

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

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Gábio Stalin Soares Almeida**

**Modelagem agrometeorológica da Alface (*Lactuca Sativa*) cultivada em diferentes condições edafoclimática no estado da Paraíba**

**Campina Grande, Fevereiro de 2022**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**GÁBIO STALIN SOARES ALMEIDA**

**MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA ALFACE (LACTUCA SATIVA)  
CULTIVADA EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

**Campina Grande-PB**

**Fevereiro de 2022**

**GÁBIO STALIN SOARES ALMEIDA**

**AGROMETEOROLOGICAL MODELING OF LETTUCE (LACTUCA SATIVA)  
GROWN IN DIFFERENT EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS IN THE STATE  
OF PARAÍBA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Meteorologia da Universidade Federal de  
Campina Grande, na área de  
Agrometeorologia.

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

**Campina Grande-PB**

**Fevereiro de 2022**

A447m Almeida, Gábio Stalin Soares.  
Modelagem agrometeorológica da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em diferentes condições edafoclimáticas no Estado da Paraíba / Gábio Stalin Soares Almeida. – Campina Grande, 2022.  
84 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".

Referências.

1. Meteorologia.
2. Agrometeorologia.
3. Agricultura Familiar.
4. Balanço Hídrico.
5. Meteorologia Agrícola.
6. Micrometeorologia.
7. AquaCrop. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Título.

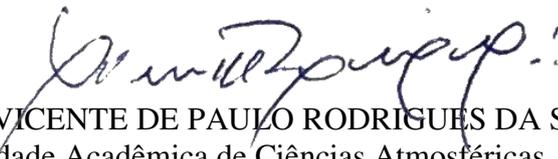
CDU 551.5(043)

GABIO STALIN SOARES ALMEIDA

MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA ALFACE (LACTUCA SATIVA)  
CULTIVADA EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO ESTADO  
DA PARAÍBA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/02/2022

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. JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS  
Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde  
Universidade Estadual da Paraíba.

**DEDICATÓRIA**

*Primeiramente à  
Deus por capacitar e nunca deixar desistir. Aos meus pais, Francisco Soares Lima e  
Maria Nilda de Almeida Silva, a minha filha Nicole Cordeiro Soares e todos os demais  
familiares, eu dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por tudo, para que pudesse seguir em frente e nunca desistir, colocando pessoas que puderam me ajudar e contribuir para meu crescimento.

Aos meus pais, Francisco Soares Lima e Maria Nilda de Almeida Silva, que sempre estiveram juntos comigo, mostrando o caminho certo e dando todo apoio necessário, não seria nada sem ajuda deles.

A minha filha, Nicole Cordeiro Soares, pela toda paciência quando não podia estar com ela, pelo seu carinho e amor.

Aos meus irmãos, Alberto Luciano Soares Almeida e Thaizy Paloma Soares Almeida pelo apoio e toda ajuda nesse período.

Aos meus avós maternos, Santino Ademar da Silva e Francisca Alexandre de Almeida e aos meus avós paternos João Pereira Lima (*in memoriam*) e Geracina Soares Brasileiro (*in memoriam*) por todos ensinamentos.

Ao professor Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela orientação e todo o conhecimento transmitido.

Aos Professores Madson Tavares da Silva e João Hugo Baracuy da Cunha Campos, pelas contribuições e orientações.

Agradeço ao meu amigo Daniel Baracuy da Cunha Campos, pelo incentivo e conselhos para retornar aos estudos.

À Maria Luiza que foi uma das maiores incentivadora durante esse período e mesmo de maneira remota estava todos dias comigo, escutando minhas reclamações e dando apoio.

Agradeço a todos de Araruna, Leandro e Alex por todo suporte dado durante o período de observação.

Agradeço a todos meus amigos de infância, Ramon Torres, Marvin Patrick, Marcus Vinicius, Paulo César e aos demais, do colégio, e da graduação pela amizade, confiança e apoio.

Agradeço também as amizades recente, Leonardo Costa, Gracivânia Oliveira e aos demais, mesmo com pouco tempo de amizade me ajudaram bastante.

Aos colegas Silvia Dantas e Francisco Edson, pela ajuda no manejo, nas operações dos equipamentos e pelas contribuições na pesquisa.

Agradeço a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pelos ensinamentos transmitido das disciplinas do curso.

Agradeço a todos que contribuiu direta e indiretamente durante as disciplinas e pesquisa.

A todos, o meu agradecimento e carinho.

