



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS



COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**Dissertação de Mestrado**

**CONSUMO HÍDRICO E CALIBRAÇÃO/VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP  
PARA A CULTURA DO COENTRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

**ANDRÉ BEZERRA OLIVEIRA**

Mestrando

**Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA**

Orientador

**Dr. MADSON TAVARES SILVA**

Coorientador

**CAMPINA GRANDE – PB**

**Julho / 2018**

**ANDRÉ BEZERRA OLIVEIRA**

**CONSUMO HÍDRICO E CALIBRAÇÃO/VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP  
PARA A CULTURA DO COENTRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

**Área de concentração:** Agrometeorologia e Micrometeorologia

**Subárea:** Necessidades hídricas da cultura

**Orientador:** Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

**Coorientador:** Dr. Madson Tavares Silva

**CAMPINA GRANDE – PB**

**Julho / 2018**

**O48c**

**Oliveira, André Bezerra.**

**Consumo hídrico e calibração/validação do modelo AquaCrop para a cultura do coentro submetido à irrigação localizada / André Bezerra Oliveira. - Campina Grande, 2018.**

**50 f. : il. color.**

**Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.**

**"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Prof. Dr. Madson Tavares Silva".**

**Referências.**

**1. AquaCrop. 2. Calibração. 3. Consumo Hídrico. 4. Coentro. 5. Evapotranspiração da Cultura. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Silva, Madson Tavares. III. Título.**

**CDU 551.502.4:631.67(043)**

ANDRÉ BEZERRA OLIVEIRA

CONSUMO HÍDRICO E CALIBRAÇÃO/VALIDAÇÃO DO MODELO AUACROP  
PARA A CULTURA DO COENTRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 06/07/2018

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. INAJÁ FRANCISCO DE SOUSA  
Departamento Engenharia Agrônoma  
Centro de Ciências Agrônomicas Aplicadas  
Universidade Federal de Sergipe

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente a Deus por ser o responsável por todas as minhas conquistas alcançadas. A minha mãe, Maria de Fátima Bezerra Oliveira, meus irmãos Cássio Bezerra Oliveira e Cíntia Bezerra Oliveira, e a todos meus familiares e amigos que acreditam na minha capacidade, dedico.

“Sonhos determinam o que você quer,  
ação determina o que você conquista”.

Aldo Novak.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me encorajar e por estar ao meu lado em todos os momentos difíceis, sem Ele não teria alcançado mais essa vitória.

A minha mãe Maria de Fátima Bezerra Oliveira que batalhou e lutou para que eu tivesse sempre o melhor. Sou grato pela educação, carinho e pela motivação e por todo o amor.

Aos meus irmãos Cássio Bezerra Oliveira e Cíntia Bezerra Oliveira por acreditarem em mim e me ajudar em todos os momentos. Minha cunhada Marília Cabral e meu sobrinho João Cassiano. Compartilho com todos vocês essa conquista alcançada.

Aos meus avós maternos Maria Bezerra da Silva e Francisco Bezerra Freire (*in memoriam*) e minha avó paterna Francisca Maria Oliveira. Agradeço toda a confiança depositada em mim.

Aos meus tios Antônia Silva Sá e Agnaldo Moia Sá por ter ajudado nos momentos mais difíceis e por nos ter ajudado a superá-los. Serei eternamente grato a vocês por tudo.

A Família Leal por ser o suporte quando eu estava longe da minha família, pelo carinho, dedicação, em especial a minha sogra Maria Nilda de Souza Leal que foi uma segunda mãe quando eu estava longe da minha.

Ao meu namorado Wollf de Souza Leal pela motivação, encorajamento, carinho, e que fez de tudo para que eu jamais desistisse.

Ao meu orientador Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva pela dedicação, orientação e toda confiança depositada em mim.

Ao meu coorientador Dr. Madson Tavares Silva, pela contribuição, orientação e motivação.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande e aos colegas da turma de mestrado por ter contribuído no meu aprendizado. Sempre serei grato pelo conhecimento adquirido durante o curso.

A todos meus amigos que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização deste objetivo.

Aos amigos Joherlan Campos de Freitas, Wendy Kaori Matsunaga, Ana Caroline Sousa Lopes e Victoria Pereira Amorim, pelas imensas colaborações no decorrer do processo de desenvolvimento da pesquisa.

Em especial Kamila Souza Santos, Jamilly Leite Dias, pelo apoio, motivação. Nós três nos aventuramos nessa jornada com o mesmo propósito e no fim conseguimos concluir mais essa etapa, obrigado por tudo minhas irmãs.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por acreditar em minha capacidade e pela contribuição através da bolsa.

Aos membros da banca pelas contribuições e críticas construtivas

A todos, meu eterno agradecimento e carinho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1. Cultura do coentro .....	17
2.2. Consumo hídrico das culturas .....	18
2.3. Balanço hídrico do solo .....	19
2.4. Coeficiente de cultivo .....	20
2.5. Modelagem agrícola .....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
3.1. Localização da área de estudo .....	22
3.1.1. Informações do experimento .....	23
3.1.2. Delineamento experimental .....	26
3.3. Tipo de cultura .....	27
3.4. Coeficiente de cultivo .....	27
3.5. Evapotranspiração da cultura .....	28
3.6. Dados para o balanço hídrico .....	28
3.7. Evapotranspiração de referência .....	29
3.8. Modelo Aquacrop .....	29
3.9. Dados do modelo AquaCrop .....	31
3.9.1. Clima .....	31
3.9.2. Solo .....	31
3.9.3. Cultura .....	32
3.9.4. Manejo .....	32
3.10. Calibração e validação do modelo .....	32
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
4.1. Propriedades físicas do solo .....	34
4.2. Características climáticas do local de estudo .....	35
4.2.1. Demanda hídrica do coentro para o período de estudo .....	36
4.3. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo .....	37
4.4. Variáveis fenométricas .....	38
4.5. Umidade média do solo .....	39
4.6. Calibração do modelo .....	41
4.7. Validação do modelo para a cultura do coentro .....	43
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização geográfica da área de estudo, com destaque para a cidade de Campina Grande – PB.....	22
<b>Figura 2.</b> Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro – DCA) da Universidade Federal de Campina Grande.....	23
<b>Figura 3.</b> Esquemática dos canteiros feitos através do software AutoCAD na estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro – DCA) da Universidade Federal de Campina Grande.....	24
<b>Figura 4.</b> Imagens da área experimental: (a) solo e instalação das mangueiras preparadas para o plantio; (b) fase inicial do coentro; (c) fase intermediária do coentro; (d) fase final do coentro.....	24
<b>Figura 5.</b> Imagens da área experimental: (a) tipo de sementes; (b) coleta da irrigação para cálculo da vazão; (c) amostras do coentro para secagem na estufa; (d) pesagem do coentro depois de seco. ....	25
<b>Figura 6.</b> Esquema da Aquacrop com os componentes solo-planta-atmosfera .....	30
<b>Figura 7.</b> Dados meteorológicos: a) temperaturas do ar (°C) máxima e mínima, b) umidades relativas do ar (%) máxima e mínima, c) radiação solar (W/m <sup>2</sup> ), d) velocidade do vento (m/s), e) evapotranspiração de referência (mm/dia) e f) precipitação (mm/dia), ocorridos durante o experimento realizado na área experimental EstAgro. ....	36
<b>Figura 8.</b> Curso diário: a) evapotranspiração (mm) e b) coeficiente de cultivo do coentro (linha sólida) e valores médios semanais (losangos preenchidos) durante o ciclo da cultura do coentro.....	37
<b>Figura 9.</b> Média das variáveis fenométricas de coentro: a) altura parte aérea (cm); b) peso total massa verde (g); c) peso total massa seca; d) peso raiz massa verde (g); e) peso raiz massa seca (g) e f) raiz, para cada canteiro correspondente a cada tratamento. ....	39
<b>Figura 10.</b> Umidade média do solo para os níveis: a) 10 e b) 20 cm de profundidade respectivamente, durante o ciclo na área experimental. ....	40
<b>Figura 11.</b> Valores observados e simulados pelo AquaCrop no processo final de calibração para a cultura do coentro durante o experimento.....	41
<b>Figura 12.</b> Gráficos gerados pelo modelo AquaCrop após a calibração local para: a) biomassa (Ton/ha); b) produtividade (Ton/ha); c) cobertura do solo pelo dossel (%); d) profundidade da raiz (m); e) índice de colheita (%) e f) produtividade em função da demanda de água evapotranspirada pela cultura (kg/m <sup>3</sup> ) após a calibração local.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados meteorológicos climáticos médios de Campina Grande-PB no período de 1977 a 2015.....	27
<b>Tabela 2.</b> Resumo das propriedades físicas do solo na área experimental .....	34
<b>Tabela 3.</b> Dados meteorológicos durante o período experimental da região de Campina Grande, PB em 2017.....	35
<b>Tabela 4.</b> Total de água aplicada em cada tratamento durante o experimento. ....	37
<b>Tabela 5.</b> Parâmetros conservativos e não conservativos da cultura obtidos na parametrização e utilizados na validação do modelo AquaCrop para o coentro.....	43
<b>Tabela 6.</b> Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop para os tratamentos de 75 e 50% de reposição da necessidade hídrica da cultura. ....	44
<b>Tabela 7.</b> Estatísticas utilizadas na validação do modelo AquaCrop para biomassa total (ton/ha) e produtividade (ton/ha) do coentro. ....	44

# **CONSUMO HÍDRICO E CALIBRAÇÃO/VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO COENTRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

## **RESUMO**

Este trabalho teve como principal objetivo determinar o consumo hídrico e realizar a calibração do modelo AquaCrop para a cultura do coentro com a finalidade de simular a produtividade para o semiárido do Nordeste do Brasil. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Campina Grande, a EstAgro, localizada na cidade de Campina Grande-PB, entre os meses de setembro a outubro de 2017, utilizando a cultura do coentro da variedade “Tabocas”. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 3 tratamentos que consistiram de 100, 75 e 50% de reposição da necessidade hídrica da cultura com 8 repetições cada, totalizando 24 parcelas experimentais. Foi determinado também a evapotranspiração (ETc) e coeficiente da cultura (Kc). Foram utilizados dados obtidos no tratamento de 100% de reposição para calibração do modelo AquaCrop e a para a validação foi através da comparação dos valores encontrados pelo modelo com os observados em campo, em condições de deficiência hídrica. A lâmina recomendada para irrigação foi a de 100%. Os valores médios da ETc e do Kc foram 2,02 mm/dia e 0,40 respectivamente. Por fim, O desempenho do AquaCrop avaliado com base nos parâmetros utilizados no estudo indicou baixa precisão do modelo, sob o ponto de vista estatístico, em face da qualidade dos dados utilizados na calibração.

**Palavras-chave:** AquaCrop, calibração, consumo hídrico, coentro, evapotranspiração da cultura.

**WATER CONSUMPTION AND CALIBRATION / VALIDATION OF THE  
AQUACROP MODEL FOR THE CULTURE OF THE CORIANDER  
SUBMITTED TO THE IRRIGATION LOCALIZED**

**ABSTRACT**

The main objective of this work was to determine the water consumption and to perform the calibration of the AquaCrop model for the coriander culture with the purpose of simulating the productivity for the semi-arid region of the Nordeste do Brasil. The experiment was carried out in the experimental area of the Federal University of Campina Grande, EstAgro, located in the city of Campina Grande-PB, between September and October 2017, using the "Tabocas" coriander culture. The experimental design was completely randomized, with three treatments that consisted of 100, 75 and 50% of replenishment of the water requirement of the culture with 8 replicates each, totaling 24 experimental plots. It was used the data obtained in the treatment of 100% of replacement for calibration of the AquaCrop model and the one for the validation was through the comparison of the values found by the model with those observed in the field. The average values of  $E_{Tc}$  and  $K_c$  were 2.02 mm / day and 0.40, respectively. Finally, the performance of AquaCrop evaluated on the basis of parameters used in the study indicated low precision of the model, from a statistical point of view, due to the quality of the data used in the calibration.

