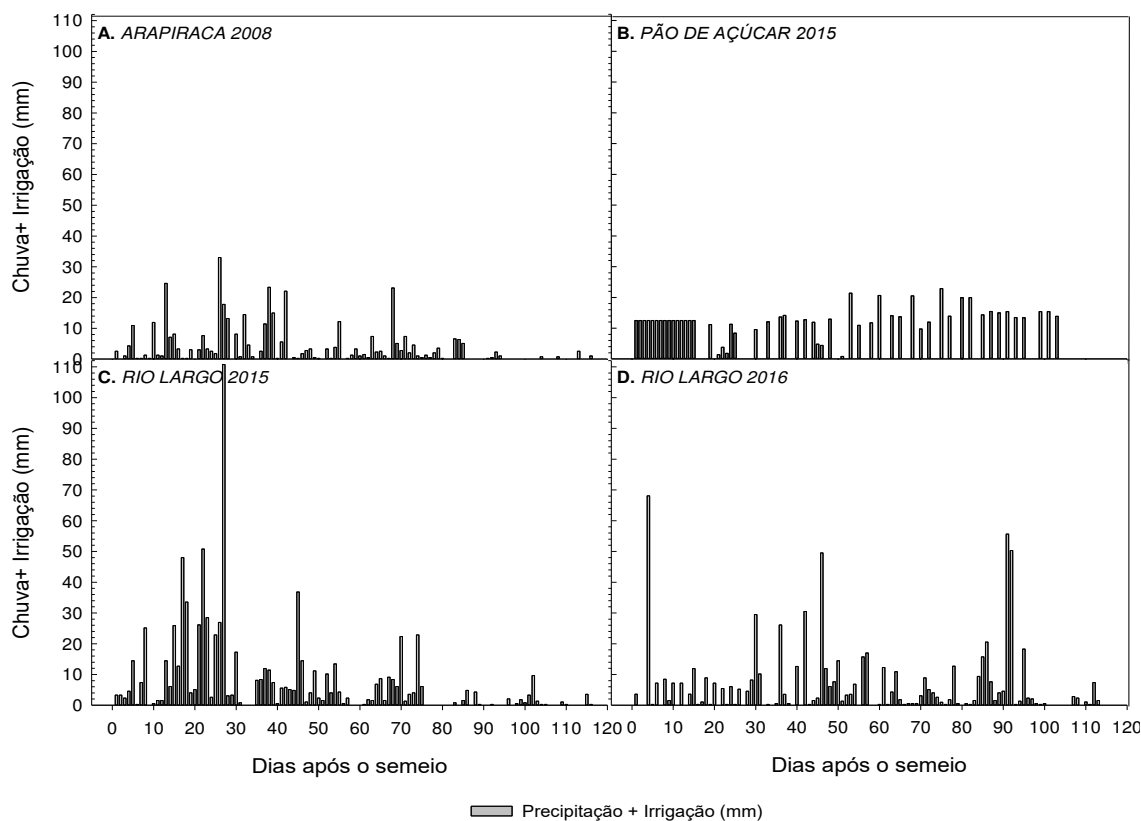
No município de Arapiraca, no ano de 2008 (Figura 17A), observou-se durante o ciclo de cultivo do milho, na terceira época de plantio (10 de junho de 2008) a precipitação pluvial total de 385,8 mm, registrando ocorrência de chuva em 71,8% do ciclo da cultura, com intensidade média de 4,8  $\text{mm d}^{-1}$ , totalizando 80 dias com eventos de chuva.

O município de Pão de Açúcar, AL no ano de 2015 (Figura 17B) apresentou a maior restrição hídrica para o período de cultivo de milho, a validação do modelo teve a maior dispersão dos resultados quando comparada com os outros ambientes de cultivo devido à baixa disponibilidade de água. Observou-se durante o ciclo de cultivo do milho para a segunda época de plantio a precipitação pluvial total de 32,8 mm, vários pesquisadores relatam que o desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> não é satisfatório

quando submetido a condições severas de estresse hídrico para diversas culturas como: milho (PAREDES *et al.*, 2014; KATERJI *et al.*, 2013; HSIAO *et al.*, 2009; HENG *et al.*, 2009), girassol (TODOROVIC *et al.*, 2009), quinoa (GEERTS *et al.*, 2009), algodão (FARAHANI *et al.*, 2009) e canola (ZELEKE *et al.*, 2011). Ao incrementar a irrigação para esta região de cultivo, observou-se o total de precipitação pluvial mais irrigação de 678,0 mm para o ciclo de cultivo, registrando a ocorrência de chuva ou irrigação em 46,1% dos dias, com intensidade média de 5,8 mm d<sup>-1</sup>.

Já para o município de Rio Largo, AL no ano de 2015 (Figura 17C) a validação foi realizada utilizando apenas dados de precipitação pluvial, já que não houve suplementação artificial de água para a cultura. Porém, o plantio foi realizado no período chuvoso da região que de acordo com Souza *et al.* (2004), se estende da primeira quinzena de abril à segunda quinzena de agosto, cuja chuva corresponde a 70% do total anual. Nesta estação experimental observou-se o acúmulo total de precipitação pluvial de 823,5 mm ciclo<sup>-1</sup>, observando a ocorrência de chuva em 74,4% do período de cultivo, com intensidade média de 7,0 mm d<sup>-1</sup>.

Condições divergentes de cultivo para a mesma área experimental foram observadas no ano subsequente (Figura 17D), de acordo com Souza *et al.* (2004) a época correspondente a meados de outubro até a segunda quinzena de fevereiro se apresenta como a de menor incidência de precipitação pluvial, havendo, portanto, a necessidade de suplementação com irrigação. Nesta estação de cultivo observou-se um total de precipitação pluvial mais irrigação de 705,6 mm durante o ciclo da cultura, com ocorrência de entrada de água no sistema em 77,6% dos dias e intensidade média de 6,0 mm d<sup>-1</sup>.



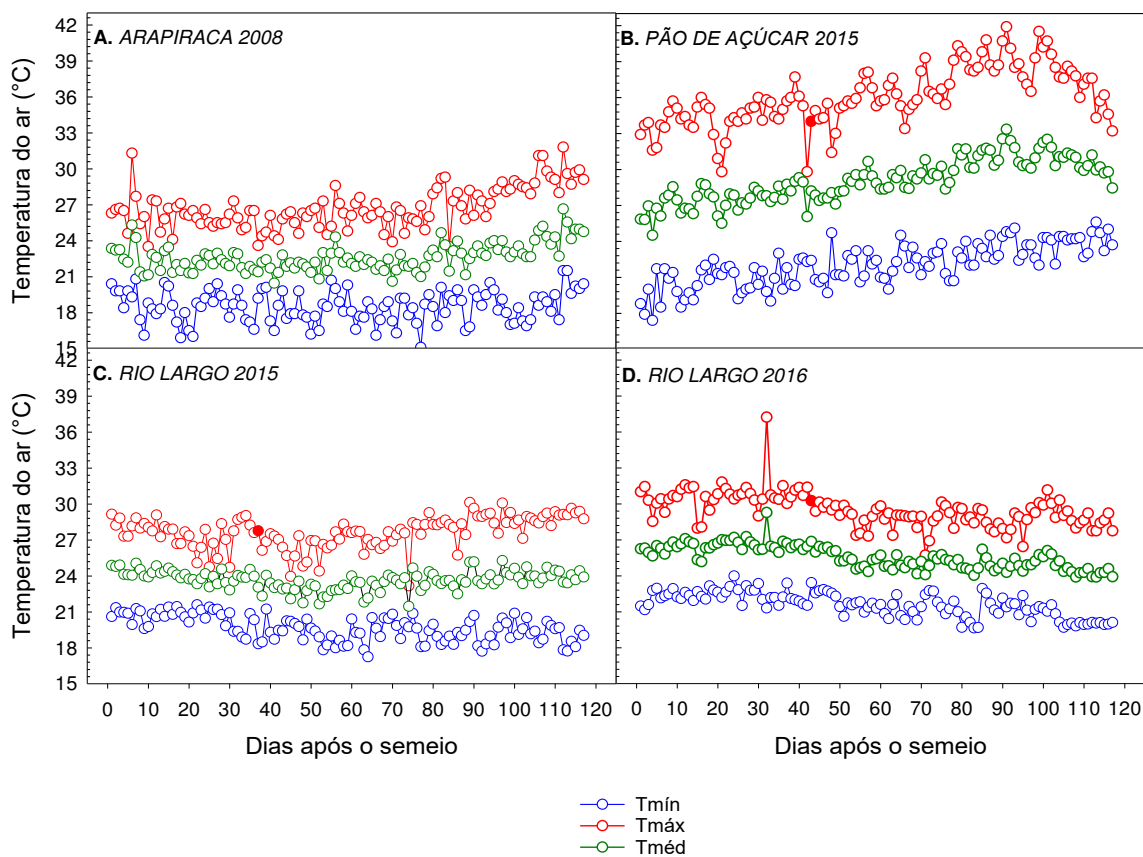
Fonte: Autor (2019)

**Figura 17.** Chuva mais irrigação diária em quatro regiões de cultivo nos anos de 2008, 2015 e 2016, no estado de Alagoas para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

A temperatura do ar durante o experimento utilizado para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> cultivado na região de Arapiraca, AL no ano de 2008 (Figura 18A) apresentou condições térmicas que estiveram fora da faixa classificada como ideal para o cultivo do milho, de acordo com, Fancelli (2001), as temperaturas ideais para cultivo se encontram entre 25 e 30 °C, logo, a temperatura média observada no período de cultivo foi de 22,6 °C, enquanto a máxima observada foi de 31,8 °C, e a mínima de 15,8 °C.