**“Nossos sonhos são os mesmos há muito tempo  
Mas, não há mais muito tempo pra sonhar”**

**Humberto Gessinger**

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVOS .....	17
3.1. Objetivo Geral.....	17
3.2 Objetivos Específicos.....	17
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	18
4.1 Cultura da Alface .....	18
4.2 Agricultura Familiar .....	19
4.3 Consumo Hídrico .....	20
4.4 Balanço Hídrico do Solo.....	21
4.5 Coeficiente de Cultivo .....	22
4.6 Modelagem Agrometeorológica .....	23
4.6.1 AquaCrop .....	23
4.6.2 QGIS.....	24
4.7 Veículo Aéreos Não Tripulados .....	25
5. REFERÊNCIAS .....	27
PRODUÇÃO DA ALFACE EM .....	34
CONDIÇÕES DE AGRICULTURA FAMILIAR.....	34
1. INTRODUÇÃO .....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	37
2.1 Localização da área de estudo .....	37
2.2 Instalação do experimento .....	38
2.3 Semeadura e tipo de Cultura.....	38
2.4 Manejo de pragas, plantas espontâneas e doenças.....	40
2.5 Dados meteorológicos.....	40
2.6 Irrigação e Cultura .....	41
2.6.1 Sistema de irrigação.....	42
2.7 O modelo AquaCrop .....	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
3.1 Análise de variáveis .....	43
3.1.1 Dados meteorológicos .....	43
3.1.2 Irrigação.....	44

3.2	Modelagem com o AquaCrop.....	45
4.	CONCLUSÃO .....	48
5.	REFERÊNCIAS .....	49
CAPÍTULO 3 .....		51
MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA PRODUÇÃO DA ALFACE CRESPA NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DA PARAÍBA.....		51
1.	INTRODUÇÃO .....	53
2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	55
2.1	Localização da área de estudo .....	55
2.1	Instalação do experimento .....	56
2.2	Semeadura e tipo de Cultura.....	56
2.3	Manejo de pragas, plantas espontâneas e doenças.....	58
2.4	Dados meteorológicos.....	58
2.5	Delineamento experimental .....	59
2.6	Irrigação e Cultura .....	59
2.6.1	Sistema de irrigação.....	60
2.6.2	Coeficiente de cultivo.....	60
2.6.3	Evapotranspiração de referência.....	61
2.6.4	Manejo da irrigação .....	61
2.7.5	Balanco hídrico .....	63
2.7	O modelo AquaCrop .....	64
2.8	Eficiência do uso da água .....	66
2.9	Índices de vegetação .....	66
2.9.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	67
2.10	Análise estatística .....	67
2.10.1	Acurácia do modelo.....	67
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69
3.1	Análise de variáveis .....	69
3.1.1	Dados meteorológicos .....	69
3.1.2	Irrigação.....	70
3.1.3	Umidade do Solo .....	71
3.2	Evapotranspiração da cultura.....	72
3.3	Coeficiente de cultivo .....	73
3.4	Eficiência do uso da água .....	74
3.5	Modelagem com o AquaCrop.....	74
3.5.1	Calibração do AquaCrop .....	74

3.5.2	Validação do AquaCrop .....	76
3.6	Índices de vegetação .....	77
3.6.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	77
4.	CONCLUSÃO .....	80
5.	REFERÊNCIAS .....	81
	CAPÍTULO 4 .....	84
	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	84

**MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA ALFACE (LACTUCA SATIVA)  
CULTIVADA EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

**RESUMO**

As condições climáticas da região do semiárido é um desafio para a produção agrícola, principalmente para os agricultores familiares que além dos fatores climáticos sofrem com a falta de conhecimento e tecnologia para um melhor desempenho da produção. Outro problema relacionado a água encontrado na região é a falta de reservatórios de água, alta evaporação dos reservatórios existentes, ineficácia no armazenamento e perda de água como sistemas de irrigação ineficaz, tornando uma agricultura sem sustentabilidade. Os agricultores familiares são responsáveis por parte da produção de hortaliças na região, geralmente próximo ao perímetro urbano dos municípios. A alface é uma hortaliça típica de regiões temperadas o que se torna ainda mais desafiador sua produção no semiárido. Contudo isso que foi apresentado esse estudo teve como objetivo de observar e analisar a produção da alface crespa do tipo “Elba” em condições de agricultura familiar e posteriormente, foi realizado um experimento com uso de tecnologia para determinar o balanço hídrico da cultura com o apoio de uma sonda de umidade do solo. Além do uso da sonda, foi-se utilizado um drone acoplado como uma câmera infravermelha para determinar índices de vegetação. Para produtividade, em ambos os momentos foram feitas simulações para comparar com os resultados de campo através do modelo AquaCrop. Tanto o modelo quanto o resultado de campo mostraram um uso excessivo de água na produtividade da agricultura familiar sendo comprovado no experimento, entretanto, a produtividade da agricultura familiar foi maior o que indica que os outros parâmetros são responsáveis para melhores resultados, como temperatura e umidade relativa do ar.

**Palavras chaves:** AquaCrop, balanço hídrico, agricultura familiar.

**AGROMETEOROLOGICAL MODELING OF LETTUCE (LACTUCA SATIVA)  
GROWN IN DIFFERENT EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS IN THE STATE  
OF PARAÍBA**

**ABSTRACT**

The climatic conditions of the semiarid region is a challenge for agricultural production, especially for family farmers who, in addition to climatic factors, suffer from a lack of knowledge and technology for better production performance. Another water-related problem found in the region is the lack of water reservoirs, high evaporation from existing reservoirs, ineffective storage and loss of water as irrigation systems are ineffective, making agriculture unsustainable. Family farmers are responsible for part of the vegetable production in the region, usually close to the urban perimeter of the municipalities. Lettuce is a typical vegetable of temperate regions, which makes its production even more challenging in the semiarid region. However, what was presented, this study aimed to observe and analyze the production of curly lettuce of the "Elba" type under family farming conditions and later, an experiment was carried out with the use of technology to determine the water balance of the culture with the support of from a soil moisture probe. In addition to the use of the probe, a drone coupled as an infrared camera was used to determine vegetation indices. For productivity, in both moments simulations were made to compare with the field results through the AquaCrop model. Both the model and the field result showed an excessive use of water in the productivity of family farming, which was proven in the experiment, however, the productivity of family farming was higher, which indicates that the other parameters are responsible for better results, such as temperature and humidity. air relative.