**Keywords:** AquaCrop, calibration, water consumption, coriander, crop evapotranspiration.

## 1. INTRODUÇÃO

A constante busca pelos recursos hídricos para atender a população, as indústrias e a agricultura irrigada têm preocupado a sociedade e o meio científico pelo gasto excessivo de água. Em meio à procura da solução deste problema, pesquisas incentivam práticas que tem como objetivo aperfeiçoar uso dos recursos hídricos. Dentre essas pesquisas destacam-se aquelas relacionadas com o estudo das necessidades hídricas das culturas, onde se visa identificar as exigências de cada cultura com base em seus estágios de crescimento (TAVARES, 2016).

A agricultura é uma das atividades que mais consomem água em termos de volume no mundo. Com isso, o conhecimento de água para determinada cultura permite tecnologias para irrigação em busca de boa produtividade. Sendo assim, para que haja o consumo de forma racional durante o ciclo da cultura é necessário determinar a evapotranspiração da cultura (ETc), principalmente em regiões como o semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são fatores limitantes da produção agrícola (SILVA, 2004).

Estudar a resposta da produtividade da cultura, associada a diferentes lâminas de irrigação em campo ou em experimentos controlados é trabalhoso e dispendioso. Sendo consideradas essas limitações, a modelagem de culturas pode ser uma ferramenta útil para estudar e desenvolver estratégias promissoras de déficit de irrigação, estimar a necessidade hídrica da cultura ao longo do ciclo, além de fornecer subsídio para uso da função de produção de água (BLUM, 2009; GEERTS & RAES 2009).

Os modelos agrícolas são formados por um conjunto de algoritmos organizados, que descreve processos físicos e fisiológicos, utilizado para estimar o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura e ajudar na interpretação de dados experimentais, oferecendo possíveis resultados, (NASSIF, 2010). Segundo esse autor, os modelos funcionam como ferramentas de pesquisa para o conhecimento da interação entre as plantas e o ambiente, possibilitando assim, melhorar o entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos dessa interação.

A FAO organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), atenta a essa necessidade, desenvolveu um modelo de simulação de resposta de produtividade das culturas, denominado de AquaCrop.

O AquaCrop prediz a produtividade das culturas, a necessidade de água e a eficiência do uso da água, sob condições limitantes de déficit hídrico (RAES et al., 2009). O modelo é parametrizado para cada tipo de cultura para que se possa obter com mais precisão alguns objetivos como: produção de biomassa, produtividade, balanço de água no solo entre outros.

No contexto da eficiência do uso da água, o AquaCrop foi desenvolvido para auxiliar consultores, gestores de recursos hídricos, agrônomos e até mesmo gerentes de fazenda à formulação de diretrizes para aumentar a produtividade agrícola dos sistemas de sequeiro e irrigado (RAES et al., 2009). Sendo assim, para garantir uma resposta com mais aplicação é necessário que haja equilíbrio entre simplicidade e exatidão dos modelos.

O coentro (*Coriandrum sativum L.*) é uma hortaliça onde não se tem muitos estudos, ainda que considerada no ramo alimentício rica em vitaminas e sais minerais. No Brasil, as folhas são amplamente utilizadas como tempero na culinária (MELO et al., 2003), sendo uma espécie muito explorada comercialmente na região nordeste do Brasil. Nesta região, trata-se de uma das hortaliças mais populares da culinária, cujas folhas e sementes são utilizadas na composição e decoração de diversos pratos regionais (GRANGEIRO et al., 2011).

As condições edafoclimáticas brasileiras permitem cultivar várias espécies desses vegetais durante o ano todo com o uso de irrigação, em razão de ser uma cultura explorada em pequenas áreas. Essa olerícola é consumida em quase todo mundo, em face de suas excelentes características nutritivas na culinária, propriedades medicinais, além de ser importante socioeconomicamente para o mundo.

Diante disso, a demanda pelo aumento da produção a essa olericultura é cada vez mais exigida, já que é importante no ramo medicinal e para o agronegócio.

Nesta circunstância, este trabalho visa os seguintes objetivos:

**Geral:** determinar o consumo hídrico, coeficiente de cultivo, eficiência do uso da água e validar o modelo AquaCrop para o coentro cultivado no semiárido do Nordeste do Brasil

**Específicos:** (i) determinar a evapotranspiração e produção de biomassa do coentro; (ii) realizar o balanço hídrico do solo sob condições irrigadas no agreste paraibano; (iii) obter as variáveis de crescimento das cultura analisada no estudo ao longo dos seu ciclo de produção; (iv) calcular a evapotranspiração de referência durante o período de estudo; (v) encontrar a laminar de água mais apropriada para o manejo da

irrigação da cultura em estudo; (vi) realizar simulações da produtividade da cultura através do modelo AquaCrop com intuito de saber as respostas sob diferentes níveis de irrigação, (vii) avaliar o crescimento e produtividade através de ferramentas estatísticas descritiva; (viii) comparar a resposta da produtividade da cultura modelada com o sistema real em função de diferentes lâminas de reposições de água.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cultura do coentro

O coentro (*Coriandrum sativum L.*) é uma olerícola de valor e importância considerável, consumida em várias regiões do Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste (MARQUES e LORENCETTI, 1999). Dada a sua versatilidade e alta importância é consumido na culinária, ramo medicinal e dos cosméticos. A cultura do coentro visa não somente a produção de massa verde, mas destaca-se como um condimento apreciado pelas suas folhas, cujo sabor e aroma, muito forte e característico são adicionados a diversos pratos.

Esta olerícola possui vitaminas B1, B2 e C (75 mg 100 g<sup>-1</sup>), sendo boa fonte de cálcio (188 mg 100 g<sup>-1</sup>), ferro (3 mg 100 g<sup>-1</sup>) e pró-vitamina A (HAAG E MINAMI, 1998; MELO et al., 2009), e ainda proteínas, gordura, minerais, fibras, carboidratos, água, fósforo, caroteno, tiamina, riboflavina, sódio, potássio e ácido oxálico (SARIMESELI, 2011). É uma cultura de clima quente, não aguentando baixas temperaturas, motivo pelo qual é semeado de setembro a fevereiro, em localidades altas e frias. Já em regiões de clima quente e baixa altitude, pode ser semeado durante o ano todo (FILGUEIRA, 1982).

Existem diversos estudos sobre coentro no Brasil relacionado à transmissão de doenças na cultura (FERREIRA, 2013), qualidade (GRANJEIRO et al., 2011), nutrição mineral (OLIVEIRA et al., 2002). Porém, existem poucos estudos na literatura sobre coentro visando à quantificação de seu consumo hídrico, necessários para um manejo a fim de aumentar sua produção.

Tem-se conhecimento dos benefícios de suas propriedades nos mais variados setores, tanto de sua massa vegetal, como principalmente dos frutos (sementes), desde a culinária até a composição de ácidos característicos na produção de combustíveis automotores, denotando com isso e seu alto potencial na indústria e no comércio (TAVARES, 2016). Estudos recentes mostram que a utilização de extratos da folha de coentro como um agente redutor de íons resultando na biossíntese de nanopartículas de ouro, biomedicina, indústria farmacêutica e biotecnologias, com diversas vantagens de custo-benefício, bem como para a produção em larga escala comercial (NARAYANAN e SAKTHIVEL, 2008).

Os benefícios desta planta vão além do seu sabor e características aromáticas, sendo muito aplicada na medicina tradicional, auxiliando o tratamento de diversas

condições, como distúrbios gastrointestinais, ansiedade, perda de apetite, reumatismo, entre outras. Em ensaios em laboratório os extratos preparados com diversas partes desta planta têm demonstrado atividades antioxidantes, antidiabéticas, anticancerígenas, e de inibição da peroxidação lipídica (ZHANG et al., 2014). Com mais experimentos da cultura do coentro adaptadas às condições edafoclimáticas de cada região, visando à busca por melhorias em larga escala seria uma boa alternativa para a otimização de produção dessa cultura.

## 2.2. Consumo hídrico das culturas

O consumo hídrico das culturas é um parâmetro de fundamental importância, porque condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas. Quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética das folhas (AZEVEDO et al., 1993). Segundo FERNANDES e TURCO (2003), a irrigação deve ser bem quantificada, pois aplicação de água insuficiente repõe água somente nas camadas superficiais do solo, não umedecendo a zona das raízes. A determinação das necessidades hídricas das culturas é estimada com base nos valores da E<sub>Tc</sub>.

O termo evapotranspiração é definido como a ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (PEREIRA et al., 1997). Por ser um tema muito importante no ciclo hidrológico e no desenvolvimento de sistemas que envolvam o manejo de água, a evapotranspiração tem sido um fenômeno bastante abordado desde THORNTHWAITE (1948) para o caso da evapotranspiração de referência.

A chuva e a evapotranspiração de referência são elementos meteorológicos de sentidos opostos, expressos em milímetros. Esses parâmetros, quando coletados em processo contábil, conhecido como balanço hídrico climático, fornecem dados acerca de deficiências e de excedentes hídricos, essenciais nas pesquisas e trabalhos agrometeorológicos (THORNTHWAITE, 1948). O termo evapotranspiração de referência (E<sub>To</sub>) foi definido por DOORENBOS e PRUITT (1977) como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo

Dada a procura para a obtenção do consumo de água aos mais variados tipos de culturas, surgiu a necessidade de se definir a evapotranspiração potencial para uma

cultura sem deficiência de água. A grande maioria dos usuários da agricultura irrigada no Brasil não utiliza qualquer tipo de estratégia de uso e manejo racional da água na irrigação; além disso, o monitoramento automático ainda é muito incipiente (SOUSA et al., 2010). Devido a sua importância, a evapotranspiração de culturas se tornou uma das principais informações exigidas para o manejo de irrigação.

### 2.3. Balanço hídrico do solo

Segundo LIMA et al., (2006) a dinâmica da água no solo está diretamente relacionada à produção vegetal; seu conhecimento é, portanto, de interesse fundamental para qualquer tomada de decisão sobre a exploração agrícola dos solos. Portanto, a melhor caracterização dos fatores que interferem neste movimento se torna imprescindível, uma vez que o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera envolve processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas, os quais podem ser medidos ou estimados pelo método do balanço hídrico.

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem profunda, evapotranspiração e escoamento superficial, em um volume de solo, em determinado período de tempo (LIBARDI, 2000). O método do balanço hídrico do solo é satisfatório na determinação da evapotranspiração de culturas, visto que contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo para atender às necessidades metabólicas das plantas (REICHARDT, 1985).

Um fator muito importante é a determinação das necessidades hídricas da cultura, ou evapotranspiração da cultura, pois acompanhando esses fatores visa-se racionalizar a utilização dos recursos hídricos sem comprometer a produção agrícola.

O estudo das componentes do balanço hídrico do solo fornece úteis informações para o gerenciamento da cultura de sequeiro e agricultura irrigada, pois revela as características da água do sistema solo-planta-atmosfera durante o desenvolvimento das culturas (GHIBERTO et al., 2011).

A realização do balanço hídrico do solo para o coentro é proposta como parte integrante da metodologia para quantificar o consumo hídrico desta cultura no semiárido nordestino. De fato, informações sobre a cultura do coentro são de grande relevância para a agricultura, pois pouco se sabe a respeito desta cultura que é tão utilizada e bem aceita na culinária mundial (TAVARES, 2012).

## 2.4. Coeficiente de cultivo

A razão entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência origina os coeficientes de cultura ( $K_c$ ), que dependem do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da configuração de plantio e das condições meteorológicas reinantes (TEIXEIRA et al., 1999).