No experimento utilizado como parâmetro de entrada para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, conduzido em Pão de Açúcar no ano de 2015 (Figura 18B), a temperatura média observada foi de 29,1 °C apresentando máxima de 41,9 °C aos 91 DAS correspondendo ao estágio fenológico R5 (grão farináceo duro) e mínima de 17,4 °C aos 4 DAS antes da emergência da plântula.

No entanto, observaram-se condições ótimas para o desenvolvimento da cultura nos dois últimos anos conduzidos no município de Rio Largo, AL correspondendo a 2015 (Figura 18C) e 2016 (Figura 18D), respectivamente. Nestes experimentos observaram-se temperaturas médias de 23,6 e 25,5 °C, respectivamente, apresentando máximas de 30,1 e 37,2 °C, respectivamente, e mínimas de 17,2 e 19,6 °C, respectivamente. Apesar de ser na mesma região de cultivo, a elevada diferença nas temperaturas é justificada pela época de plantio em que os experimentos foram dispostos em campo.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 18.** Variação da temperatura do ar mínima (Tmín), média (Tméd) e máxima (Tmáx, °C) para quatro regiões de cultivo nos anos de 2008, 2015 e 2016.

#### 4.6. Variáveis de crescimento durante a validação

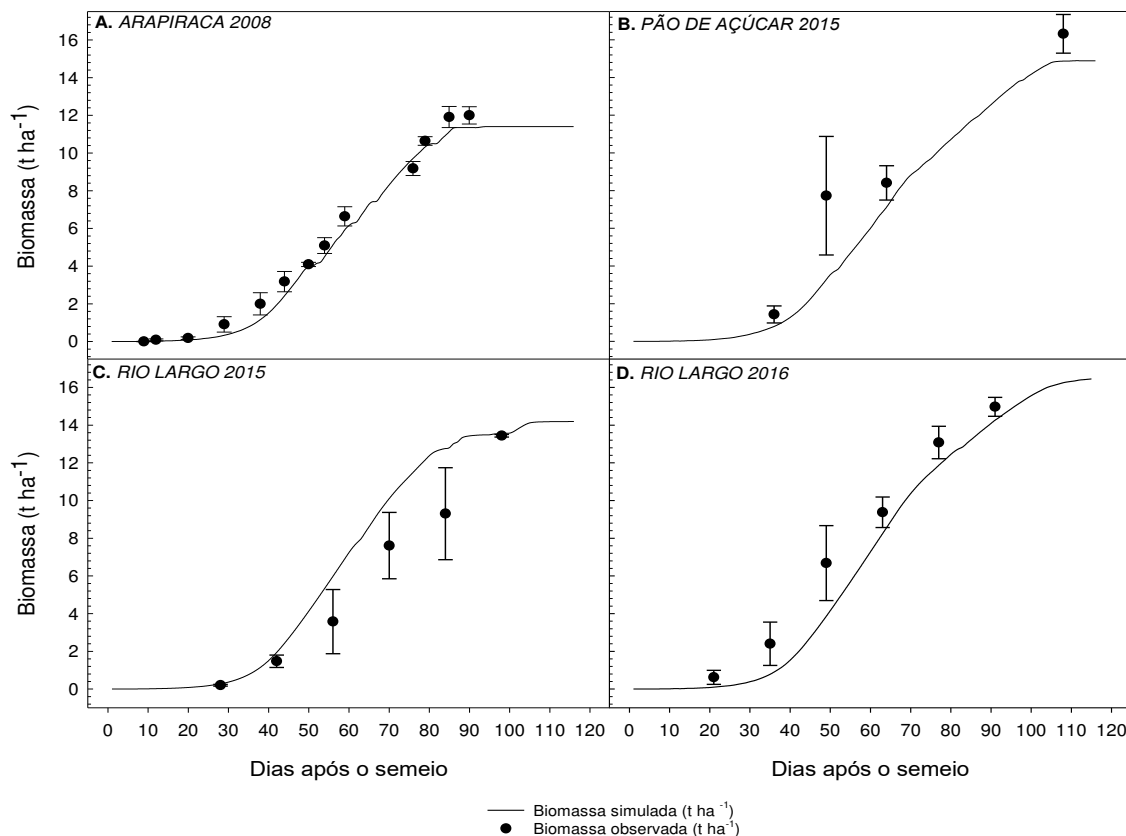
##### 4.6.1. Acúmulo de biomassa durante a validação

Com a finalidade de validar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> utilizando como parâmetro a interação existente entre o acúmulo de biomassa observada e simulada, utilizaram-se quatro experimentos conduzidos em três regiões distintas ao longo de quatro anos de

cultivo no estado de Alagoas (Figura 19), as interações observadas entre simulações e observações foram satisfatórias a medida em que são atendidas toda necessidade hídrica da cultura, em pesquisas conduzidas por Heng *et al.*, (2009) e Hsiao *et al.*, (2009), com milho mostram que o *AquaCrop*<sup>®</sup> não gera bons resultados se houver estresse hídrico durante o ciclo de cultivo.

Já a interação apresentada durante o cultivo do experimento conduzido em Arapiraca no ano de 2008 para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, se destaca por dispor de uma excelente correlação entre todos os pontos observados quando comparados com os simulados, os resultados encontrados no presente estudo, são corroborados com os observados por Salemi *et al.* (2011), que mostram as interferências no acúmulo e biomassa e rendimento de grãos gerados pela variação nas condições climáticas, variedade plantada, e a estratégia de irrigação durante o ciclo de cultivo.

Os índices de desvio padrão para a estação experimental de Arapiraca (Figura 19A) foram correlatos ao avaliar os dados observados e simulados, em que todos os treze pontos observados (9, 12, 20, 29, 38, 44, 50, 54, 59, 76, 79, 85 e 90 DAS) apresentam desvio padrão para o acúmulo de biomassa inferiores 0,59, resultando em um acúmulo total de biomassa observado de 12,0 t ha<sup>-1</sup> enquanto o simulado foi de 11,3 t ha<sup>-1</sup>. O baixo desvio padrão está diretamente relacionado com as interações entre os níveis de irrigação, o potencial hídrico do solo, os componentes da água no solo e a fertilidade que afetam o desenvolvimento da cultura do milho (AMIRI, *et al.* 2016; PAREDES *et al.* 2014; SHRESTHA *et al.* 2013;). Ao atender esses requisitos, observa-se a redução do erro e o aumento da similaridade entre os pontos de acúmulo de biomassa simulados e observados.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 19.** Dados observados (pontos com desvio padrão) e simulado (linha sólida) de biomassa (t ha<sup>-1</sup>) em quatro regiões de cultivo nos anos de 2008, 2015 e 2016, no estado de Alagoas para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

Os dados do experimento conduzido em Pão de Açúcar no ano de 2015 para validar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, foram apresentados em quatro pontos com acúmulo de biomassa observada aos 36, 49, 64 e 108 DAS, (Figura 19B) dispendo das seguintes taxas de desvios padrão 0,4; 3,1; 0,9 e 1,0, respectivamente, o acúmulo de biomassa observado foi de 1,4; 7,7; 8,4 e 16,3 t ha<sup>-1</sup>, ao passo que, o acúmulo simulado foi de 0,8; 3,3; 7,1 e 14,9 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O maior desvio padrão foi observado aos 49 DAS, para Ioslovich, Seginer e Gutman (2004), a justificativa deste evento destoante está relacionada com o grande número de parâmetros que normalmente afetam os complexos processos de acúmulo de biomassa, sendo difícil identificar quais parâmetros devem ser modificados, e devido à qualidade dos dados.