**Keywords:** AquaCrop, water balance, family farming.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

<b>Figura 1.</b> Localização do município de Araruna – PB .....	37
<b>Figura 2.</b> Produção de mudas. ....	39
<b>Figura 3.</b> Mudas transplantadas para os canteiros definitivos.....	40
<b>Figura 4.</b> Estação automática EMC-U30-900 da Universidade Estadual da Paraíba....	41
<b>Figura 5.</b> Dados meteorológicos observados: a) Evapotranspiração de Referência (ET <sub>o</sub> ), b) Temperatura máxima e mínima, c) Precipitação, d) Umidade relativa do ar máxima e mínima e e) Velocidade do vento. ....	44
<b>Figura 6.</b> Irrigação das alfaves.....	45
<b>Figura 7.</b> Biomassa (B) real e simulada da área observada. ....	45

### CAPÍTULO 3

<b>Figura 1.</b> Localização do município de Campina Grande – PB .....	39
<b>Figura 2.</b> Produção das mudas.....	56
<b>Figura 3.</b> Transplante das mudas. ....	57
<b>Figura 4.</b> Estação meteorológica automática Irriplus E5000.....	58
<b>Figura 5.</b> Sistema de irrigação por gotejamento. ....	60
<b>Figura 6.</b> Sonda Diniver 2000. ....	63
<b>Figura 7.</b> Monitoramento da umidade do solo.....	64
<b>Figura 8.</b> (a) Drone Dji Mavic Pro; (b) Câmera Mapir Survey3.....	67
<b>Figura 9.</b> Dados meteorológicos da estação meteorológica automática Irriplus E5000 da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande: a) Evapotranspiração de referência, b) Temperatura do ar, c) Umidade relativa do ar, d) Radiação, e) Precipitação e f) Velocidade do vento. ....	70
<b>Figura 10.</b> Total de água aplicada por tratamento: a) T1 – 50%, b) T2 – 75%, c) T3 – 100%, d) T4 – 125% e e) T5 – 150%. ....	71
<b>Figura 11.</b> Valores médios umidade do solo por tratamento: a) T1 – 50%, b) T2 – 75%, c) T3 – 100%, d) T4 – 125% e e) T5 – 150%. ....	72
<b>Figura 12.</b> Evapotranspiração da cultura. ....	73
<b>Figura 13.</b> Biomassa (B) real e simulada.....	75
<b>Figura 14.</b> Distribuição espacial do IVDN para os dias após o transplante (A) (Estádio inicial) 26/09, (B) 30/09 e (C) 01/10 na área experimental da EstAgro.....	77

**Figura 15.** Distribuição espacial do IVDN para os dias após o transplante (A) (Estádio médio) 12/09, (B) 16/10e (C) 22/10 na área experimental da EstAgro..... 78

**Figura 16.** Distribuição espacial do IVDN para os dias após o transplante (A) (Estádio final) 27/10, (B) 30/10e (C) 03/11 na área experimental da EstAgro. .... 79

**LISTA DE TABELAS**

## CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1.</b> Parâmetros conservativos e não conservativos da alface utilizados na parametrização do AquaCrop. ....	46
<b>Tabela 2.</b> Simulações do AquaCrop para diferentes níveis de reposição hídrica. ....	46

## CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1.</b> Identificação da reposição hídrica por tratamento. ....	59
<b>Tabela 2.</b> Coeficiente de Cultivo (Kc). ....	73
<b>Tabela 3.</b> Eficiência do uso de água nos canteiros da alface com base nos dados de ...	74
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros conservativos e não conservativos da alface utilizados na parametrização do AquaCrop. ....	75
<b>Tabela 5.</b> Valores da Biomassa (B) dos valores reais e simulados para os tratamentos T1, T2, T4 e T5. ....	76
<b>Tabela 6.</b> Estatística da validação do desempenho do modelo AquaCrop. ....	76

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

A produção de hortícola tem possibilitado a geração de empregos, devido a exigência elevada de mão-de-obra, desde da sementeira até a comercialização. Segundo IBGE (2008) a área ocupada por hortaliças em 2006 é de 773,2 mil hectares, produzindo cerca de 17,4 de toneladas e gerando 2,4 milhões de empregos diretos, ou seja, 3,5 empregos/ha em áreas rurais.

A alface (*Lactuca Sativa*) é uma hortaliça da família Asteraceae tendo origem da Ásia, sendo a hortaliça mais difundida, sendo produzida em quase todos os países. No Brasil, a alface se destaca por ser a folhosa mais consumida e a hortaliça mais cultivada, apesar das restrições do seu plantio. O tipo de alface mais importante na economia é crespa, tendo preferência por 70% do mercado brasileiro, depois vem do tipo americana 15%, lisa aparece com 10% e a romana 3,1% (SUINAGA *et al.*, 2013).