De acordo com MEDEIROS et al., (2004), o  $K_c$  é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, devendo preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado. Os valores quantificados das oscilações na demanda temporal com base no  $K_c$ , recomendados por DOORENBOS e KASSAM (1994), variam de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura utilizada, uma vez que no ambiente atmosférico a dinâmica de fluxo de água é uma função conjunta dos fatores climáticos da região. O cálculo dos valores de  $K_c$  se dá por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), avaliada experimentalmente, e a  $ET_o$ , obtida pelo emprego de modelos de estimativa (STONE e SILVEIRA, 1995).

De acordo com (GOMES et al., 2006) são poucas as informações acerca das necessidades hídricas que possam subsidiar o manejo das irrigações. Sendo a irrigação uma técnica indispensável para a implantação de uma agricultura racional e para o aumento da produtividade das culturas em regiões de clima árido e semiárido, há necessidade de serem quantificados, dentre outros, os efeitos dos fatores climáticos sobre o consumo de água das culturas e os níveis de umidade dos solos capazes de promover o aumento da produtividade. Nesse aspecto, o estudo da evapotranspiração e da estimativa dos coeficientes de cultivo são imprescindíveis para o correto controle de irrigação. A carência de informações a respeito desses parâmetros apresenta-se como ponto de estrangulamento da produção, sendo a irrigação, na maioria das vezes, realizada com base no senso prático dos irrigantes, que utilizam práticas de manejo inadequadas.

Sendo assim é de fundamental importância o estudo da evapotranspiração da cultura e do coeficiente de cultivo para que se tenha um planejamento das irrigações a fim de que seja de uso racional e para uma melhor otimização dos recursos hídricos.

## 2.5. Modelagem agrícola

Os modelos agrícolas são utilizados para simulação de cultura a fim de estimar a produtividade da cultura, gerando lucros e otimizando a eficiência do uso da água.

Um modelo agrícola especificamente pode ser explicado como sistema quantitativo para avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a produção de determinada cultura, dado o conjunto de características genéticas e variáveis ambientais relevantes (MONTEITH, 1996).

Modelos de cultura ou modelos de produtividade agrícola (MPA's) são bastante utilizados para prever a produtividade agrícola. Estes buscam uma representação simplificada das respostas das culturas agrícolas às variáveis ambientais como temperatura, umidade do solo, evapotranspiração, dentre outras (BAIER, 1979). Tais modelos são utilizados desde a década de 1950 e, mais recentemente, são utilizados em programas de monitoramento agrícola de inúmeros países, que avaliam o potencial da produção de acordo com as condições meteorológicas e ainda com foco na situação de segurança alimentar. (MARTINS et al., 2015).

Existem diversos modelos a fim de prever a produtividade das culturas agrícolas, porém o modelo AquaCrop desenvolvido pela FAO (*Food and Agricultural Organization of the United Nations*) tem se destacado pelo seu equilíbrio entre precisão, simplicidade e robustez. RAES et al., (2009) e STETUTO et al. (2009) introduziram o AquaCrop para simular a produção potencial de herbáceas em função de várias condições hídricas. Além disso, o modelo AquaCrop é direcionado pelo balanço de água no solo (RAES et al., 2011), fator este de extrema importância para contabilizar a resposta de culturas agrícolas ao estresse hídrico, sendo este um dos maiores fatores causadores de perdas de safra no Semiárido Brasileiro. (MARTINS et al., 2015).

O modelo AquaCrop avalia a produtividade final das culturas em basicamente 4 etapas, conforme descrito em FAO (2016): desenvolvimento do dossel, transpiração da cultura, acúmulo de biomassa e produtividade final. O modelo estabelece equilíbrio entre precisão, simplicidade, robustez e facilidade de uso, sendo destinado a usuários práticos, tais como especialistas em extensão, gestores de recursos hídricos, economistas e especialistas em políticas públicas que utilizam modelos simples para planejamento e análise de cenário (HSIAO et al., 2009).

A modelagem está ainda em estágio inicial de desenvolvimento, uma vez que muitos modelos simulam apenas os principais fatores que afetam as culturas, como por exemplo, clima, água, disponibilidade de nitrogênio no solo e carbono para fotossíntese. Avanços na modelagem poderão incluir novos componentes como efeitos do preparo do

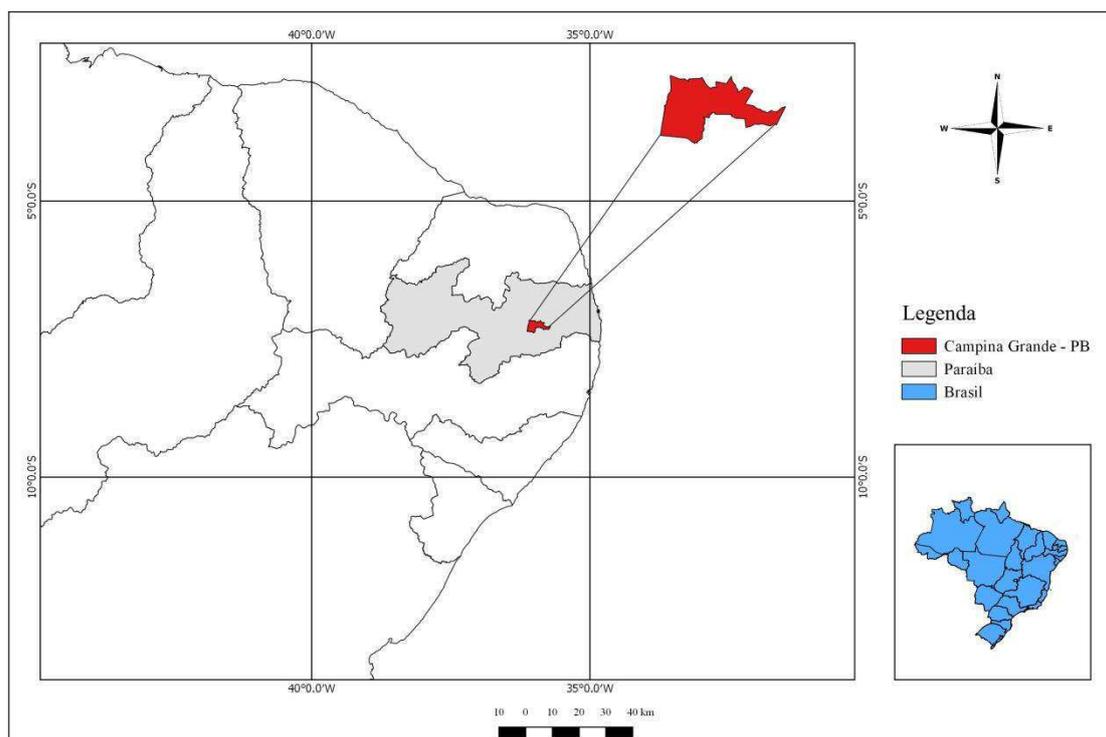
solo, pragas, doenças, plantas daninhas, salinidade, excesso de água entre outros (JAME e CUTFORTH, 1996).

Nesse sentido, baseando-se nos estudos e nos resultados do modelo e visando a pesquisa de seu uso no Brasil, torna-se imperativo verificar o desempenho do modelo AquaCrop em simulações de produtividade do coentro em experimentos conduzidos na área experimental EstAgro.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização da área de estudo

O presente trabalho foi realizado no município de Campina Grande, a segunda maior cidade do Estado da Paraíba. Esta cidade se localiza no semiárido nordestino, na mesorregião do Agreste Paraibano (Figura. 1), zona oriental do Planalto da Borborema, na bacia hidrográfica do Médio Paraíba, com latitude sul de  $07^{\circ} 13' 50''$  e longitude oeste de  $35^{\circ} 52' 52''$  (FERREIRA et al., 2015).



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo, com destaque para a cidade de Campina Grande – PB

O período da campanha experimental foi realizado durante os meses de setembro a outubro de 2017 correspondentes ao final da estação do inverno e início do outono. Foi realizada a aração do solo com auxílio de enxada e pá, acrescentando adubação orgânica (esterco de gado). O solo foi deixado próximo da capacidade de campo (CC) em poucos dias de antecedência ao processo de plantio e não foi usado nenhum tipo de defensivos agrícolas.

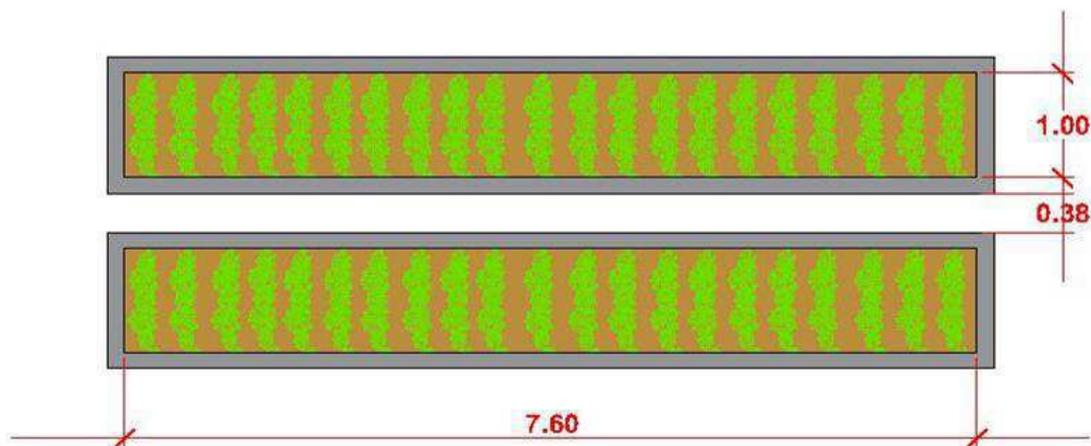
O estudo foi desenvolvido na Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro - DCA) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (Figura 2).



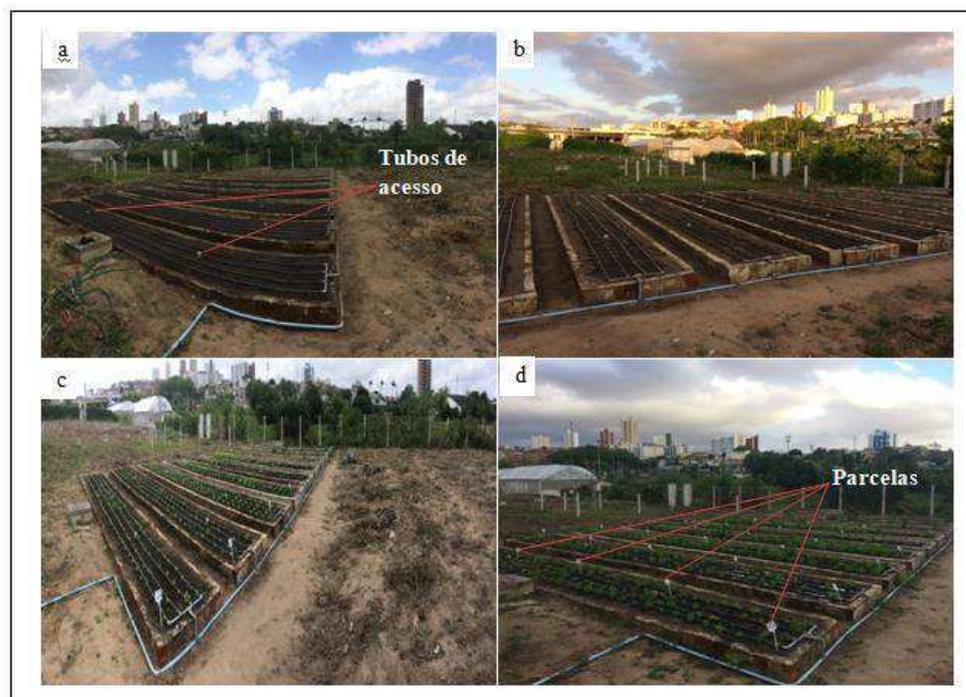
**Figura 2.** Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro – DCA) da Universidade Federal de Campina Grande

### 3.1.1. Informações do experimento

O experimento foi realizado com 6 canteiros separados em torno de 0,38 m, com dimensões internas de 1 m de largura, 7,6 m de comprimento e altura de aproximadamente 0,15 m cada. O sistema de irrigação utilizado foi por micro gotejadores e para cada um dos canteiros, foram feitos plantios com sementes de coentro, em 144 covas em cada canteiro. O espaçamento entre covas foi de 0,2 m e entre linhas de 0,15 m, onde foram instaladas 4 linhas de mangueiras com gotejadores em cada canteiro (Figura 3).