No município de Rio Largo nos anos de 2015 e 2016, (Figuras 19C e 19D) apresentaram comportamentos distintos, no primeiro houve uma superestimativa em todos os pontos simulados quando comparados com os observados, devido ao excesso

de precipitação pluvial apesar de não haver irrigação suplementar, com observações pontuais realizadas aos 28, 42, 56, 70, 84 e 98 DAS, observou-se o maior desvio padrão aos 84 DAS e o menor aos 98 DAS, com acúmulo de biomassa total observado de 9,3 e 13,4 t ha<sup>-1</sup>, enquanto o acúmulo de biomassa simulada para os mesmos pontos foram de 12,8 e 13,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

No experimento realizado em 2016 (Figura 19D) na mesma região de cultivo com irrigação suplementar observou-se subestimativa dos valores simulados em relação aos observados, em seis pontos coletados ao longo do ciclo de cultivo, o qual apresentou erro padrão máximo aos 49 DAS com o acúmulo de biomassa observado de 6,7 t ha<sup>-1</sup>, e simulado de 3,9 t ha<sup>-1</sup>. Enquanto, o menor desvio padrão durante o ciclo foi aos 21 DAS com 0,6 t ha<sup>-1</sup> de biomassa observada e 0,1 t ha<sup>-1</sup> de biomassa simulada, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho Katerji *et al.* (2013) e Montoya *et al.* (2016) observaram tendencia semelhante ao trabalharem com milho e batata, respectivamente.

#### 4.6.2. Análise para o acúmulo de biomassa e rendimento de grãos gerados na validação através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

O acúmulo de biomassa total dos experimentos utilizados para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, foram comparados com os observados em campo (Tabela 10), no primeiro experimento realizado em Arapiraca no ano de 2008, observou-se uma percentagem de desvio padrão de -5,9%, com biomassa acumulado observada de 12,0 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a simulada foi de 11,4 t ha<sup>-1</sup>. A segunda estação experimental em Pão de Açúcar no ano de 2015 obteve percentagem de desvio de -5,9%, com acúmulo de biomassa observada de 16,3 t ha<sup>-1</sup> e simulado de 14,9 t ha<sup>-1</sup>. Para a terceira estação de cultivo, em Rio Largo no ano de 2015, a percentagem de desvio padrão foi de -9,4%. Assim como, na quarta estação experimental, localizada em Rio Largo no ano de 2016, apresentando acúmulo de biomassa observado de 13,4 t ha<sup>-1</sup> enquanto o simulado foi de 14,2 t ha<sup>-1</sup>, resultando em uma percentagem de desvio de 1,9%. Para Abedinpour (2012), a boa simulação gerada pelo modelo está relacionada com a não limitação de variáveis, em simulações sob condições ideais de fertilizantes, nível de água (seja por meio de precipitação pluvial ou irrigação), fazem com que as previsões de biomassa acima do solo estejam muito próximas dos valores observados em campo.



Posteriormente, avaliou-se o desempenho do modelo para o rendimento total de grãos nos quatro experimentos conduzidos para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Houve subestimativa na primeira e quarta época de plantio em 7,6 e 1,8%, respectivamente, enquanto o modelo superestimou em 1,7 e 2,1% a segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente (Tabela 10).

Essas diferenças constatadas entre o rendimento observado e simulado podem ser explicadas por variações nas condições climáticas ao longo do ciclo ou safra de cultivo (PAREDES, 2015). Algumas variáveis podem interferir diretamente nesta quantificação, como a temperatura ao longo do ciclo de cultivo, altas amplitudes térmicas (diurnas e noturnas) e diferenças no manejo, como discutido por Tao *et al.* (2008) e Puteh *et al.* (2013), em experimentos conduzidos na Malásia em situações de estresse de alta temperatura durante o a fase reprodutiva da cultura do milho.

**Tabela 10.** Rendimentos de biomassa e grãos observados e simulados para validação em três municípios do estado de Alagoas em quatro anos de cultivo.

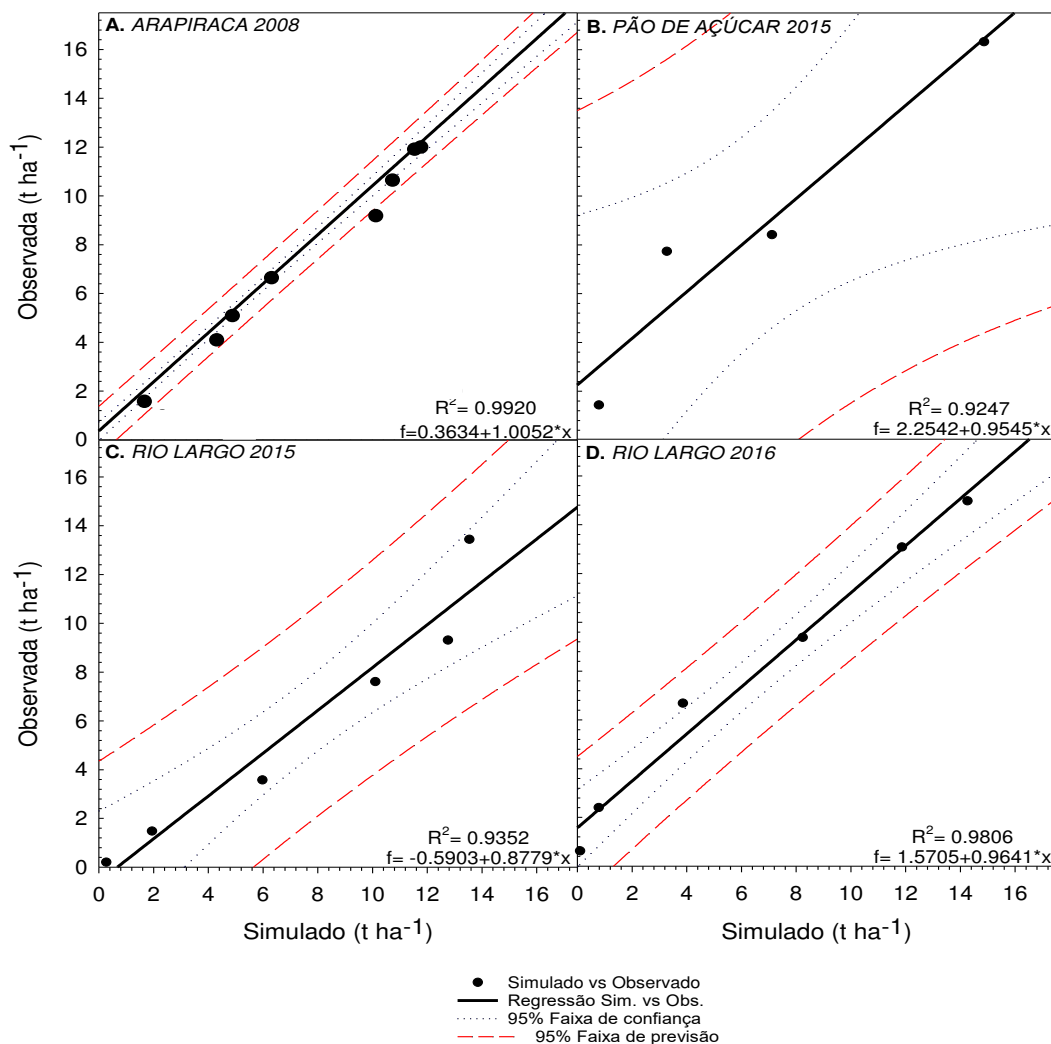
Data de plantio	Rendimento final de biomassa (t ha <sup>-1</sup> )			Rendimento final de grãos (t ha <sup>-1</sup> )		
	Observado	Simulado	% Desvio	Observado	Simulado	% Desvio
<b>Validação</b>						
Arapiraca 10/06/2015	12,00	11,40	-5,00	4,09	3,78	-7,58
Pão de Açúcar 25/08/2015	16,32	14,89	-8,76	5,30	5,39	1,70
Rio Largo 08/06/2015	13,44	14,19	5,58	3,78	3,86	2,12
Rio Largo 25/08/2016	14,97	16,45	9,89	6,70	6,58	-1,79

Fonte: Autor (2019)

#### 4.6.3. Regressão linear para acúmulo de biomassa durante a validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

A regressão linear foi avaliada relacionando o acúmulo de biomassa acima da superfície do solo, simulada e observada (Figura 20), nos quatro experimentos conduzidos para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, evidenciando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando 92,8 a 99,2% para os experimentos conduzidos em Pão de Açúcar, 2015 (Figura 20B) e Arapiraca, 2008 (Figura 20A), respectivamente, por outro lado, observou-se o coeficiente de determinação de 93,5 e 98,1% para as áreas experimentais localizadas em Rio Largo nos anos de 2015 e 2016 (Figura 20C e 20D), respectivamente. Karunaratne *et al.* (2011) observou o coeficiente de determinação,

variando de 72 a 83% ao simular o rendimento de amendoim, corroborando, portanto, com os resultados encontrados na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, classificando-os como bons para todas as estações experimentais.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 20.** Análise de regressão para biomassa acumulada acima do solo simulada e observada em quatro áreas experimentais localizadas no estado de Alagoas para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

#### 4.6.4. Análise estatística para o acúmulo de biomassa gerado na validação através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

Os dados observados em campo provenientes dos experimentos utilizados para validar o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, foram confrontados com os dados simulados (Tabela 11),

e comparados estatisticamente por meio de testes para verificar a aplicabilidade do software na região de estudo.