A produção da alface é de maneira intensiva, geralmente, praticada por agricultura familiar, pois, seu cultivo pode ser feito com pouco espaço, pouco insumo, possui um ciclo curto podendo gerar renda durante o ano todo, o único problema é a necessidade de água, principalmente, na região Nordeste (DIAS *et al.*, 2012).

O crescimento populacional e o desenvolvimento da industrial vêm gerando uma preocupação por parte da sociedade em relação ao uso dos recursos naturais, principalmente o uso da água, devido a esse crescimento populacional a indústria alimentícia terá que produzir mais, ocupando novos espaços e conseqüente necessitando de mais recursos hídrico.

A agricultura é uma das atividades econômicas mais importantes, visto que é responsável pela produção de alimentos, tanto para os seres humanos e animais, além da produção de alimentos, a agricultura permite a produção de fibras, energia, combustíveis e matérias-primas para diversos tipos de indústrias (ABAD, 2007).

No Brasil, boa parte geração de alimentos que chegam nas mesas são oriundos da agricultura familiar. Esse tipo de agricultura é bastante comum no território nacional, se diferenciando das demais modalidades de agricultura, pois, em alguns casos a prioridade desse produtor é a sua subsistência e da sua família, além disso, existe uma relação do agricultor familiar com a terra que está além da produção, sendo seu local de moradia como também sua fonte de renda.

Entretanto, uma parte da agricultura familiar não possui nenhum ou pouco conhecimento sobre o manejo de água e o pouco conhecimento que possui veio de práticas repassadas por gerações anteriores, em alguns casos o cultivo não atingi o potencial máximo de crescimento, alguns fatores que colaboram são o estresse hídrico ou excesso de água.

Na região Nordeste, segundo IBGE (2019) 73,8% dos agricultores do Nordeste são da modalidade familiar ocupando uma área de 25.925.743 hectares. A região possui clima semiárido predominante no seu interior e a escassez de água é um fator que interfere na produção, contudo, uma parte da produção é feita através de agricultura sequeira, ou seja, depende exclusivamente do regime de chuvas. Por outro lado, as áreas rurais que possui reservatórios hídricos com um sistema de irrigação é feito por métodos poucos eficientes gerado uma perda de água. Nesse contexto, um desafio para agricultura familiar é tornar sua produção sustentável, com o uso eficaz da água.

A necessidade hídrica na agricultura tem feito que vários pesquisadores desenvolvessem diversos estudos sobre o consumo hídrico das culturas, buscando a melhor maneira de utilização desse recurso, portanto, conhecer a exigência hídrica da cultura durante todas as fases de crescimento é imprescindível. Segundo LIMA *et al.*, (2006) para melhor compreensão dos fatores da relação solo-planta-atmosfera é imprescindível conhecer as características das componentes que envolvem nestes processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas, que podem ser mesurados ou estimados pelo método do balanço hídrico.

Uma problemática que foi imposta para essa modalidade de agricultura, foi a exclusão dos médios e pequenos agricultores familiares no processo tecnológico que foram inseridos no meio rural, ficando apenas para as grandes propriedades (PESSOA & ALCHIERI, 2014).

A tecnologia na agricultura inclui o uso de diversos tipos de sensores, máquinas e sistemas integrados. Atualmente, a implementação de tecnologias sofisticadas, como o uso da robótica e principalmente de drones, estão presentes na rotina das grandes produções revolucionando os mais diferentes tipos de processos agrícolas. Além dessa tecnologia, são utilizadas tecnologias mais difundidas como sensores de temperatura e umidade, imagens aéreas e GPS. O uso dessas tecnologias está ligado a agricultura de precisão que visa a maior produção, aumento de lucros e de eficiência (PIXFORCE, 2016).

A proposta do trabalho foi organizada da seguinte maneira: O CAPÍTULO 1 apresenta a introdução contendo em conjunto os objetivos, a revisão bibliográfica e as justificativas. No CAPÍTULO 2 apresenta-se o estudo da produção da alface em condições de agricultura familiar do município de Araruna – Paraíba com simulações de produtividade com o uso do modelo AquaCrop. No CAPÍTULO 3 reservou-se em apresentar um estudo sobre o balanço hídrico da alface e índices de vegetações com o uso de tecnologia, além do uso do modelo AquaCrop. O CAPÍTULO 4 apresenta as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

## **2. JUSTIFICATIVA**

Gerar informação sobre o consumo hídrico da alface crespa do tipo “Elba” de forma clara e precisa para ser utilizada na produção em escala comercial e para o autoconsumo através de hortas familiar ou comunitária.