**Figura 3.** Esquematização dos canteiros feitos através do software AutoCAD na estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro – DCA) da Universidade Federal de Campina Grande



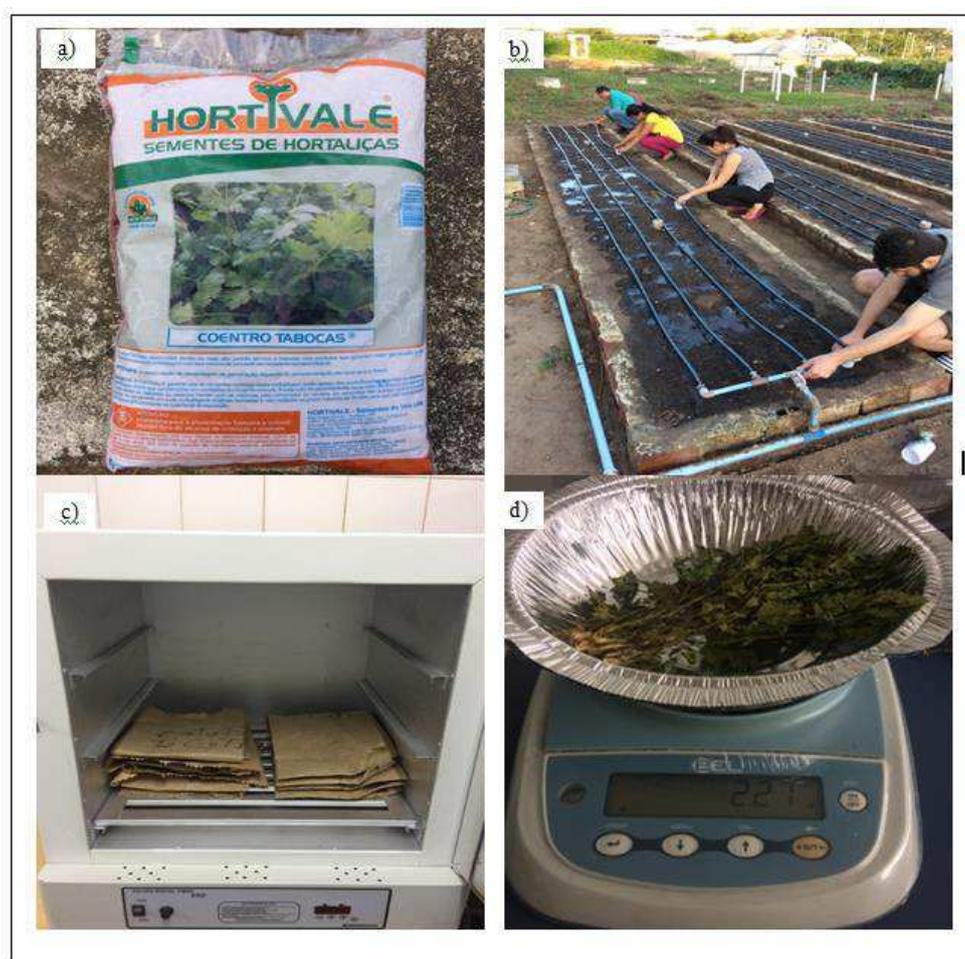
**Figura 4.** Imagens da área experimental: (a) solo e instalação das mangueiras preparadas para o plantio; (b) fase inicial do coentro; (c) fase intermediária do coentro; (d) fase final do coentro

Em cada canteiro foram instalados 2 tubos de acesso para o monitoramento da umidade do solo. As medições de umidade do solo foram realizadas 3 vezes por semana durante o ciclo da cultura. Os dados climáticos para a determinação da ETo foram obtidos na Estação Meteorológica Automática localizada na cidade de Campina Grande pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Foram utilizados dados

diários de precipitação, temperatura do ar máxima e mínima, umidade relativa do ar máxima e mínima, velocidade do vento, radiação solar global.

Antes a semeadura, foi realizada a limpeza da área interna dos canteiros, bem como em volta deles para eliminar plantas indesejadas. A vazão dos gotejadores foi realizada através de sorteio aleatório onde se escolhe uma mangueira de cada canteiro com amostragem de 4 dos 36 pontos de micro gotejadores. Para tanto, foram utilizados copos descartáveis para o armazenamento da água coletada dos gotejadores e contabilizado o volume em proveta apropriada para posterior determinação da vazão.

A Figura 5 exibe imagens do tipo de sementes, coleta de água utilizada na irrigação para cálculo da vazão, amostras do coentro para secagem na estufa e pesagem do coentro depois de seco.



**Figura 5.** Imagens da área experimental: (a) tipo de sementes; (b) coleta da irrigação para cálculo da vazão; (c) amostras do coentro para secagem na estufa; (d) pesagem do coentro depois de seco

### 3.1.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em esquema inteiramente casualizados, com 3 tratamentos e 8 repetições de lâmina de água. Os tratamentos de irrigação utilizados no estudo foram de 100, 75 e 50% da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)

A reposição de água foi feita através da multiplicação da evapotranspiração de referência pelo K<sub>c</sub> da cultura conforme Eq. 1 abaixo:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>c</sub>: Evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>)

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

K<sub>c</sub>: Coeficiente de cultura

### 3.2. Climatologia da área de estudo

Os valores médios mensais das principais variáveis meteorológicas no período de Setembro e Outubro de 1977 a 2015 do município de Campina Grande, PB, são apresentados na Tabela 1. A temperatura média máxima em Campina Grande para o mês de Setembro é de 27,9 °C, e para o mês de Outubro é de 29,5 °C enquanto que a temperatura média mínima é de 18,9 °C para o mês de Setembro e 19,7 °C para o mês de Outubro. A umidade relativa tem uma média de 76% para o mês de Setembro e 73% para o mês de Outubro. A precipitação total é de 35,8 mm e 19,9 mm para os meses de Setembro e Outubro respectivamente, enquanto que a insolação total é de 228,73 horas e 262,28 para o período estudado e a pressão atmosférica 953,9 mb e 952,2 mb para os meses citados.

**Tabela 1.** Dados meteorológicos climáticos médios de Campina Grande-PB para os meses de Setembro e Outubro no período de 1977 a 2015

Dados Meteorológicos	Setembro	Outubro
Pressão Atmosférica (mb)	953,9	952,2
Temperatura Máxima do ar (°C)	27,9	29,5
Temperatura Mínima do ar (°C)	18,9	19,7
Precipitação Total (mm)	35,8	13,9
Umidade Relativa do ar (%)	76	73
Insolação Total (h)	228,73	262,28

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

### 3.3. Tipo de cultura

O coentro utilizado no experimento foi da cultivar Tabocas da marca Hortivale. Essa cultivar é considerada precoce, de ciclo de 35 a 40 dias, sendo uma planta uniforme, de excelente rusticidade, com boa tolerância ao pendoamento precoce. Possui folhas grandes, pouco recortadas, com coloração de um verde intenso e brilhante e apresenta boa adaptação às regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste do Brasil (ABCSEM, 2015).

### 3.4. Coeficiente de cultivo

O Kc é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais, nas quais será utilizado. Para a cultura do coentro o coeficiente de Kc foi determinado como a razão entre o ETc do coentro e a ETo definido por dados meteorológicos, onde o Kc é estimado pela Eq. 2.

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (2)$$

Em que:

Kc: Coeficiente de cultura

ETc: Evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>)

ETo: Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

### 3.5. Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração do coentro foi determinada pelo método do balanço hídrico no solo, expresso por (LIBARDI, 1995):

$$ET_c = P + I + A - D \pm \Delta W \pm R \quad (3)$$

Em que:

P: Precipitação pluviométrica (mm dia<sup>-1</sup>)

I: Lâmina de irrigação (mm dia<sup>-1</sup>)

A: Ascensão capilar (mm dia<sup>-1</sup>)

D: Drenagem profunda (mm dia<sup>-1</sup>)

W: Variação da lâmina de água disponível no solo (mm dia<sup>-1</sup>)

R: Escoamento superficial (mm dia<sup>-1</sup>)

O escoamento superficial será considerado nulo, visto que a topografia do terreno é plana, P será adquirida junto a Estação Meteorológica Automática de Campina Grande-PB, e W determinado com base no perfil de umidade do solo.

### 3.6. Dados para o balanço hídrico

O monitoramento da umidade do solo foi realizado com base em sonda de capacitância, modelo Diviner 2000®, Sentek Pty Ltd, Austrália. Este equipamento é constituído de um display com teclado e coletor de dados (datalogger) acoplado, através de um cabo, a uma haste cuja extremidade apresenta o sensor que ao ser inserido no tubo de acesso no solo, faz automaticamente leituras do teor da umidade a cada 10 cm de profundidade à medida que a sonda é inserida no tubo (ANDRADE JUNIOR et al., 2007).

A sonda é inserida no tubo e, a varredura é feita a cada 0,1 m de profundidade até 0,75 m. Os dados dessas leituras são armazenados no datalogger do equipamento.

### 3.7. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência foi determinada através do programa ETo Calculator, seguindo o procedimento de Penman-Monteith da FAO (ALLEN ET AL., 1998) dada pela equação abaixo:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

em que:

ETo: evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

Rn: saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

G: densidade do fluxo de calor do solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

T: média da temperatura do ar a 2 m de altura (°C)

u<sub>2</sub>: velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)

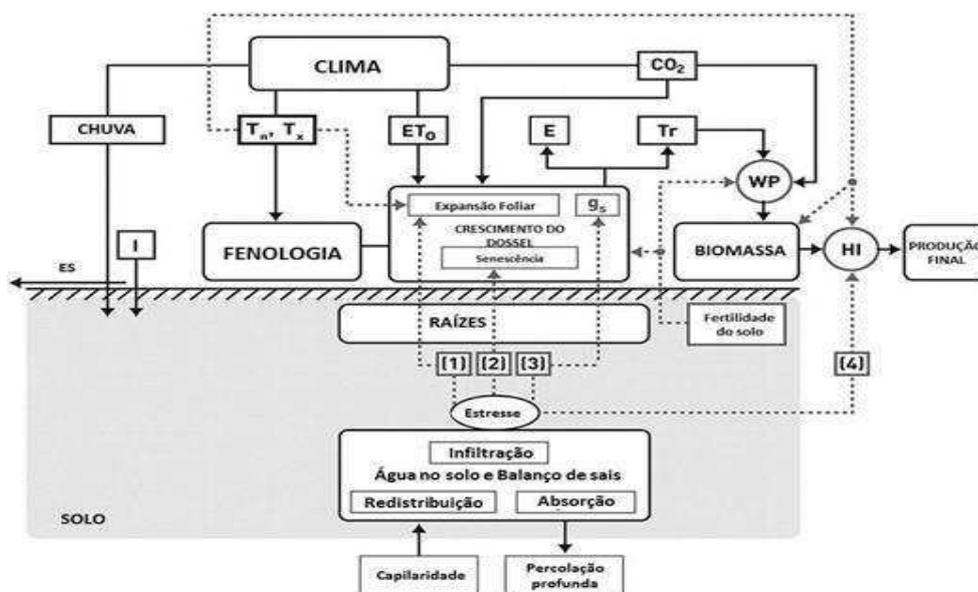
e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> : déficit da pressão de vapor medido a 2 m de altura (kPa)

Δ: declinação da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)

γ: constante psicométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)

### 3.8. Modelo Aquacrop

Os componentes estruturais do AquaCrop incluem o solo (balanço hídrico do solo), a planta e a atmosfera (STEDUTO et al., 2009). A Figura 6 representa o esquema de funcionamento do Aquacrop mostrando os componentes como: clima (precipitação, temperatura máxima (Tx) e temperatura mínima (Tn), evapotranspiração de referência (ETo) e concentração de dióxido de carbono), fenologia, cobertura do dossel, evaporação do solo (E), transpiração do dossel (Tr), irrigação (I), índice de colheita (HI), produtividade de biomassa em relação ao uso da água (WP), fertilidade do solo, escoamento, profundidade do sistema radicular, infiltração, capilaridade, percolação profunda, absorção.