O índice de concordância Willmont (d) oscilou de 0,94 (Rio Largo, 2016) até 0,99 (Arapiraca 2008), respectivamente, enquanto o na estação experimental de Pão de Açúcar, 2015 foi de 0,95 e em Rio Largo 2015 foi de 0,96, aferindo, portanto, a concordância existente entre os dados observados em campo e simulados através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Em trabalhos semelhantes, Ran *et al.* (2018), observaram índice de concordância variando de 0,914 a 0,997, corroborando, com os resultados observados para validação do modelo. Sob o mesmo ponto de vista, o coeficiente de correlação de Pearson (r) apresentou excelentes associações para todas estações experimentais havendo, alta correlação entre os dados de acúmulo de biomassa observada e simulada, variando de 0,96 (E<sub>2</sub>) a 0,99 (E<sub>1</sub> e E<sub>4</sub>).

Analisou-se também o índice de confiança (c) para o desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, o qual foi classificado como ótimo por apresentar índices superiores a 0,85 para as estações experimentais utilizadas durante a validação, variando de 0,91 (E<sub>2</sub>) a 0,99 (E<sub>1</sub>), além de apresentar índices de confiança de 0,93 para (E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>). Enquanto, os valores do RMSE foram relativamente baixos variando de 0,1 a 1,8 t ha<sup>-1</sup> para o experimento conduzido em Rio Largo no ano de 2016 e Arapiraca no ano de 2008 respectivamente, demonstrando um bom desempenho do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Os resultados observados por Ran *et al.* (2018), constataram RMSE variando de 0,8 t ha<sup>-1</sup> a 3,9 t ha<sup>-1</sup>, corroborando os resultados encontrados nesta pesquisa.

**Tabela 11.** Avaliação estatística de simulações e observações de acúmulo de biomassa para a validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, utilizando índices de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoas.

Local/ Data de Plantio	Validação			
	d	r	c	RMSE (t ha <sup>-1</sup> )
Arapiraca - 10/06/2008	0,99	0,99	0,99	1,81
Pão de Açúcar - 25/08/2015	0,95	0,96	0,91	0,41
Rio Largo - 08/06/2015	0,96	0,97	0,93	0,50
Rio Largo - 25/08/2016	0,94	0,99	0,93	0,10

Fonte: Autor (2019)

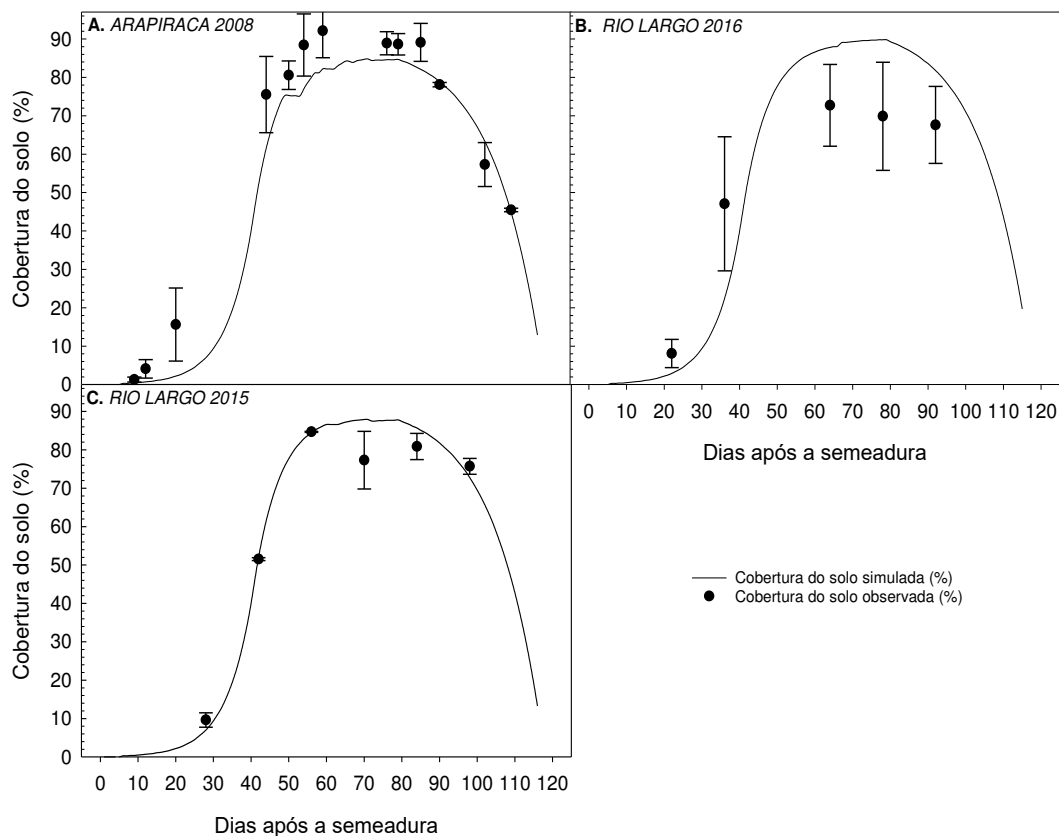
#### 4.7. Cobertura do solo durante a validação

A cobertura do solo simulada pelo modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> foi comparada com a cobertura do solo estimada através da fração da irradiação interceptada e índice de área foliar da cultura observado. Para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, utilizou-se os dados provenientes dos experimentos realizados em Arapiraca 2008, Rio Largo 2015/2016 (Figura 21). No entanto, não houve simulação desta variável para Pão de Açúcar, pois não se disponibilizou dados de índice de área foliar para estimativa da cobertura do solo desta estação experimental.

As simulações de cobertura do solo para a área experimental de Arapiraca 2008 (Figura 21A) apresentaram alta concordância entre os valores observados e simulados através do modelo, nas avaliações realizadas aos 59, 76 e 79 DAS, observou-se coberturas do solo simuladas de 82,2; 84,6 e 84,7%, enquanto as observações foram 92,1; 88,9 e 88,6%, com variação de desvio padrão 7,0; 3,0 e 2,8, para as três respectivas avaliações. Greaves e Wang, (2016), corroboram com os resultados observados.

Do mesmo modo, para a estação experimental de Rio Largo no ano de 2015 (Figura 21B), ao observarmos os pontos coletados aos 42, 56 e 70 DAS, os desvio padrão foram de 0,4; 0,1 e 7,5 com cobertura do solo simulada de 52,1; 84,5 e 87,9%, enquanto, a cobertura do solo observada foi de 51,5; 84,7 e 77,3%, respectivamente. O desempenho do modelo neste estudo foi correlato com as simulações realizadas por Heng *et al.* (2009); Abedinpour *et al.* (2012); Paredes *et al.* (2014), para o desenvolvimento de cobertura do solo utilizando a cultura do milho.

Na estação experimental situada em Rio Largo no ano de 2016 (Figura 21C) aos 64, 78 e 92 DAS, o desvio padrão foi de 10,7; 14,6 e 10,0, com cobertura acima do solo simulada de 87,8; 89,8 e 81,8%, ao passo que, a cobertura acima do solo observada foi de 72,7; 69,9 e 67,6%, respectivamente.



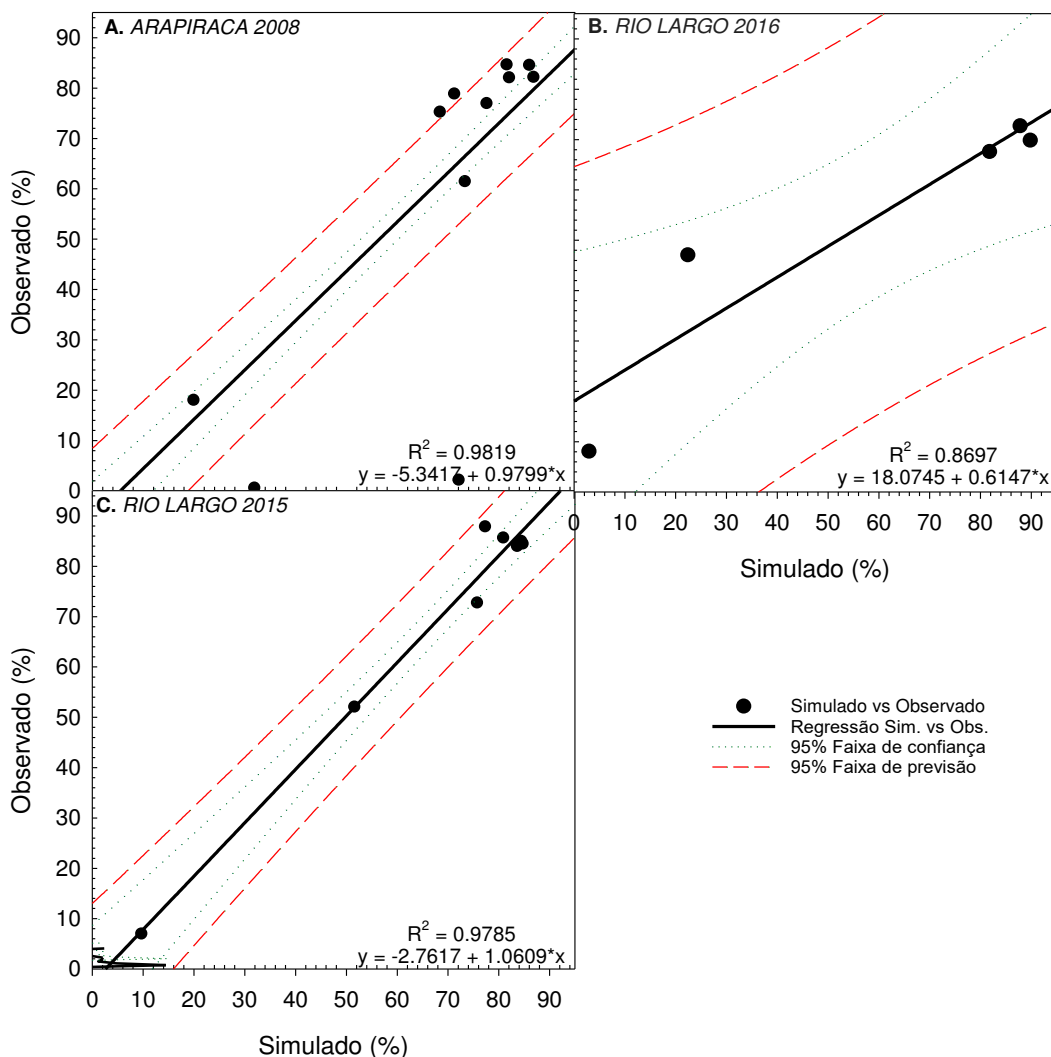
Fonte: Autor (2019)