Habilitar o modelo AquaCrop para ser usado como ferramenta de gestão, tomada de decisões e planejamento estratégico do cultivo da alface crespa do tipo “Elba” no estudo.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo Geral**

Quantificar a necessidade hídrica da alface com diferentes tipos de tratamento e condições edafoclimáticas do Estado da Paraíba.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo da alface;
- Calibrar e validar o modelo AquaCrop para o cultivo da alface;
- Simular a produtividade da alface através do modelo AquaCrop;
- Comparar o resultado da simulação do modelo AquaCrop com a produtividade das áreas estudadas;
- Determinar índices de vegetação da cultura da alface.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Cultura da Alface

A Alface (*Lactuca Sativa L.*) é uma hortaliça folhosa que tem origem de espécie silvestre, sendo encontrada em regiões com clima temperado, no sul da Europa e na parte Ocidental da Ásia. É uma planta da família Asteraceae, que cresce em forma de roseta em torno do caule, seu caule é diminuto, podendo ser lisa ou crespa, com ou sem formação de “cabeça”, possuindo uma coloração em vários tons de verde ou roxo, conforme o cultivo (FILGUEIRA, 2003).

Pelo fato de ser uma hortaliça de temperatura temperada, as condições ideais de temperatura para o cultivo são de máxima de 30°C e de mínima de 6°C. As temperaturas elevadas podem causar má formação da “cabeça”, amargura, queimaduras nas bordas das folhas e deficiência de cálcio, por outro lado, as baixas temperaturas perto do congelamento, não danificas as plantas no estágio inicial, mas o seu desenvolvimento é lento. O congelamento danifica as folhas externas da alface maduro. Para melhor desenvolvimento da alface, a umidade relativa do ar tem que variar entre 60% a 80%, porém, em algumas fases do seu ciclo de desenvolvimento apresenta melhor desempenho com umidade relativa com valores inferiores a 60%. A umidade relativa com porcentagem acima dos 80 favorece a ocorrência de doenças (CERMAÑO, 1990; TURINI *et al.*, 2011).

A Alface é a hortaliça folhosa mais importante consumida no mundo, a principal forma de consumo é *in natura* em saladas, estando presente na alimentação humana desde de 500 a.c. (DA SILVA, 2014). Dentro dos tipos de Alface, o tipo americano vem se destacando por causa da sua coloração branca ou amarela das folhas internas, imbricadas, crocantes e semelhantes ao repolho, a mudança dos hábitos alimentares em decorrência da popularização das redes de “fast-foods” gerou o aumento do consumo desse tipo de alface (YURI *et al.*, 2004).

No Brasil, a Alface é a hortaliça de maior importância na economia sendo cultivada em todas regiões do país, seu cultivo de maneira geral é na forma de agricultura familiar, em pequenas propriedades agrícolas ou nos cinturões verdes dos centros urbanos (COSTA & SALA, 2005).

A introdução da alface no país foi feita pelos portugueses em 1650 e até a década de 80, o tipo mais consumido era a alface “manteiga”, conhecido como alface lisa. Na década de 90, segundo os dados Ceagesp (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo) a Alface lisa correspondia ainda a 51% do volume comercializado na grande São Paulo (COSTA & SALA, 2012). Atualmente, o principal tipo mais consumido

no Brasil é a alface crespa com mais de 51%, entretanto, os tipos americana, mimosa e mini vem se destacando no mercado nacional. A produção nacional chega a 1,5 milhões de toneladas por ano, localizada principalmente na região centro-sul, cerca de 35 mil hectares de área são ocupados pelo plantio da alface e gerando 5 empregos por hectares aproximadamente (SOUSA *et al*, 2014; PESSOA & JÚNIOR, 2021).

No Nordeste brasileiro, o plantio desta cultura restringe-se a pequenas áreas, com a utilização de cultivares pouco adaptados às condições climáticas da região, causando pendoamento precoce e baixa produtividade. Outros fatores que estão ligados ao problema de baixas produtividades são as faltas técnicas e tecnologias que melhorem o manejo cultural desta hortaliça (QUEIROGA *et al*, 2001). Esses aspectos climáticos da região refletem diretamente no preço e na demanda do produto no mercado, devido à procura da alface durante o ano todo. A CEASA/Pernambuco constatou a elevação do preço da alface de janeiro de 2012 em relação a dezembro de 2011, o aumento do produto foi de 6,45% (CEASA Pernambuco, 2013).

#### 4.2 Agricultura Familiar

A agricultura familiar tem um papel importante socioeconômico sendo responsável pelo abastecimento de alimentos no Brasil e no mundo. Os trabalhadores rurais oriundo deste setor foram excluídos de políticas de desenvolvimento elaboradas para os produtores de grandes propriedades, além de sofrer com a demanda da competitividade e desafios da globalização (DOS SANTOS & MITJA, 2016). Estima-se que cerca de 70% dos produtos alimentícios que chega às mesas das nossas casas é de origem deste setor produtivo (BITTENCOUT, 2018).

A agricultura familiar é distinta em relação à agricultura não familiar, a dinâmica e característica causa essa distinção. A gestão da propriedade é compartilhada entre os membros da família e toda atividade agropecuária geradora de fonte de renda. O agricultor familiar possui uma relação com a terra, que além de ser seu local de trabalho é sua moradia (BRITO, 2016).

Na década de 1990, o reconhecimento da agricultura familiar no Brasil veio no Decreto – lei nº 1.946, de 28 de junho de 1996, com a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) com objetivo de estimular a geração de renda e melhorando a mão de obra familiar, por meio de financiamento de atividades e de serviços rurais agropecuário ou não agropecuário, desenvolvidos em estabelecimento rural ou em áreas comunitárias (LIMA *et al*, 2019).