**Figura 6.** Fonte: Alencar (2014), adaptado de Steduto et al. (2009).

Os efeitos do estresse hídrico provocam: (1) limitação da expansão do dossel, (2) a senescência precoce do dossel e (3) fechamento dos estômatos (RAES et al., 2009). Sob o estresse hídrico contínuo, os parâmetros WP e HI também podem ser afetados. STEDUTO et al. (2009) destacam que essas três respostas ocorrem no nível do dossel, daí a importância do dossel no AquaCrop. Essas cinco respostas formam a estrutura da componente cultura do AquaCrop.

As equações estruturais do modelo estimam produção de biomassa diretamente da transpiração das culturas através do uso eficiente da água e o rendimento final com base no índice de colheita, dada pela equação:

$$B = WP \times \Sigma T \quad (5)$$

$$Y = B \times HI \quad (6)$$

Em que:

WP: é a produtividade da água ( $\text{Kg m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ )

T: transpiração (mm)

B: representa a biomassa seca (Kg)

Y: produção final

HI: índice de colheita (porcentagem)

O índice de área foliar (IAF) é a taxa de área da folha total pela área média do solo por planta. A cobertura do dossel (CC) foi obtida com base no IAF seguindo a equação de HSIAO et al. (2009):

$$CC = 1.005[1 - \exp(-0.6LAI)]^4 \quad (7)$$

### 3.9. Dados do modelo AquaCrop

Para a calibração e validação do modelo AquaCrop na Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro – DCA), foram utilizados dados de entrada de clima, solo, cultura, manejo de campo e irrigação realizados durante o experimento nos meses de setembro a outubro de 2017 sob o sistema de irrigação por gotejamento para a cultura do coentro.

#### 3.9.1. Clima

Os elementos do clima exigidos pelo modelo AquaCrop são valores diários de temperatura do ar mínima e máxima, evapotranspiração de referência da cultura (ET<sub>o</sub>), precipitação e concentração média anual de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A ET<sub>o</sub> foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), como foi mostrada na equação 4 através do software ET<sub>o</sub> Calculator Version 3.2 (FAO, 2012).

#### 3.9.2. Solo

Para o solo, o modelo admite até cinco diferentes horizontes sendo cada um com suas características físicas. Já para as características hidráulicas do solo são necessários dados de capacidade de campo, ponto de murcha permanente, coeficiente de drenagem e a condutividade hidráulica à saturação. Para este experimento não houve a coleta desses dados, foi feito o uso de valores indicativos fornecidos pelo próprio modelo Aquacrop.

### 3.9.3. Cultura

De acordo com HSIAO et al., (2009), no modelo AquaCrop alguns parâmetros de entrada da cultura são ditos conservativos e não-conservativos. Os parâmetros ditos conservativos referem-se mais precisamente ao local, manejo e tempo, pois não mudam e com isso podem ser aplicados a várias condições e não é específico de uma determinada cultura. Os parâmetros não conservativos são caracterizados por cada cultura específica e são afetadas pelo clima, manejo ou condições do perfil do solo, portanto é preciso que haja a coleta dos dados para que possa ser inserido no modelo Aquacrop. Porém, se o usuário não fornecer esses dados o modelo pode estimá-los (por exemplo, data de semeadura, densidade da planta etc.).

### 3.9.4. Manejo

A irrigação foi realizada diariamente, aplicando seis lâminas de irrigação, duas para cada tratamento, denominadas de T1, T2 e T3, da maior para a menor lâmina. Quando ocorreu registro de precipitação, o volume precipitado foi descontado da lâmina diária.

### 3.10. Calibração e validação do modelo

A calibração compreendeu em rodar o modelo com os dados coletados de cada tratamento de irrigação, ocasionando em produtividades simuladas, que foram comparadas com as produtividades observadas no experimento. Foram efetuados ajustes nos parâmetros que se tinha conhecimento a fim de observar alguma influência na variável de referência. Esse processo foi realizado várias vezes até chegar ao valor mais próximo do valor de produtividade simulado e o valor observado, (ABEDINPOUR et al., 2012), com a intenção de diminuir a diferença entre os dois resultados obtidos, ocasionando um conjunto de parâmetros, que segundo o Manual do AquaCrop (RAES et al., 2009) são ditos conservativos para cada situação de estresse ao qual a cultura foi submetida. Por outro lado, a validação compreendeu em comparar a produtividade simulada pelo modelo, utilizando os parâmetros da cultura que obtiveram o melhor ajuste de calibração de cada tratamento de irrigação, com as produtividades observadas no experimento (NAIN e KERSEBAUM, 2007).

O desempenho do modelo foi avaliado usando os seguintes parâmetros estatísticos: erro de previsão (Pe), índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (E), erro médio absoluto (MAE), raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado (RMSEN) e do índice Willmott (d). Tanto as estatísticas de Pe e d foram usadas para definir a robustez do modelo, bem como para prever os valores, enquanto Pe, RMSEN e MAE foram usados para avaliar o erro de previsão do modelo.

$$Pe = \frac{(S_i - O_i)}{O_i} \times 100 \quad (8)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (9)$$

$$RMSEN = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \times 100 \quad (10)$$

$$MAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)}{N}}$$

(11)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum \left( |S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}| \right)} \quad (12)$$

Em que:

$S_i$  e  $O_i$ : são valores simulados e observados, respectivamente.

$\bar{O}_i$  : valor médio de  $O_i$

N: representa o número de observações

Quando E e d se aproximam de um, e Pe, RMSEN e MAE aproximam-se de zero, representam indicadores positivos de desempenho do modelo. A simulação é considerada excelente se RMSEN for inferior a 10%; isto é, bom se ele for de 10% a 20%; razoável quando se trata de 20% e 30%; e ruim quando é maior que 30%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Propriedades físicas do solo

Na Tabela 2 são apresentadas as características físicas do solo da área de estudo (EstAgro). Com isso, percebe-se que o solo foi classificado como Areia Franca, apresentando uma característica que deve ser levada em consideração para tomada de decisão sobre o planejamento de irrigação.

**Tabela 2.** Resumo das propriedades físicas do solo na área experimental

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Classificação textural	Densidade do solo g/cm <sup>3</sup>	Densidade de partículas g/cm <sup>3</sup>	Porosidade (%)
	Areia	Silte	Argila				
10	79,97	14,04	6,00	Areia Franca	1,29	2,73	52,68
20	81,99	11,02	7,00	Areia Franca	1,26	2,71	53,41
30	83,48	10,53	6,00	Areia Franca	1,34	2,73	51,13
40	82,00	10,52	7,49	Areia Franca	1,33	2,73	51,30
50	82,98	10,53	6,50	Areia Franca	1,36	2,71	49,97
60	82,96	10,54	6,50	Areia Franca	1,43	2,69	46,84
70	84,99	10,02	4,99	Areia Franca	1,49	2,71	45,02

Quanto à granulometria, constatou-se a predominância de suaves tendências de aumento da concentração de areia e diminuição do silte, em função das profundidades de 10 até 70 cm. Já a argila não apresentou tendência bem definida ao longo da variação destas profundidades. Por fim, as densidades do solo e partículas apresentaram pouca variação, diferente da porosidade que predominou uma diminuição com o aumento da profundidade.

A classificação do solo em areia franca colaborou para a determinação da irrigação diária pela dificuldade deste solo em reter água por longo intervalo de tempo mediante a alta concentração de areia em todas as camadas.

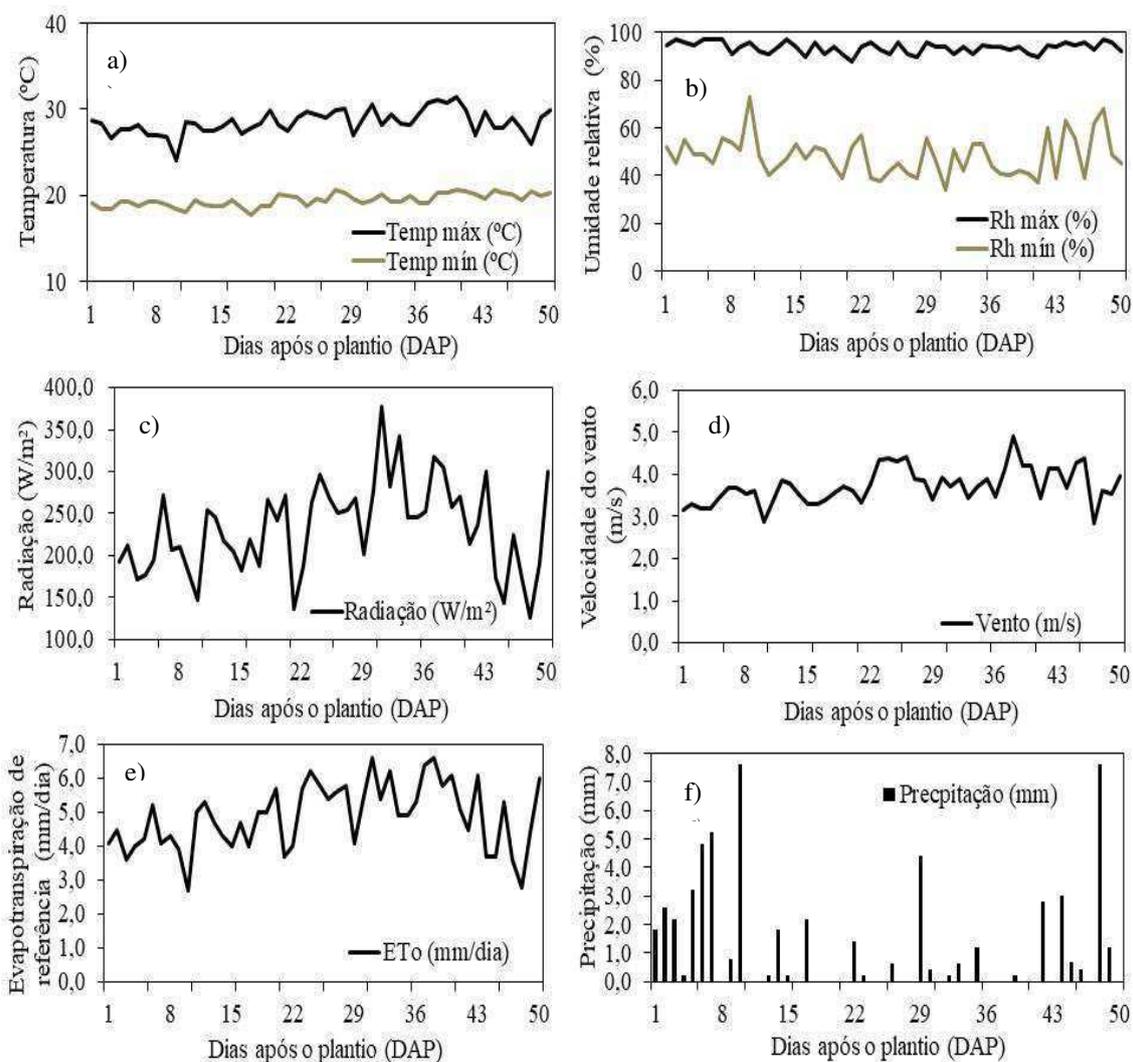
#### 4.2. Características climáticas do local de estudo

Os valores das variáveis meteorológicas durante a realização do experimento com a cultura do coentro na região de Campina Grande, PB, são apresentados na Tabela 3. A precipitação total durante o período experimental (07/09/2017 – 26/10/2011) foi de 57,7 mm. A temperatura do ar e umidade relativa máxima e mínima apresentaram valores médios de 28,5°C, 19,4 °C e 94% e 48%, respectivamente, enquanto a velocidade média do vento atingiu o valor de 3,7 m/s<sup>-1</sup> e a insolação total foi de 484,4 horas.