**Figura 21.** Cobertura do solo (%) observada (pontos) e simulada (linha sólida) para três ciclos de cultivo de milho, no estado de Alagoas utilizados para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

A alta dispersão observada no ano de 2016, também foi observada por Linker e Ioslovich (2017), em experimentos realizados com batata na Dinamarca e algodão na Grécia, de acordo com os autores as previsões de cobertura do dossel nem sempre estão relacionadas com as melhores previsões de biomassa e vice-versa, devido ao fato de que o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> é um modelo fundamentalmente hidráulico no qual a radiação solar e a interceptação de luz não são consideradas explicitamente, de modo que o impacto geral da cobertura da copa no desenvolvimento da cultura pode ser subestimado.

#### 4.7.1. Regressão linear para cobertura do solo durante a validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

As relações lineares observadas a partir das análises de regressão para cobertura do solo simulada e observada, nas áreas experimentais utilizadas para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> estão dispostos na Figura 22. Para isso, foi observado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) os quais foram 0,869; 0,978 e 0,981 (Figura 22B, 22C e 22A) para as áreas experimentais localizadas em Rio Largo 2016, Rio Largo 2015 e Arapiraca 2008, respectivamente, representando bons coeficientes de determinação. Resultados semelhantes foram observados por Ran *et al.* (2018), em que o coeficiente de determinação foi de 0,818 em experimentos de campo conduzidos na cidade de Wuwei, Província de Gansu, Noroeste da China, utilizando a cultura do milho sob diferentes níveis de irrigação.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 22.** Curva de regressão da cobertura do solo simulada e observada durante três anos de cultivo para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>.

#### 4.7.2. Análise estatística para a cobertura do solo gerados na validação através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>

A análise estatística dos dados observados em campo provenientes do experimento utilizado para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> (Tabela 12), foram confrontados com os dados simulados e comparados por meio de testes para identificar a aplicabilidade do modelo nas regiões de estudo.

Para tal, observou-se o índice de concordância Willmont (d) variando de 0,92 até 0,99 para os experimentos conduzidos em Rio Largo 2016, Arapiraca 2008 e Rio Largo 2015, respectivamente demonstrando, portanto, a concordância existente entre os dados observados em campo e simulados através do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>. Corroboram com os resultados observados, os trabalhos desenvolvidos no Marrocos por Toumi *et al.* (2016) com a cultura do trigo, no qual observou coeficiente de determinação 0,89.

**Tabela 12.** Avaliação estatística de simulações e observações de cobertura do solo para validação do modelo *AquaCrop*<sup>®</sup>, utilizando o índice de concordância Willmont (d), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de confiança (c) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) para o cultivo de Milho no estado de Alagoa

Local/ Data de Plantio	Validação			
	d	r	c	RMSE (%)
Arapiraca - 10/06/2008	0,99	0,99	0,98	0,12
Rio Largo - 08/06/2015	0,99	0,99	0,98	0,20
Rio Largo - 25/08/2016	0,92	0,93	0,86	0,06

Fonte: Autor (2019)

O coeficiente de correlação de Pearson (r) apresentou alta correlação entre os dados de cobertura do solo observada e simulada, em todas as áreas experimentais variando de 0,93 a 0,99, para os experimentos conduzidos em Rio Largo 2016, Arapiraca 2008 e Rio Largo 2015, respectivamente. Analogamente, o índice de confiança (c) para a avaliação da cobertura do solo foi classificado como ótimo por

apresentar índices superiores a 0,85 variando de 0,86 a 0,98 para os experimentos conduzidos em Rio Largo 2016, Arapiraca 2008 e Rio Largo 2015, respectivamente.

Desta forma, observaram-se valores de RMSE de 0,06; 0,12 e 0,20% para as estações experimentais conduzidas em Rio Largo 2016, Arapiraca 2008 e Rio Largo 2015, respectivamente. Ran *et al.* (2018), observou erro médio quadrático para cobertura do dossel menores que 9,55%.



## CONCLUSÕES

O modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> satisfaz os objetivos de calibração e validação porque tem desempenho ótimo para o acúmulo de biomassa acima do solo, com índices de confiança superiores a 0,85, assim como no processo de validação com índice de confiança mínimo observado de 0,89. Mas esse modelo superestima o acúmulo de biomassa acima do solo quando chove acima da necessidade hídrica da cultura e se a demanda hídrica não for atendida, a biomassa é subestimada. Para a cobertura do solo, o modelo *AquaCrop*<sup>®</sup> também é classificado como ótimo, com índice de confiança mínimo 0,93.

As estimativas de armazenamento de água no solo simulada pelo *AquaCrop*<sup>®</sup> tem índice de confiança que varia de 0,51 (regular) a 0,66 (mediano).

**REFERÊNCIAS**

- ABEDINPOUR, M., SARANGIB, A., RAJPUTB, T. B. S., SINGH, M., PATHAKC, H. & AHAMAD, T. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. **Agriculture Water Management**. 110, 55–66. 2012.
- ADMS, J.; ARKIN, G. F. Alight interception method for measuring grow crop ground cover. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, n.1, p.789-792, 1977.
- AHMADI, S. H.; MOSALLAEPOUR, E.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. A.; SEPASKHAH, A. R. Modeling maize yield and soil water content with AquaCrop under full and deficit irrigation managements. **Water Resources Management**, v. 29, n. 8, p. 2837-2853, 2015.
- AKUMAGA, U.; TARHULE, A.; YUSUF, A.A. Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 232, p. 225-234, 2017.
- AMIRI, E. Calibration and testing of the aquacrop model for rice under water and nitrogen management. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 47, 387–403. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1123719>. 2016.
- ANDARZIAN, B., BANNAYAN, M., STEDUTO, P., MAZRAEH, H., BARATI, M.E., BARATI, M.A., RAHNAMA, A. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. **Agric. Water Manage.** 100, 1–8. 2011.
- ANJOS, F. A. **Cultivo do milho irrigado no semiárido alagoano e modelagem com o AquaCrop/FAO®**. 2016. 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2016.

- ANJOS, F. A. **Simulação de produtividade de milho em diferentes épocas de semeio em Arapiraca, Alagoas, pelo modelo AquaCrop**. 2011. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2011.
- ARAYA A, KEESSTRA SD AND STROOSNIJDER L. Simulating yield response to water of Teff (*Eragrostis tef*) with FAO's AquaCrop model. **Field Crops Research**; 1–2: 196-204. 2010A.
- 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. 2010B.
- ARSOY, S.; OZGUR, M.; KESKIN, E., & YILMAZ, C. Enhancing TDR based water content measurements by ANN in sandy soils. **Geoderma**, v. 195, p. 133-144, 2013.
- BARBOSA, M. A.; FERRAZ, R. L. S.; COUTINHO, E. L. M.; COUTINHO NETO, A. M.; SILVA, M. S.; FERNANDES, C.; RIGOBELLO, E. C. Multivariate analysis and modeling of soil quality indicators in long-term management systems. **Science of The Total Environment**, v. 657, p. 457-465, 2019.
- BARBOSA, W.S.S. Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. 2017. 115 p. **Dissertação de mestrado em produção vegetal** Universidade Federal de Alagoas-Centro de Ciências Agrárias.
- BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. Climatologia do Estado de Alagoas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p.