A Lei nº 11.326 de julho de 2006 definiu-se as diretrizes para formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais e os critérios que identifica o público alvo. Esse conceito adotado pela Lei nº 11.326 de julho de 2006 foi aplicado no Censo Agropecuário de 2006. Segundo os dados do Censo Agropecuário de 2006, 84,4% do total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros é oriundo a grupos que pertencem à agricultura familiar (IBGE, 2006; BRITO, 2016).

A agricultura sustentável tem como foco a agricultura familiar, colocando pressão na sociedade, por produção que conserve os recursos naturais, fornecendo alimentos saudáveis com boa qualidade nutricional, que não cause danos ao meio ambiente, a saúde, o desenvolvimento tecnológico, segurança alimentar e os direitos básicos que são garantidos ao ser humano (BEVILAQUA, 2016).

#### 4.3 Consumo Hídrico

A agricultura é dependente da água para produção de alimentos. Quando a necessidade hídrica de uma planta não é suprida, a mesma desenvolve um estresse hídrico, no qual afeta o desenvolvimento e rendimento da cultura. De maneira geral, em vários estágios de crescimento vegetativo da planta é proveniente das chuvas, entretanto, a quantidade de chuva esperada é não suficiente e fora de época, quando isso ocorre a solução é a irrigação (ABAD, 2007).

O parâmetro consumo hídrico é fundamental para as culturas, pois condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas. Quando existe uma maior quantidade de água disponível no solo, maior será a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e conseqüentemente maior a eficiência fotossintética das folhas. Para atingir o máximo rendimento agrícola, o solo deverá ser mantido num estado de umidade tal que a absorção das raízes é máxima e o potencial climático é ótimo para o desenvolvimento das plantas (AZEVEDO et al., 1993).

O estudo da evapotranspiração é importante para o planejamento de um sistema agrícola, as necessidades hídricas das culturas exigir um número maior de informações para o planejamento regional e preliminar de projetos. Esse estudo se tornar mais importante em regiões caracterizadas pela irregularidade espacial e temporal da precipitação, e pela escassez de reservas naturais de água, como nas áreas áridas e semiáridas do Nordeste do Brasil (MOURA et al., 2009).

Existem vários métodos para determinar a evapotranspiração da cultura, sejam eles por meios diretos ou indiretos. Dentre os métodos diretos pode-se destacar, os

métodos que utilizam dos lisímetros e do balanço hídrico no solo. Em relação aos métodos indiretos, destaca-se o modelo de Penman-Monteith, recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) no boletim de Irrigação e Drenagem nº 56 (FAO-56), como padrão para determinação da evapotranspiração de referência sugerido por (ALLEN *et al.*, 1998). O método do balanço de água no solo já foi estudado por diversos autores como: (ROSE, 1966), (SLATYER, 1967), (GUANDIQUE & LIBARDI, 1997) e (SILVA *et al.*, 2015). Tendo como componentes a precipitação, irrigação, evapotranspiração, deflúvio superficial, drenagem, ascensão capilar e variação da armazenagem de água no solo. Sendo 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 (REICHARD, 1985).

#### 4.4 Balanço Hídrico do Solo

Conhecer a dinâmica da água durante a fase de desenvolvimento da cultura fornece elementos essenciais que permite estabelecer ou aprimorar as técnicas agrícolas que visam à otimização da produtividade. Estudos da dinâmica da água em condições de campo, com o foco dos fluxos da água na zona radicular da cultura, são excessos ou incompletos (REICHARDT *et al.*, 1979).

A água no solo é fundamental para a produção agrícola e conseqüentemente ao abastecimento de alimentos, o monitoramento é necessário para poder avaliar o comportamento no solo, como a drenagem interna, a armazenamento, a lixiviação de produtos químicos e nutrientes (MOREIRA *et al.*, 2014). Para LIMA *et al.*, (2006) para melhor compreensão dos fatores da relação solo-planta-atmosfera é imprescindível conhecer as características das componentes que envolvem nestes processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas, que podem ser mesurados ou estimados pelo método do balanço hídrico.

O monitoramento do comportamento da água no solo em um volume de solo requer que seja computada a entrada e saída de água, além da variação do armazenamento de água nesse volume de solo, durante um intervalo de tempo. Essa computação é denominada balanço hídrico no solo. As entradas, saídas e armazenamento são chamadas de componentes do balanço hídrico (REICHARDT & TIMM, 2004). O método do balanço hídrico do solo é satisfatório para determinar a evapotranspiração da cultura (ETc), como há computação dos dados de entradas e saídas de água no volume de controle

e indica a quantidade de água que permanece no solo para atender às necessidades do metabolismo das plantas (REICHARDT, 1985).

Segundo Tucci (2007), as componentes do balanço hídrico que apresentam maiores dificuldades para suas estimativas são a evaporação e a evapotranspiração. Por se tratar de um processo complexo e extremamente dinâmico, que envolvem fatores bióticos e abióticos, dificultando se estabelecer um valor exato para evapotranspiração real.