**Tabela 3.** Dados meteorológicos durante o período experimental da região de Campina Grande, PB em 2017

Variáveis	PRP (mm)	V. Vento (m/s)	T.mín (°C)	T.máx (°C)	UR máx (%)	UR mín (%)	Insolação (h,min)
Total	57,7	-					484,4
Média	-	3,7	19,4	28,5	94	48	9,7
Valor máx	7,6	4,9	20,7	31,5	97	73	15,7
Valor mín	0,0	2,8	17,8	24,0	88	34	5,3

Na Figura 7 são exibidas as variáveis meteorológicas coletadas durante o experimento realizadas na área experimental do EstAgro na Universidade Federal de Campina Grande. Durante o experimento as temperaturas máximas e mínimas do ar e umidade máxima e mínima do ar apresentaram média de 28,5°C, 19,4°C, 94% e 48%, respectivamente, sendo a precipitação total de 57 mm e a evapotranspiração de referência máxima e mínima 6,6 e 2,7 mm d<sup>-1</sup> respectivamente. De acordo com essa figura, a evapotranspiração de referência (Fig. 7E) e precipitação (Fig. 7F), para o período do experimento, observa-se que nos dias em que houve máxima precipitação (dias 16 de setembro e 24 de outubro) foi de 7,6 mm. Os maiores valores de ETo foram nos dias 07 de outubro e 14 de outubro com 6,6 mm. Com isso, constata-se que nos dias em que não houve precipitação, a ETo foi maior e quando houve, a ETo foi menor.



**Figura 7.** Dados meteorológicos: a) temperaturas do ar (°C) máxima e mínima, b) umidades relativas do ar (%) máxima e mínima, c) radiação solar (W/m<sup>2</sup>), d) velocidade do vento (m/s), e) evapotranspiração de referência (mm/dia) e f) precipitação (mm/dia), ocorridos durante o experimento realizado na área experimental EstAgro

#### 4.2.1. Demanda hídrica do coentro para o período de estudo

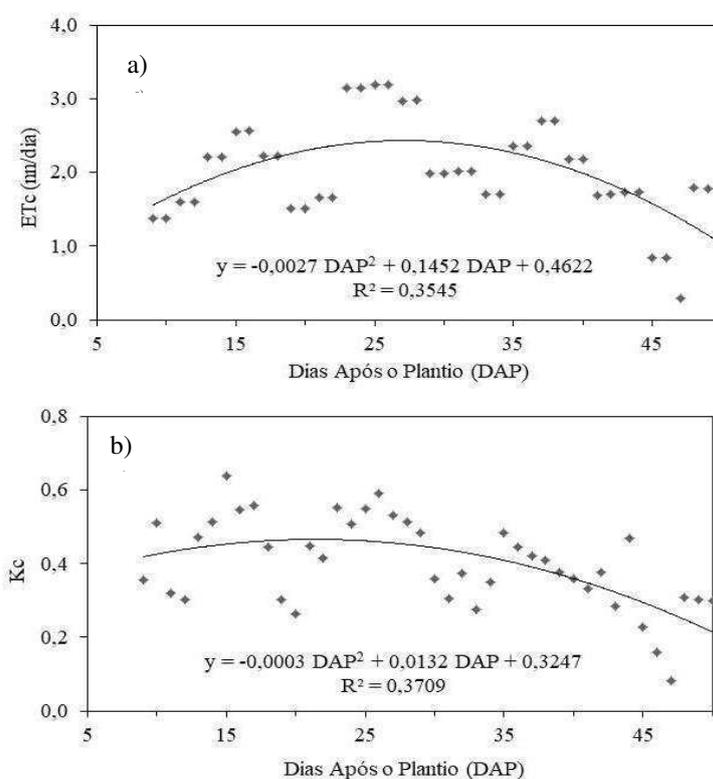
Na Tabela 4 são apresentadas as lâminas aplicadas para atender à necessidade hídrica total do coentro do DAP 7 até o DAP 50 (final do estudo) para cada tratamento utilizado no estudo.

**Tabela 4.** Total de água aplicada em cada tratamento durante o experimento

Condição de manejo	Água total aplicada (mm)
Tratamento 1 (100% ETo)	198,0
Tratamento 2 (75% ETo)	148,5
Tratamento 3 (50% ETo)	99,0

#### 4.3. Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo

Através dos dados obtidos pelo balanço hídrico do solo, obteve-se a Figura 8 que exhibe a evapotranspiração do coentro da variedade tabocas, assim como seu coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), cultivado na região de estudo.



**Figura 8.** Curso diário: a) evapotranspiração (mm) e b) coeficiente de cultivo do coentro (linha sólida) e valores médios semanais (losangos preenchidos) durante o ciclo da cultura do coentro

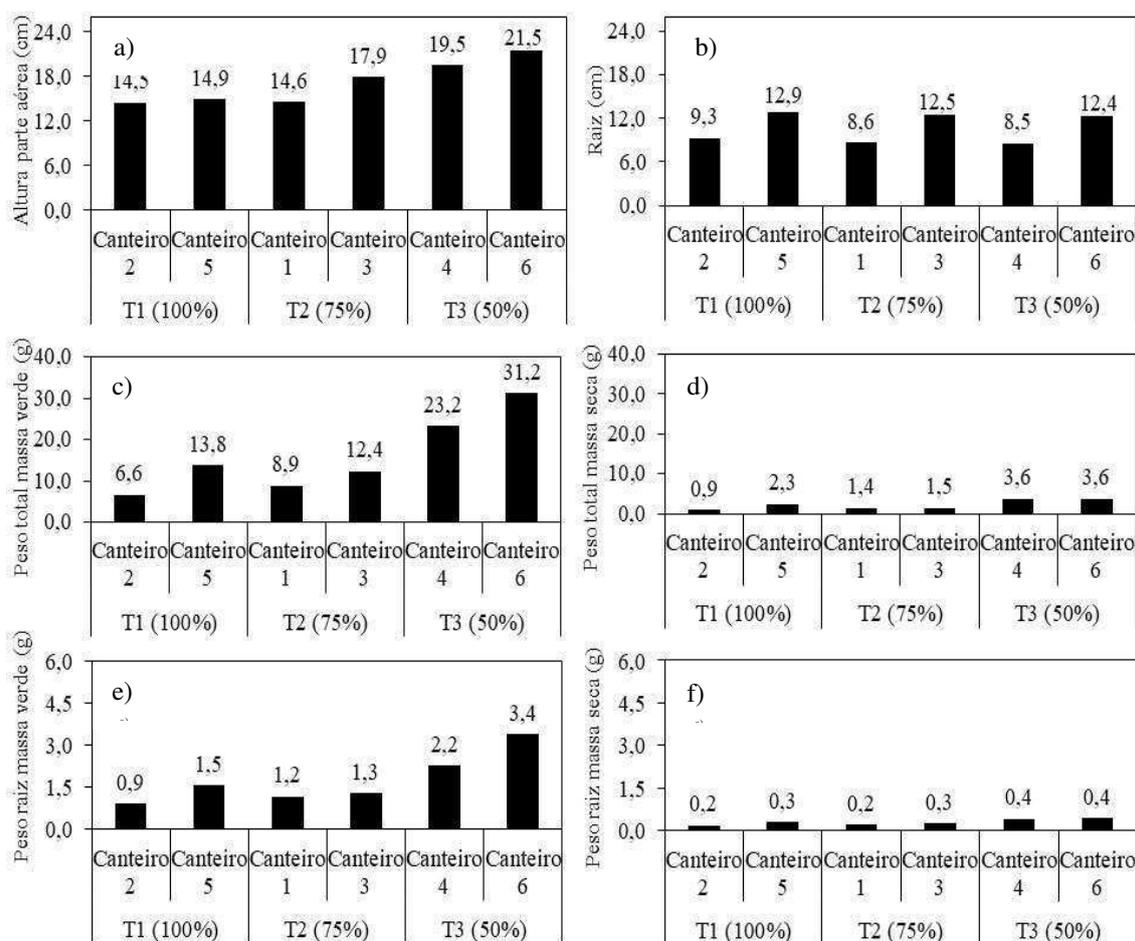
A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) em função do DAP é dada pela relação:  $y = -0,0027 DAP^2 + 0,1452 DAP + 0,4622$  com coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,3545$ . A evapotranspiração média para o coentro na região de Campina Grande, PB é  $ET_c = 2,02$  mm. Já os valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do coentro, também obtido pelo método balanço hídrico no solo em função dos dias após o plantio (DAP) pode ser

obtido pela equação:  $y = -0,0003 \text{ DAP}^2 + 0,0132 \text{ DAP} + 0,3247$  com  $R^2 = 0,3709$ . O coeficiente de cultivo médio do coentro foi de 0,40.

Os resultados obtidos neste trabalho foram diferentes daqueles encontrados por FILHO (2006) com 3,11 mm ETc e 0,80 Kc. Por outro lado, SOUSA (2011) encontrou ETc médio do coentro de 3,00 mm Kc = 0,80; TAVARES (2012) encontrou ETc = 4,60 mm e Kc = 0,96. Em outro estudo, TAVARES (2016) encontrou ETc = 2,35 mm e Kc = 0,65 para o período do inverno, sendo este o mais próximo do resultado encontrado neste trabalho. Portanto, infere-se que os valores de ETc e Kc de uma cultura de coentro pode variar em função da variedade, local de cultivo e data de plantio.

#### 4.4. Variáveis fenométricas

Na Figura 9 encontram-se os resultados do comportamento médio dos valores das variáveis fenométricas do coentro, para os 3 tratamentos de reposição de água (100, 75, e 50% da ETo) da necessidade hídrica da cultura coletados no fim do ciclo da cultura. Através da Figura 9a é possível verificar que as médias que o do tratamento de 50% ETo apresentou o maior valor da altura da parte aérea da planta (21,5g) e o menor valor no tratamento de 100% (14,5 g). Quanto à raiz (Figura 9b), houve médias em semelhantes nos tratamentos de 100,75 e 50%. Observa-se que o peso total da massa verde (Figura 9c) também teve as maiores médias (23,2 e 31,2g) no tratamento de 50% ETo e as menores médias para os tratamentos de 100 e 75% ETo. Para o peso total da massa seca (Figura 9d) é verificado o mesmo, onde as maiores médias são do tratamento de 50% ETo (3,6 g para ambos os canteiros) e os menores para os tratamentos de 100 e 75% ETo.