- BATTILANI, A.; LETTERIO, T.; CHIARI, G. AquaCrop model calibration and validation for processing tomato crop in a sub-humid climate. XIII International Symposium on Processing Tomato 1081. **Anais...** p. 167-174, 2014.
- BELLO, Z.A., WALKER, S. Evaluating AquaCrop model for simulating production of amaranthus (*Amaranthus cruentus*) a leafy vegetable, under irrigation and rainfed conditions. **Agr Forest Meteorol.** 247, 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.003>. 2017.
- BENNETT, N. D.; CROKE, B. F. W.; GUARISO, G.; GUILLAUME, J. H. A.; HAMILTON, S. H.; JAKEMAN, A. J.; MARSILI-LIBELLI, S.; NEWHAM, L. T. H.; NORTON, J. P.; PERRIN, C.; PIERCE, S. A.; ROBSON, B.; SEPPELT, R.; VOINOV, A. A.; FATH, B. D.; ANDREASSIAN, V. Characterising performance of environmental models. **Environmental Modelling & Software**, v. 40, p. 1-20, 2013.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R. Teste de um modelo de estimativa do espigamento do milho com base na temperatura do ar. **Agronomia Sul Riograndense**, v.22, p 243-259. 1986.
- BOYER, J.S., BYRNE, P., CASSMAN, K.G., COOPER, M., DELMER, D., GREENE, T., GRUIS, F., HABBEN, J., HAUSMANN, N., KENNY, N., LAFITTE, R., PASZKIEWICZ, S., PORTER, D., SCHLEGEL, A., SCHUSSLER, J., SETTER, T., SHANAHAN, J., SHARP, R.E., VYN, T.J., WARNER, D., GAFFNEY, J.. The U.S. drought of 2012 in perspective: a call to action. **Glob. Food Secur.** 2, 139–143. 2013.
- CABRERA-PONCE, J. L.; VALENCIA-LOZANO, E.; TREJO-SAAVEDRA, D. L. Genetic Modifications of Corn. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. Woodhead Publishing: Amsterdã, 2019. 43-85p.
- 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.

CANTARELLI, A. L. D. Balanço de água e crescimento de cultivares de milho nos tabuleiros costeiros de Alagoas: Universidade Federal de Alagoas – UFAL. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Graduação. 2016.

CARVALHO BRASIL, E.; CARVALHO ALVES, V. M.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G.; Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 704-712, maio/jun., 2007.

CARVALHO, O.M.; Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo, cultivados com cana-de-açúcar. 2003. P.74 (**Dissertação mestrado** em agronomia– Rio Largo: Universidade Federal de Alagoas, 2003.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. C. Identificação de variáveis causadoras de erro experimental na variável rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, v. 34, p. 707-713, 2004.

CASA, A., OVANDO, G., BRESSANINI, L., MARTINEZ, J. AquaCrop model calibration in potato and its use to estimate yield variability under field conditions. **Atmos. Clim. Sci.** 3, 397–407. 2013.

CHILUNDO, M.; Joel, A.; Wesström, I.; Brito, R.; Messing, I. Response of maize root growth to irrigation and nitrogen management strategies in semi-arid loamy sandy soil. **Field Crops Research**, v. 200, n. 1, p. 143-162, 2017.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2 ed. aum. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 2, set. 1995. Encarte.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v. 6 - SAFRA 2018/19- N. 4 - **Quarto levantamento, janeiro 2019.** Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_04\\_17\\_17\\_20\\_54\\_boletim\\_graos\\_jar\\_2019.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_54_boletim_graos_jar_2019.pdf)>. Acesso em: 18/01/2019.

COSTA, L.C.; BARROS, A.H.C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 75-82. 2001.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P.; Manejo da cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 12p. (Embrapa-CNPMS. **Circular Técnica, 87**), 2006.

DARRAH, L. L.; MCMULLEN, M. D.; ZUBER, M. S. Breeding, genetics and seed corn production. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. Woodhead Publishing: Amsterdã, 2019. 19-41p.

DERNER, J., JOYCE, L., GUERRERO, R., STEELE, R. In: Anderson, T. (Ed.), Northern Plains Regional Climate Hub Assessment of Climate Change Vulnerability and Adaptation and Mitigation Strategies. **USDA**, pp. 57. 2015.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de GHEYI, H.R.; SOUSA, A. A.; DAMASCENO, F. A. V.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande: UFPB. p.154-159. (Estudos FAO. **Irrigação e Drenagem**, 33). 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. **Rome Food and Agriculture Organization of United Nations**, p.193. 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. Brasília: **Embrapa Produção e Informação**, 1999, 412 p

FANCELLI, A. L. **Ecofisiologia de plantas de lavoura**. In: CARLESSO, R. (Ed.). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, p.59-73. 2001.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. 4<sup>a</sup> ed., **Livro cereis Piracicaba**, 360 p. 2004.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **AquaCrop Version 6.1** - New features and updates (May, 2018). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/abc087e.pdf>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2019.

FAO. Escritório Regional da FAO para a América Latina e o Caribe. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/854301/>> Acesso em: 18/ 05/ 2017.

FAO. The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Publications**, Rome. 2017.

FARAHANI, H.J.; IZZI, G.; OWEIS, T.Y. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. **Agronomy Journal**, v.101, ed. 3, p. 469–476. 2009.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A.; ABREU, M.L. Eficiência no uso da Radiação do Milho sob Diferentes Coberturas de Solo. In: Xv **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2008, São Paulo. Anais... XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION, 2018. **FAOSTAT**, FAO Statistical Databases. Available from: <http://apps.fao.org/>. (Acessado em: 19 janeiro de 2019).

- FOSTER, T.; BROZOVIĆ, N.; BUTLER, A. P.; NEALE, C. M. U.; RAES, D.; STEDUTO, P.; FERERES, E.; HSIAO, T. C. AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 18-22, 2017.
- FRANÇA, C. G.; GROSSI, M. E. D.; MARQUES, V. P. M. A. O censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil. Brasília: **Ministério do Desenvolvimento Agrário** - MDA, 2009.
- GARCÍA-LARA, S.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Corn History and Culture. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. Woodhead Publishing: Amsterdã, 2019. 1-18p.
- GASSMAN, P. W.; WILLIAMS, J. R.; WANG, X.; SALEH, A.; OSEI, E.; HAUCK, L. M.; IZAURRALDE, R. C.; FLOWERS, J. The Agricultural Policy Environmental EXtender (APEX) Model: An Emerging Tool for Landscape and Watershed Environmental Analyses. **CARD Technical Reports**, v. 41, p. 1-109, 2009.
- GEERTS, S.; RAES, D.; GARCIA, M.; MIRANDA, R.; CUSICANQUI, J.A.; TABOADA, C.; MENDOZA, J.; HUANCA, R.; MAMANI, A.; CONDORI, O.; MAMANI, J.; MORALES, B.; OSCO, V.; STEDUTO, P. Simulating yield response to water of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) with FAO- AquaCrop. **Agronomy Journal**, v. 101, ed. 3, p. 499-508. 2009.
- GERON, L. J. V.; SOUZA, A. L.; ZANINE, A. M.; PIERANGELI, M. A. P.; FERREIRA, D. J.; SOUSA NETO, E. L.; PAULA, E. J. H.; DINIZ, L. C.; SANTOS, I. S.; ZANIN, S. F. Viabilidade técnica e econômica do uso de diferentes níveis de grãos secos de destilaria com solúveis (*Zea mays* L.) em borregas terminadas em confinamento. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75, p. 33-43, 2018.



- GETNET M., M. VAN ITTERSUM, H. HENGSDIJK, K. Descheemaeker Yield gaps and resource use across farming zones in the central rift valley of Ethiopia *Expl Agric.*, 52, pp. 493-517. 2016.
- GREAVES, G.E., WANG, Y.-M. Assessment of FAO AquaCrop model for simulating maize growth and productivity under deficit irrigation in a tropical environment. **Water** 8, 557. 2016.
- HANSEN, S.; JENSEN, H. E.; NIELSEN, N. E.; SVENDSEN, H. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. **Fertilizer research**, v. 27, n. 2-3, p. 245-259, 1991.
- HENG, L. K., HSIAO, T. C., EVETT, S., HOWELL, T. & STEDUTO, P. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. **Agronomy Journal** 101, 488–498. 2009.
- HOWELL, T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. **Agron. J.** 93, 281–289. 2001.
- HSIAO, T. C.; HENG, L.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 448-459, 2009.
- IOSLOVICH, I., SEGNER, I., & GUTMAN, P. O. Dominant parameter selection in the marginally identifiable case. **Mathematics and Computers in Simulation**, 165, 127e136. 2004.
- J. TOUMI, S. ER-RAKI, J. EZZAHAR, S. KHABBA, L. JARLAN, A. CHEHBOUNI. 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. **Agricultural Water Management**. 163 . 219–235. 2016.