A avaliação das componentes do balanço hídrico do solo é bastante importante para o cultivo, auxiliando na correta detecção da época mais provável de déficit hídrico durante todo o ciclo agrícola, indicando com precisão a reposição hídrica através da irrigação e na prevenção de perdas por lixiviação (CINTRA *et al.*, 2000).

#### 4.5 Coeficiente de Cultivo

O conhecimento do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) permite a necessidades hídricas de uma cultura, sendo fundamental para o manejo da irrigação e conseqüentemente para a maximização do uso da água (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2011).

O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) está ligado a fatores ambientais e fisiológicos da cultura, preferencialmente, ser determinado para condição local do cultivo, contudo, sua determinação é valiosa, em virtude da quantidade de dados a serem extraídos, necessitando de equipamentos e mão-de-obra especializada (MEDEIROS *et al.*, 2004).

O  $K_c$  é determinado pela razão entre evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) e a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), onde o consumo hídrico é diferenciado em cada estágio de crescimento da cultura, e para cada estágio é usado um coeficiente específico. O  $K_c$  varia de acordo com altura da planta, clima da região, umidade do solo, cobertura do solo, resistência do cultivo e o manejo agrônômico (ALLEN *et al.*, 2006).

De acordo com ALLEN *et al.* (1998) o coeficiente de cultura apresente uma curva durante o período de crescimento vegetativo da cultura. Entretanto, apenas três valores para o  $K_c$  são suficientes para determinar a curva dos coeficientes de cultura: durante o estágio inicial ( $K_{c\ ini}$ ), o estágio de meia estação ( $K_{c\ mid}$ ) e o estágio final de estação ( $K_{c\ end}$ ). Por isso, a importância da condução do experimento *in loco* para determinação de coeficientes de cultura.

#### 4.6 Modelagem Agrometeorológica

A agrometeorologia é o estudo dos processos físicos na atmosfera e sua relação com a agricultura. Os modelos de estimativas de produção auxiliam na previsão de produtividade utilizando dados meteorológicos associados à agrometeorologia. Com isso, modelos agrometeorológicos podem colaborar para uma melhor interpretação quantitativa sobre os efeitos da variabilidade climática sobre a produção vegetal (SILVA-FUZZO *et al.*, 2015).

Segundo LISSON *et al.* (2000) os modelos possuem diversas aplicações, como: a) impacto do plantio e da colheita sobre a produtividade, onde os dados podem ser analisados para tomada da decisão mais adequada sobre melhor época de plantio e colheita; b) benchmarking dos limites de produção, potenciais e atingíveis, onde o conhecimento dos limites de produção permite o estudo da produtividade potencial em diferentes regiões; c) melhoria da eficiência do uso da água; d) previsão de produtividade.

Para PICINI *et al.* (1999) os modelos agrometeorológicos consideram os fatores climáticos exerce determinado controle na produtividade final da cultura, sendo responsáveis por um fator de eficiência e podendo estabelecer uma relação planta-clima que pode variar de uma simples correlação até os modelos mais complexos, onde que cada variáveis podem ser consideradas.

De maneira geral, podemos definir um modelo como uma caracterização de um sistema real, representado através de uns simples desenhos de um sistema analisado, por meio de uma descrição verbal escrita ou ainda por um conjunto complexo de equações para ser utilizada na descrição numérica de um dado sistema. Pode-se definir modelos de culturas como um simulador dinâmico do crescimento de um cultivo por meio de integração numérica de seus processos biofísicos constituintes com a ajuda de computadores, sendo, portanto, uma técnica para a construção de uma “cópia” relativamente transparente da cultura no campo (SINCLAIR & SELIGMAN, 1996).

##### 4.6.1 AquaCrop

Entre os diversos modelos de simulação de culturas, o modelo AquaCrop (RAES *et al.*, 2009), que foi desenvolvido pela FAO com o objetivo considerar o efeito da água sobre a cultura em condições limitada por déficit hídrico e irrigação, portanto, a água tem um papel fundamental nesse modelo. O AquaCrop tem a vantagem de requer um mínimo dados de entrada que são fáceis de obtê-las. Possuindo valores padrão para vários parâmetros da cultura; entretanto, alguns desses parâmetros não são universais e; por isso,

deve ser ajustado às condições locais, aos cultivares e às diferentes práticas de manejo da cultura. O modelo AquaCrop está sendo utilizado com grande importância para a agricultura em várias partes do mundo, onde há grandes impactos em função do crescente número de áreas irrigadas e, conseqüentemente, do aumento do consumo de água (SILVA, 2018).

O modelo tem como base a equação de Doorenbos e Kassam (1979) como ponto de partida e se devolvendo através dela por cálculo da biomassa de acordo com a quantidade de água transpirada. Assim, mantendo o conceito original da relação água-planta e a produtividade da cultura. 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 diferenciar o efeito do uso improdutivo do consumo de água pela evaporação. Sendo a evaporação especialmente importante quando a cobertura do solo é incompleta, portanto, a evaporação se torna o componente principal da evapotranspiração no estágio inicial do ciclo da cultura (MAGALHÃES, 2017).