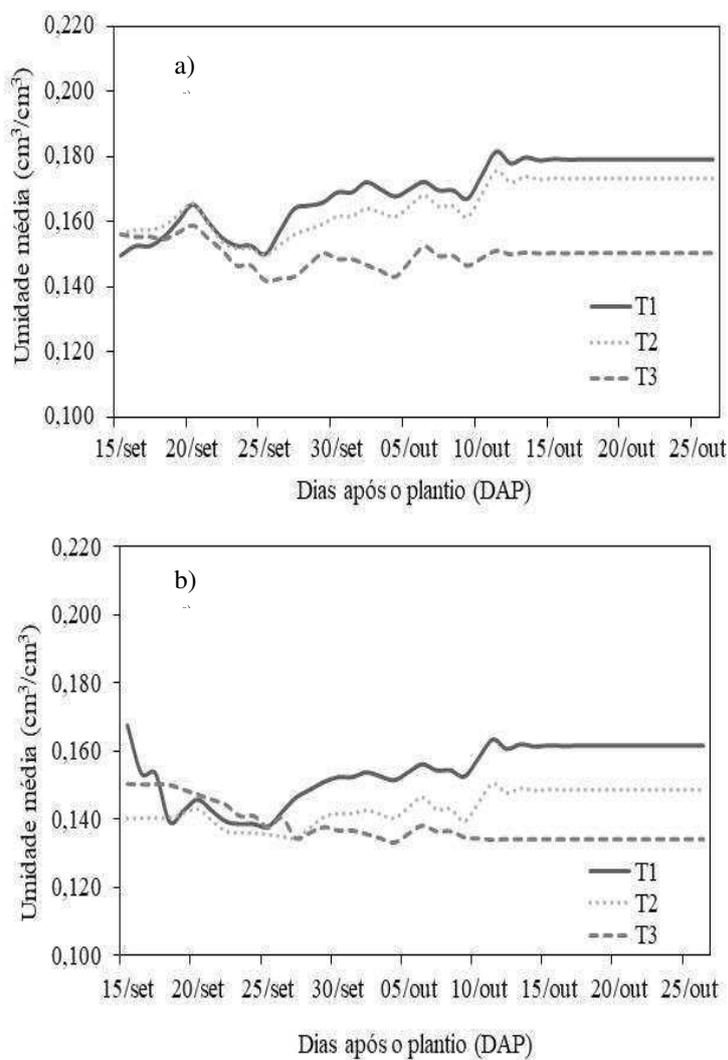
**Figura 9.** Média das variáveis fenológicas de coentro: a) altura parte aérea (cm); b) peso total massa verde (g); c) peso total massa seca; d) peso raiz massa verde (g); e) peso raiz massa seca (g) e f) raiz, para cada canteiro correspondente a cada tratamento

O peso da massa verde (Figura 9e) também apresentou o mesmo padrão, onde as maiores médias foram encontradas no tratamento de 50% ETo (2,2 g) e as menores, para os outros tratamentos. Já para o peso da raiz massa seca (Figura 9f), observa-se um comportamento similar entre os tratamentos, onde todos apresentaram médias próximas. De um modo geral, o tratamento de 50% ETo apresentou características fenológicas da cultura bastante favorável, indicando que o aumento do volume de água na irrigação do coentro não proporciona aumento de suas principais variáveis de crescimento.

#### 4.5. Umidade média do solo.

Na Figura 10 é exibido o curso diário da umidade média do solo para os níveis as profundidades de 10 e 20 cm, obtida através da sonda de capacitância Diviner 2000.

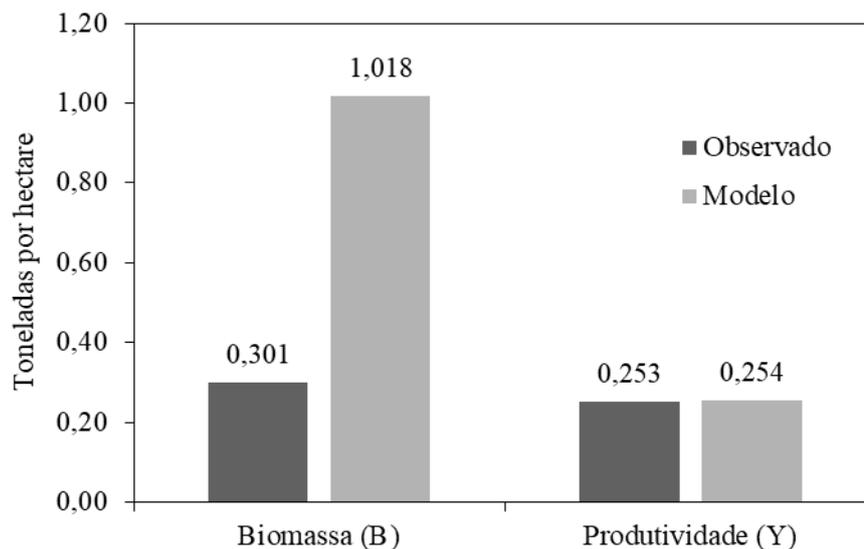
A umidade do solo nos níveis de 10 e 20 cm para cada tratamento indica que o tratamento 1 tem os maiores valores pois recebe 100% da ETo, ou seja, a planta não passa por estresse hídrico; já em relação aos tratamentos 2 e 3 receberam 75% e 50% da ETo respectivamente, ou seja, a planta pode ter passado por período de estresse hídrico.



**Figura 10.** Umidade média do solo para os níveis: a) 10 e b) 20 cm de profundidade respectivamente, durante o ciclo na área experimental.

#### 4.6. Calibração do modelo.

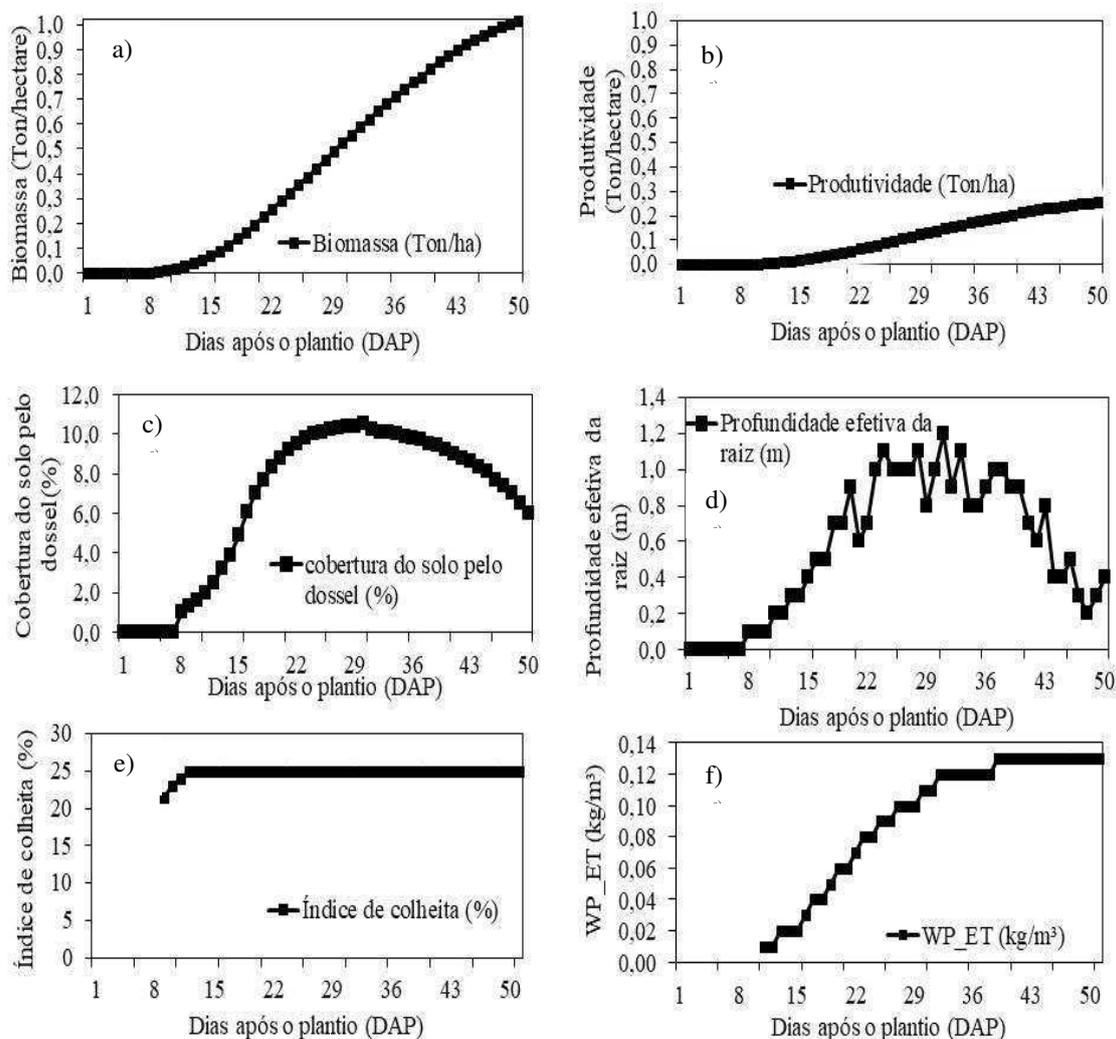
A Figura 11 exibe a comparação entre os valores obtidos no experimento de campo com os valores do modelo Aquacrop para a biomassa total (B) e a produtividade (Y).



**Figura 11.** Valores observados e simulados pelo AquaCrop no processo final de calibração para a cultura do coentro durante o experimento.

No processo de calibração foram feitos os ajustes dos parâmetros presentes no modelo com base nos dados obtidos em condições reais de campo para o tratamento de 100% ETo. Com isso, foi possível obter um ajuste que tivesse maior aproximação entre os resultados observados e os simulados.

A Figura 12 apresenta várias informações importantes sobre a calibração do modelo Aquacrop. A formação inicial da biomassa total se deu no DAP 9, com valor de 1 ton/ha, enquanto para a produtividade sua formação no DAP 11 foi de 0,254 ton/ha. A cobertura do dossel atingiu seu máximo em torno do DAP 30, já a profundidade efetiva máxima da raiz foi atingida em torno do DAP 31 tendo algumas oscilações durante o período de estudo. O índice de colheita teve comportamento semelhante à biomassa, com início no DAP 9, mantendo-se constante até o final do período de estudo e a produtividade apresentou valor de 0,13 kg/m<sup>3</sup>, com início de sua formação no DAP 39.



**Figura 12.** Variáveis da cultura geradas pelo modelo AquaCrop após a calibração local para: a) biomassa (Ton/ha); b) produtividade (Ton/ha); c) cobertura do solo pelo dossel (%); d) profundidade da raiz (m); e) índice de colheita (%) e f) produtividade em função da demanda de água evapotranspirada pela cultura (kg/m<sup>3</sup>) após a calibração local

Depois de ajustar os parâmetros do modelo e comparar com os resultados observados, chegou-se ao conjunto de valores para os parâmetros conservativos e não conservativos que foram utilizados para a calibração do modelo, apresentados na Tabela 5 a seguir.