- JAMIESON, P.D., PORTER, J.R., WILSON, D.R. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. **Field Crop Res.** 27, 337–350. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3). 1991.
- JIN, X. L., FENG, H. K., ZHU, X. K., LI, Z. H., SONG, S. N., SONG, X. Y., YANG, G. J., XU, X. G. & GUO, W. S. Assessment of the AquaCrop Model for use in simulation of irrigated winter wheat canopy cover, biomass, and grain yield in the North China Plain. **PLOS One** 9(1), e86938. 2014.
- KAPLAN, M.; KARAMAN, K.; KARDES, Y. M.; KALE, H. Phytic acid content and starch properties of maize (*Zea mays* L.): Effects of irrigation process and nitrogen fertilizer. **Food Chemistry**, v. 283, p. 375-380, 2019.
- KARANDISH, F., ŠIMŮNEK, J., 2017. Two-dimensional modeling of nitrogen and water dynamics for various N-managed water-saving irrigation strategies using HYDRUS. **Agr. Water Manage** 193, 174–190. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.023>. 2017.
- KARUNARATNE A AND AZAM-ALI SN. Calibration and validation of FAO-AquaCrop model for irrigated and water deficient bambara groundnut. **Experimental Agriculture**; 3: 509-527. 2011.
- KATERJI, N., CAMPI, P. & MASTRORILLI, M. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. **Agriculture Water Management** 130, 14–26. 2013.
- KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica**. México. 479p. 1948.
- KUMAR VICKY, RAVISH CHANDRA AND SK JAIN. Performance Evaluation of AquaCrop Model for Rabi Maize Crop in the North Bihar Condition. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 7 (5): 973-979. 2018.

- KUMAR, D.; SINGH, V. Bioethanol Production From Corn. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. Woodhead Publishing: Amsterdã, 2019. 615-631p.
- LECERF, R.; CEGLAR, A.; LÓPEZ-LOZANO, R.; VELDE, M. V. D.; BARUTH, B. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe. **Agricultural Systems**, v. 168, p. 191-202, 2019.
- LIU, L.; ZHANG, Z.; WANG, J.; FAN, Y.; SHI, W.; LIU, X.; SHUN, Q. Simultaneous saccharification and co-fermentation of corn stover pretreated by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidative degradation for ethanol production. **Energy**, v. 168, p. 946-952, 2019.
- LOAGUE, K., GREEN, R.E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J. Contam. Hydrol.* 7, 51–73. 1991.
- LOY, D. D.; LUNDY, E. L. Nutritional Properties and Feeding Value of Corn and Its Coproducts. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. Woodhead Publishing: Amsterdã, 2019. 633-659p.
- LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; MOURA FILHO, G.; ARAÚJO JUNIOR, R.F. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, Botucatu, v. 15. n. 2, p. 173-183. 2010.
- 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.
- MALIK, A., SHAKIR, A.S., AJMAL, M., KHAN, M.J., KHAN, T.A. Assessment of AquaCrop model in simulating sugar beet canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of

- Pakistan. **Water Resour Manag.** 31, 4275–4292.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-017-1745-z>. 2017.
- MANCOSU, N.; SPANO, D.; ORANG, M.; SARRESHTEH, S.; SNYDER, R. L. SIMETAW# - a Model for Agricultural Water Demand Planning. **Water Resources Management**, v. 30, n. 2, p. 541-557, 2016.
- MARTINEZ, E. L.; FERNANDEZ, F. J. B. Economics of production, marketing and utilization. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. Woodhead Publishing: Amsterdã, 2019. 87-107p.
- MARTINI, L. C. P. Sensitivity analysis of the AquaCrop parameters for rainfed corn in the South of Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 8, p. 934-942, 2018.
- MEBANE, V. J., DAY, R. L., HAMLETT, J. L., WATSON, J. E. & ROTH, G. W. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. **Agronomy Journal** 105, 419–427. 2013.
- MEDEIROS, R. P. Radiação solar e água em quatro épocas de cultivo de milho de sequeiro (*Zea Mays L.*), na região agreste de alagoas. **Dissertação**; (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, 2009.
- MHIZHA, T. Increase of Yield Stability by Staggering the Sowing Dates of Different Varieties of Rainfed Maize in Zimbabwe. *Wetenschap & Technologie*, Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, Belgium (**Ph.D. Thesis**). 2010.
- MONTOYA, F., CAMARGO, D., ORTEGA, J.F., CORCOLES, J.I., DOMINGUEZ, A. Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions. **Agric. Water Manage.** 164, 267–280.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.019>. 2016.

- MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R.; BENNETT, Jackie M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy journal**, v.82, n.2, p. 338-343, 1990.
- MULLEN, R. A.; HURST, J. J.; NAAS, K. M.; SASSOUBRE, L. M.; AGA, D. S. Assessing uptake of antimicrobials by *Zea mays* L. and prevalence of antimicrobial resistance genes in manure-fertilized soil. **Science of The Total Environment**, v. 646, p. 409-415, 2019.
- MURGA-ORRILLO, H.; ARAUJO, W. F.; ABANTO-RODRIGUEZ, C. A.; BARDALES-LOZANO, R. M. B.; SAKAZAKI, R. T.; POLO-VARGAS, A. R. P. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352-364, 2016.
- NIMER, E. **Geografia do Brasil: Região Nordeste**. Rio de Janeiro: IBGE, vol. 2, p. 47-84, 1977.
- NYAKUDYA, I. W.; STROOSNIJDER, L. Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: Modelling with AquaCrop. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 280-296, 2014.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO. Hot Issues: **Water Scarcity**, FAO web link: <http://www.fao.org/nr/water/issues/scarcity.html> (last accessed 10.01.19). 2018.
- OWEIS, T., HACHUM, A. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. **Agric. Water Manage.** 80, 57–73. 2006.
- P. PAREDES, Z. WEI, Y. LIU, D. XU, Y. XIN, B. ZHANG, L.S. PEREIRA. Performance assessment of the FAO AquaCrop model for soil water, soil

- evaporation, biomass and yield of soybeans in North China Plain. **Agricultural Water Management**. (152). 57-71. 2015.
- PAREDES, P., MELO-ABREU, J. P., ALVES, I. & PEREIRA, L. S. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. **Agriculture Water Management** 144, 81–97. 2014.
- PAREDES, P., TORRES, M.O. Parameterization of AquaCrop model for vining pea biomass and yield predictions and assessing impacts of irrigation strategies considering various sowing dates. **Irrig. Sci.** 35, 27–41. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0520-x>. 2017.
- PARK, H. W.; YOO, J, S.; YOON, W. B. Developing a sterilization processing and a grading system to produce a uniform quality of sterilized whole corn (*Zea mays* L. var. ceratina). **Journal of Food Engineering**, 2019. In Press.
- PIRMORADIAN, N.; DAVATGAR, N. Simulating the effects of climatic fluctuations on rice irrigation water requirement using AquaCrop. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 97-106, 2019.
- PUTEH, A.B., THUZAR, M., MONDAL, M.M.A., ABDULLAH, N.A.P.B., HALIM, M.R.A. Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed yield response to high temperature stress during reproductive growth stages. **Aust. J. Crop Sci.** 7 (10), 1472–1479. 2013.
- QIAN, Y.; REN, Q.; ZHANG, J.; CHEN, L. Transcriptomic analysis of the maize (*Zea mays* L.) inbred line B73 response to heat stress at the seedling stage. **Gene**, v. 692, p. 68-78, 2019.
- RAES, D., STEDUTO, P., HSIAO, T., FERERES, E., 2012. AquaCrop Version 4.0 **Reference manual**. FAO, Rome, Italy. June 2012.

- RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**, v. 101, ed. 3, p.438–447. 2009.
- RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. **Reference Manual**. AquaCrop, version 6.0 plus. Chapter 1. FAO crop- water productivity model to simulate yield response to water. March-2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-r246e.pdf>>. Acesso em: 08/01/2017.
- RAJA, WASEEM; KANTH, RAIHANA HABIB; SINGH, Purshotum. Validating the AquaCrop model for maize under different sowing dates. **Water Policy Corrected Proof**, [S.l.], p. 1-16, abr. 2018.
- RAN, H.; KANG, S.; LI, F.; DU, T.; TONG, L.; LI, S.; DING, R.; ZHANG, X. Parameterization of the AquaCrop model for full and deficit irrigated maize for seed production in arid Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 438-450, 2018.
- RAPHAEL LINKER, ILYA IOSLOVICH. 2017. Assimilation of canopy cover and biomass measurements in the crop model AquaCrop. **Biosystems engineering** 162 57 – 66. 2017.
- RAZZAGHI, F.; ZHOU, Z.; ANDERSEN, M. N.; PLAUBORG, F. Simulation of potato yield in temperate condition by the AquaCrop model. **Agricultural Water Management**, v. 191, p. 113-123, 2017.
- REFSGAARD, J. C.; SLUIJS, J. P.; HOJBERG, A. L.; VANROLLEGHEM, P. A. Uncertainty in the environmental modelling process – a framework and guidance. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, 1543-1556, 2007.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, p. 26 (**Special report, 48**), 1993.