**Tabela 5.** Parâmetros conservativos e não conservativos da cultura obtidos na parametrização e utilizados na validação do modelo AquaCrop para o coentro

Parâmetros	Valores
Conservativos	Todos os tratamentos
Temperatura mínima basal (Tn) (°C)	10,0
Temperatura máxima basal (Tb) (°C)	30,0
Cobertura do solo pelo dossel com 90% de emergência (CC <sub>0</sub> ) (cm <sup>2</sup> )	5,0
Densidade de planta (planta. ha <sup>-1</sup> )	167,0
Produtividade de água da cultura normalizada para ETo e CO <sub>2</sub> (WP*) (g m <sup>-2</sup> )	17,0
Não conservativos	T1 (100% ETo)
Tempo da sementeira até a emergência (dia)	7
Tempo de emergência de 90% das plântulas (dia)	8
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	11
Tempo da sementeira até o início da senescência (dia)	30
Tempo da sementeira até a maturação (dia)	50
Profundidade efetiva máxima das raízes (m)	0,40
Tempo da sementeira até profundidade máxima de enraizamento (dia)	35
Índice de colheita de referência (%)	25

#### 4.7. Validação do modelo para a cultura do coentro.

A metodologia de validação do modelo AquaCrop para este estudo foi possível através da comparação entre os valores observados em condições de campo com os simulados pelo modelo. Com isso foi feita a comparação dos resultados finais encontrados para os tratamentos de 75 e 50% ETo visualizado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop para os tratamentos de 75 e 50% de reposição da necessidade hídrica da cultura

Tratamentos	Biomassa (ton/ha)		Produtividade (ton/ha)	
	Observado	Simulado	Observado	Simulado
T2-75%	0,270	1,018	0,223	0,254
T3-50%	0,686	1,004	0,614	0,251

A validação para a biomassa não foi bem representativa, pois o modelo superestimou os resultados para os tratamentos de 75 e 50% ETo. Por outro lado, já para a produtividade o modelo simulou bem quando comparado ao dado observado. Para comprovar a acurácia do modelo, a Tabela 7 exhibe as estatísticas necessárias para avaliar o seu desempenho.

**Tabela 7.** Estatísticas utilizadas na validação do modelo AquaCrop para biomassa total (ton/ha) e produtividade (ton/ha) do coentro

Estatística	Biomassa (B)	Produtividade (Y)
Pe	111,0	-40,0
E	-6,6	-0,7
RMSEN (%)	120,0	62,0
MAE	0,6	0,3
d	0,4	0,5

Analisando os parâmetros estatísticos presentes na Tabela 7 foi possível perceber que o erro de previsão (Pe) foi considerado ruim tanto para a biomassa quanto para a produtividade do coentro, pois ambos os resultados não aproximaram-se de zero. O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (E) também não foi considerado satisfatório para a biomassa e a produtividade. Já índice de Willmont (d) foi considerado razoável para ambas variáveis da cultura, pois quanto mais próximo de um, maior o desempenho positivo do modelo.

A raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado (RMESN) também não apresentou resultado satisfatório, pois se obteve resultado maior que 30%. Finalmente, o erro médio absoluto (MAE) foi considerado excelente tanto para a biomassa quanto para

a produtividade, pois os mesmos se aproximaram de zero, o que indica desempenho positivo do modelo.

A intenção do presente estudo foi a calibração para o tratamento de 100% e validação para os tratamentos de 75 e 50% da ETo. Apesar dos parâmetros estatísticos não terem sido satisfatórios para a biomassa, os resultados para a produtividade foram mais representativos. O modelo superestimou a biomassa para a validação dos tratamentos de 75 e 50% ETo. Os resultados indicam que o tratamento de 100% é o mais adequado para a produção do coentro na região. GARCÍA-VILA e FERERESA (2012), ao avaliar o AquaCrop para quatro diferentes culturas no sudoeste da Espanha, identificaram que a produtividade é subestimada em até 11% para os tratamentos com irrigação deficitária.

Apesar do desempenho do modelo ter sido pouco satisfatório, principalmente em face da qualidade dos dados coletados no experimento, ressalta-se que o modelo AquaCrop, pode ser visto como uma ótima ferramenta de auxílio nas estratégias de campo.

## **5. CONCLUSÕES**

1. A lâmina recomendada para obtenção de maior produtividade do coentro na região de estudo é de 100% ETo, ressaltando-se, também, que, a lâmina de 75% ETo também representa bons níveis de produtividade da cultura.
2. A evapotranspiração média da cultura do coentro para a região de Campina Grande, PB foi de de 2,02 mm/dia e o coeficiente de cultivo de 0,40.
3. O tratamento de 50% ETo apresentou características fenológicas da cultura do coentro bastante favorável, indicando que o aumento do volume de água na irrigação da cultura não proporciona aumento de suas principais variáveis de crescimento.
4. Os valores médios da evapotranspiração e coeficiente de cultivo da cultura do coentro pode variar em função de sua variedade, local de cultivo e data de plantio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCSEM – Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças. Dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil, 2015. Disponível em <<http://www.youblisher.com/p/1166679-Manual-Tecnico-para-Cultivo-de-Hortalicas-ABCSEM>>  
Acessado em: 04/10/2017
- ABEDINPOUR, M.; SARANGI, A.; RAJPUT, T.B.S.; SINGH, M.; PATHAK, H.; AHMAD, T. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, v.110, p. 55-66. 2012.
- ALENCAR, L. P. de. Parametrização e validação do modelo aquacrop para a cultura da cana-de-açúcar. 2014. 117 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome, 300 p, 1998.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R. da; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, p. 303-307, 2007.
- AZEVEDO, P. V. et al. Necessidades Hídricas da Cultura do Algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, n. 7, p.863-870, 1993.
- BAIER, W. Note on the Terminology of Crop-Weather Models. *Agric. Meteorol.* 20:137-145. 1979.
- BLUM, F. A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Res.* v.112, p.119–123. 2009.

- BURMAN, R. D., NIXON, P. R., WRIGHT, J. L. O. Water Requeriments. In: Jensen, M.E. (ed.). Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, p.189-232, 1983.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB., 306p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33. 1994.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop Water Requeriments. FAO Irrigation Drainage. Paper No. 24, FAO, Rome, Italy, 1977.
- FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. ETo Calculator. Manual (38p) e software Version 3.2. 2012.
- FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de Referência para Manejo da Irrigação em Cultura de Soja, Irriga, Botucatu, v.8, n.2, p.132-141, maio-agosto, 2003.
- FERREIRA, A. M. M.; BERNARDO, A. P.; BEZERRA, I. S.; Avaliação das medidas de requalificação ambiental do açude de Bodocongó em Campina Grande/PB. Revista Ambiental V.1, n. 3, p.46-55, Jul/Set, 2015. Disponível em <[www2.fpb.edu.br/revista/index.php/eng\\_amb/article/download/77/56](http://www2.fpb.edu.br/revista/index.php/eng_amb/article/download/77/56)> Acessado em: 14/10/2017.
- FERREIRA, F. M. Epidemiologia de Doenças Radiculares na Cultura do Coentro no Município de Arapiraca-AL. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo. 2013.
- FILGUEIRA, F. A. R. Manual de olericultura-Cultura e comercialização de hortaliças, v.2. São Paulo-SP, 1982.
- FILHO, J.A. C. A. Eficiência dom uso da água no cultivo do coentro e da salsa na presença de um polímero hidroabsorvente. 107p. (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB: UFCG, 2006.

- GARCIA-VILA, M., FERERES, E. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. *Eur. J. Agron.* v. 36, p. 21–31, 2012.
- GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C. L. DE.; NEGREIROS, M. Z. DE.; MARROCOS, S. DE T. P.; LUCENA, R. R. M DE.; OLIVEIRA, R. A. DE. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural de Pernambuco*, vol. 6, núm. 1, pp. 11-16, 2011.
- GEERTS, S., RAES, D. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agric. Water Manage.* 96, 1275–1284. 2009.
- GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. *Agricultural Water Management*, v.102, p.1-7, 2011.
- GOMES et. al. Estimativa da evapotranspiração e coeficiente de cultivo da *Heliconia psittacorum* L x *H. spathocircinata* (Arist) cultivada em ambiente protegido. *Revista Ciência Agronômica* v.37, n.1, p.13-18, 2006. Disponível em <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195317425003>> Acessado em 14/10/2017.
- HAAG, H. P.; MINAMI, K. Nutrição mineral em hortaliças. 2 ed., Campinas: Fundação Cargill, p.28-29, 1998.
- HSIAO, T.C., HENG, L.K., 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. *Agron. J.* v.101, pp. 448–459. 2009.
- JAME, Y.W.; CUTFORTH, W. Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v.76, p. 9-19. 1996.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba: O Autor, 2000, 509p.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A.C. D.; SOARES, W. de A.; SOUZA, E. S.de; LIRA, C. A. B. de O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi Revista Brasileira de Ciências Agrárias,. Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, vol. 1, núm. 1, 2006, pp. 89-95, 2006.

MARQUES, F.C.; LORENCETTI, B.L. Avaliação de três cultivares de coentro (*Criandrum sativum*L.) semeadas em duas épocas. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 265-270, 1999.

MARTINS, M. A et al. Calibração do Modelo Aquacrop para Estimativa de Rendimento de Milho no Semiárido do Brasil. Anais Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2015. Disponível em <<http://www.muz.ifsuldeminas.edu.br/cbagro2015/images/docs/AnaisCBAgro2015.pdf>> Acessado em: 14/10/2017.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; Sakai, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: Erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. Acta Scientiarum, v.26, p.513-519, 2004

MELO, E.A. et al. Antioxidant activity of coriander extracts (*Coriandrum sativum* L.). Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.23, p.195-199, 2003.

MELO, R. A.; MENEZES, D.; RESENDE, L. V; WANDERLEY JÚNIOR, L. J. G.; SANTOS, V. F.; MESQUITA, J. C. P.; MAGALHÃES, A. G. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de coentro. Horticultura Brasileira, v.27, n.3, p.325-329, 2009.

MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop modelling. Agron. Journal, v. 88, p. 695-697, 1996.

NAIN, A.; KERSEBAUM, K.. Calibration and Validation of CERES Model for Simulating. Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil–Crop Systems., p.161–181. 2007.

- NARAYANAN, K. B.; SAKTHIVEL, N. Coriander leaf mediated biosynthesis of gold nanoparticles. *Materials Letters*, v.62, p.4588-4590, 2008.
- NASSIF, D.S.P. Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- OLIVEIRA, A.P.; SILVA, V.R.F.; SANTOS, C.S.; ARAÚJO, J.S.; NASCIMENTO, J.T. Produção de coentro cultivado com esterco bovino e adubação mineral. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 477-479, 2002.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)-ração. 1 ed. Piracicaba: FEALQ, 183p. 1997.
- RAES, D., STEDUTO, P., HSIAO, T.C., FERERES, E. AquaCrop—the FAOCrop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. *Agron. J.* n.101, p.438–447. 2009.
- RAES et al. Reference Manual: AquaCrop Version 3.1 plus. Rome, Italy: FAO. 2011.
- REICHARDT, K. Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. 4 ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985, 445p.
- SARIMESELI, A. Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Energy Conversion and Management*, v.52, p.1449-1453, 2011.
- SILVA, V. P. R. On climate variability Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments* n.58, p.575-596, 2004.
- SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments* n.58, p.575-596, 2004.
- SMITH, M. Report on the expert consultation on produces for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. Rome, p.54, 1991.

- SOUSA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; NETTO, A. O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.14, n.6, p.633–644, 2010.
- SOUSA, I. F. et al. Estudo do Coeficiente de Cultura do Coentro na Região Agreste do Estado de Sergipe. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2011. Disponível em <<http://www.sbagro.org.br/bibliotecavirtual/arquivos/3432.pdf>> Acessado em: 03/11/2017.
- STETUTO, P. et al. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*. v. 101, Issue 3. 2009.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação. Embrapa- CNPAF, Santo Antônio de Goiás. 49 p, 1995.
- TAVARES, A, L. Fenometria, Produtividade e Necessidades Hídricas das Culturas da Alface e do Coentro em Clima Tropical, Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande. 2016.
- TAVARES, A, L. Consumo Hídrico e Coeficientes de Cultivo Simples e Duas do Coentro, Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande. 2012.
- TEIXEIRA et al. Consumo Hídrico e Coeficiente de Cultura da Videira na Região de Petrolina, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p.413-416, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB 1999.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

ZHANG, C.-R., DISSANAYAKE, A., KEVSEROGLU, K., NAIR, M. Evaluation of coriander spice as a functional food by using in vitro bioassays. *Food Chemistry*, 167, 24-29, 2014.