- ROCHA, A. E. Q. Crescimento e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio nos tabuleiros costeiros de alagoas. **Trabalho de Conclusão de Curso**; (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, 2012.
- ROCHA, A. E. Q., LYRA, G. B., DE SOUZA, J. L., LYRA, G. B., MEDEIROS, R. P. & TEODORO, I. Conteúdo de água no solo por reflectometria no domínio do tempo e balanço de água no solo em cultivo de milho. **Irriga**, v.19, n.2, p.267. 2014.
- 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: 23/09/2016.
- SAADATI, Z., PIRMORADIAN, N., REZAEI, M.. Calibration And Evaluation Of Aquacrop Model. **Rice Growth Simulation Under Different Irrigation Managements**. 2011.
- SALAZAR O, WESSTRÖM I, YOUSSEF MA, SKAGGS RW AND JOEL A. Evaluation of the DRAINMOD–N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden. **Agricultural Water Management**; 2: 267-281. 2009.
- SALEMI H, MOHD-SOOM MA, LEE TS, MOUSAVI SF, GANJI A, *ET AL*. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. **African Journal of Agricultural Research**. 610: 2204–2215. 2011.
- SALTELLI, A.; ANNONI, P. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, p. 1508-1517, 2010.



- SARMENTO, P. L. V. S. Ecofisiologia do milho sob diferentes épocas de semeadura e densidades de plantio: Universidade Federal de Alagoas – UFAL. **Dissertação** Mestrado. 2015.
- SEAGER, R., VECCHI, G.A. Greenhouse warming and the 21st century hydroclimate of southwestern North America. **PNAS** 107, 21277–21282. 2010.
- SHIRINBAYAN, S.; KHOSRAVI, H.; MALAKOUTI, M. J. Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with *Azotobacter* strains isolated from semi-arid regions. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 138-145, 2019.
- SHRESTHA, N., RAES, D., SAH, S.K. Strategies to improve cereal production in the Terai region (Nepal) during dry season: simulations with aquacrop. **Procedia Environ. Sci.** 19, 767–775. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.085>. 2013.
- SIMIONESEI, L.; RAMOS, T. B.; BRITO, D.; JAUCH, E.; LEITÃO, P. C.; ALMEIDA, C.; NEVES, R. Numerical simulation of soil water dynamics under stationary sprinkler irrigation with mohid-land. **Irrigation and Drainage**, v. 65, p. 98-111, 2016.
- SOUSA, M. F.; GUIMARÃES, R. M.; ARAÚJO, M. O.; BARCELOS, K. R.; CARNEIRO, N. S.; LIMA, D. S.; SANTOS, D. C.; BATISTA, K. A.; FERNANDES, K. F.; LIMA, M. C. P. M.; EGEEA, M. B. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT**, v. 101, p. 812-818, 2019.
- 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.
- SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; FONSECA LYRA, R. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; TEIXEIRA DA SILVA, P. R.; CARDIM, A. H.;

AMORIM, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira e Agrometeorologia**, v. 11, n.2, p. 131-141, 2004.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop Yield Response to Water**. FAO Irrigation and Drainage Paper Nr. 66. Rome, Italy, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm>>. Acesso em: 14 de novembro de 2018.

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.

STRICEVIC R., DZELETOVIC Z., DJUROVIC N.; COSIC M., GCB Bioenergy. Application of the AquaCrop model to simulate the biomass of *Miscanthus x giganteus* under different nutrient supply conditions. **Serbia**. 2014.

STRICEVIC, R., COSIC, M., DJUROVIC, N., PEJIC, B., MAKSIMOVIC, L..Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. **Agric. Water Manag.** 98 (10), 1615–1621. 2011.

STROOSNIJDER, L., BIAZIN, B. To tie or not to tie ridges for water conservation in Rift Valler dry lands of Ethiopia. **Soil Tillage Res.** 124, 83–94. 2012.

TAO, F., YOKOZAWA, M., LIU, J., ZHANG, Z. Climate–crop yield relationships at provincial scales in China and the impacts of recent climate trends. **Clim. Res.** 38, 83– 94. 2008.

TIAN, X. Z.; PAENGKOUM, P.; PAENGKOUM, S.; CHUMPAWADEE, S.; BAN, C.; THONGPEA, S. *Short communication*: Purple corn (*Zea mays* L.) stover silage with abundant anthocyanins transferring anthocyanin composition to the

milk and increasing antioxidant status of lactating dairy goats. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 1, p. 413-418, 2019.

TILMAN, D., BALZER, C., HILL, J., BEFORT, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 108, 20260–20264. 2011.

TITTONELL P., M. CORBEELS, M.T. VAN WIJK, K.E. Giller FIELD-A summary simulation model of the soil-crop system to analyse long-term resource interactions and use efficiencies at farm scale Europ. **J. Agronomy**, 32, pp. 10-21. 2010.

TODOROVIC M, ALBRIZIO R, ZIROTIC L, ABI SAAB MT, STOCKLE C, STEDUTO P Assessment of AquaCrop, Cropsyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. **Agron J** 101:509–521. 2009.

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.

TSAKMAKIS, I. D.; KOKKOS, N. P.; GIKAS, G. D.; PISINARAS, V.; HATZIGIANNAKIS, E.; ARAMPATZIS, G.; SYLAIOS, G. K. Evaluation of AquaCrop model simulations of cotton growth under deficit irrigation with an emphasis on root growth and water extraction patterns. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 419-432, 2019.

TSAKMAKIS, I.; KOKKOS, N.; PISINARAS, V.; PAPAEVANGELOU, V.; HATZIGIANNAKIS, E.; ARAMPATZIS, G.; GIKAS, G. D.; LINKER, R.; ZORAS, S.; EVAGELOPOULOS, V.; TSIHRINTZIS, V. A.; BATTILANI, A.; SYLAIOS, G. Operational Precise Irrigation for Cotton Cultivation through the Coupling of Meteorological and Crop Growth Models. **Water Resources Management**, v. 31, n. 1, p. 563-580, 2017.

- VANUYTRECHT, E.; RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; HENG, L. K.; VILA, M. G.; MORENO, P. M. AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. **Environmental Modelling & Software**, v. 62, p. 351-360, 2014.
- VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E. C.; PEREIRA, C. R. Teor de nitrogênio, índice de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoa, v.8 n.1, p. 13-25. 2009.
- VILA MG, FERERES E. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. **European Journal of Agronomy**. 36(1):21-31. 2012.
- WANG WEIMIN, XUE DONG, YANYUN LU, XUNLIANG LIU, RUINING ZHANG, MENG LI, LINJING TIAN, YUE DING AND XIAO PU. Soil Water Balance and Water Use Efficiency of Rain-fed Maize under a Cool Temperate Climate as Modeled by the AquaCrop. **MATEC Web of Conferences** 246. 1-13. 2018.
- WANG, K. J.; ZHAO, J. L. Corn silk (*Zea mays* L.), a source of natural antioxidants with  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase, advanced glycation and diabetic nephropathy inhibitory activities. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 110, p. 510-517, 2019.
- WANG, X.; GASSMAN, P. W.; WILLIAMS, J. R.; POTTER, S.; KEMANIAN, A. R. Modeling and impact of soil management practices on runoff, sediment yield, maize productivity, and soil organic carbon using APEX. **Soil & Tillage Research**, v. 101, n. 1-2, p. 78-88, 2008.

- WARMINK, J. J.; JANSSEN, J. A. E. B.; BOOIJ, M. J.; KROL, M. S. Identification and classification of uncertainties in the application of environmental models. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, p. 1518-1527, 2010.
- WILLMOTT, C. J. Some components on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*, v. 63, n.11, p.1.309-1.313, 1982.
- XU, J.; BAI, W.; LI, Y.; WANG, H.; YANG, S.; WEI, Z. Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 289-297, 2019.
- YANG, H. S., DOBERMANN, A., LINDQUIST, J. L., WALTERS, D. T., ARKEBAUER, T. J., CASSMAN, K. G. Hybrid- maize: A maize simulation model that combines two crop modeling approaches. **Field Crop Research**, v. 87, n. 2, p. 131-154. 2004.
- YANG, M.; GENG, M.; SHEN, P.; CHEN, X.; LI, Y.; WEN, X. Effect of post-silking drought stress on the expression profiles of genes involved in carbon and nitrogen metabolism during leaf senescence in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 135, p. 304-309, 2019.
- YANG, X.; GAO, W.; SHI, Q.; CHEN, F.; CHU, Q. Impact of climate change on the water requirement of summer maize in the Huang-Huai-Hai farming region. **Agricultural Water Management**, v. 124, p. 20-27, 2013.
- ZELEKE KT, LUCKETT D, COWLEY R. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. **Agron J** 103:1610–1618. 2011.
- ZHOU, Z.; PLAUBORG, F.; PARSONS, D.; ANDERSEN, M. N. Potato canopy growth, yield and soil water dynamics under different irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v. 202, p. 9-18, 2018.