#### 4.6.2 QGIS

O QGIS é um software livre e gratuito de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que está disponível para diversos sistemas operacionais e apresenta versão em português. O QGIS permite ao usuário analisar de dados espaciais, visualização e edição. Possibilitando a criação de mapas de multicamadas, projeções cartográficas. Os mapas podem ter várias finalidades como análises de ambientais, meios urbanos, demográficas e entre outros (PEJOVIĆ *et al.*, 2014; TEIXEIRA *et al.*, 2018).

O QGIS possui integração de extensões desenvolvidas com as linguagens de programação C++ ou Python, algumas extensões como GDAL, GRASS GIS, PostGIS e PostgreQSL são consideradas bastante importante e atualmente está sendo mantido por grupo de voluntários, que regularmente disponibiliza atualizações e correções (PEJOVIĆ *et al.*, 2014).

A interface gráfica do QGIS foi desenvolvida de formar simples e de fácil uso. Isso permite consultas espaciais, identificação e seleção de geometrias, exploração interativa de dados, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e raster, como também permite o geoprocessamento de camada raster e vetor, manipulação das camadas raster e outras funcionabilidade (ALMEIDA, 2011).

Na agricultura, o QGIS é utilizado para extrair informações de produtividade úteis e de fácil acesso para os produtores e gestores agrícolas, desenvolveu-se uma metodologia

de processamento de dados de produtividade que permite o delineamento de zonas de manejos, teor de argila e índices de vegetação como NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), SAVI (Índice de Vegetação ajustada ao Solo), SR (Razão Simples) e entre outros índices (FITZ, 2020; OSCO *et al*, 2017).

#### 4.7 Veículo Aéreos Não Tripulados

O princípio da agricultura de precisão tem como objetivo tratar de diferentes formas os campos agrícolas de acordo com suas necessidades específicas. Uma das ferramentas da agricultura de precisão é o sensoriamento remoto que pode fornecer várias abordagens para detectar diferenças dentro os campos. O drone ou veículo aéreo não tripulado (VANT) está se tornando uma ferramenta importante no uso do sensoriamento remoto no contexto agrícola (KAIVOSOJA *et al*. 2021).

Segundo Kim *et al* (2019) os VANTs agrícolas são capazes de seres atuar em todas as áreas da agricultura, podendo ser utilizado na aplicação de pesticidas e fertilizantes pulverização, na semeadura da semente e na avaliação e mapeamento do crescimento dos cultivares. Além disso, espera-se que o mercado de VANT's agrícolas continue crescendo com as tecnologias relacionadas.

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários sensores para agricultura de precisão, no entanto eram utilizados em satélites e aeronaves tripuladas, recentemente esses sensores foram equipados as VANTs. Com essa tecnologia acoplada nas VANTs permitiu uma abordagem mais integrada e otimizada para várias atividades agrícolas, como mapeamento do campo, estimativa da biomassa, manejo de plantas espontânea, detecção de estresse de plantas, contagem de estoque, pulverização química, entre outros. Um VANT é equipado com um ou mais periférico e equipamento de detecção, com dispositivo de imagens (RGB, multiespectral, hiperespectral, NIR, profundidade RGB), além de ferramenta de preensão ou pulverização. Esses equipamentos geram uma grande quantidade de processamento de dados, algumas ferramentas ou softwares comuns ajudam nesse processamento de dados que inclui o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), pontos de nuvens, modelos de aprendizado de máquina e métodos estatísticos (HASSLER & BAYSAL-GUREL, 2019).

Para garantir a qualidade dos dados da agricultura de precisão. A validação dos dados fornecidos pelos equipamentos acoplados no VANT, são necessárias medições externas e independentes, conhecida como medidas de referências. As medidas de

referências envolvem medições ou observações dos objetos ou fenômenos de interesse (KAIVOSOJA, 2019).

## 5. REFERÊNCIAS

- ABAD, E. **Proposta de fixação de preço da água para irrigação na agricultura, utilizando a metodologia da programação matemática positiva**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH M. **Cropevapotranspiration: Guide lines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper N° 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 1998.
- ALMEIDA, L.C. **Análise espacial de dados com o Quantum Gis: exercícios realizados durante tópico especial ofertado pelo programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSC**, *Observatorium*, 3:173-194, 2011.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH M. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. AZEVEDO, P. V. et al. **Necessidades Hídricas da Cultura do Algodoeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 28, n. 7, p.863-870, 1993.
- BEVILAQUA, Karen Affonso. **Pensando Além Da Produção: Uma Análise Da Agricultura Familiar Como Ferramenta De Consolidação Da Sustentabilidade Pluridimensional E Da Segurança Alimentar**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Franca, 2016. Disponível em: <27evilaqua27o.unesp.br/bitstream/handle/11449/148615/27evilaqua\_ka\_me\_fran.pdf?sequence=3>. Acesso em: 25 set. 2021.
- BITTENCOUT, D. **Artigo - Agricultura familiar, desafios e oportunidades rumo à inovação**. 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31505030/artigo---agricultura-familiar-desafios-e-oportunidades-rumo-a-inovacao>>. Acesso em: 10 set. 2021.
- BRASIL. **Decreto - lei nº 1.946, de 28 de junho de 1996**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Seção 1, p. 11854, 1996.
- BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. **Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Rurais**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Seção 1, p.1, 2006.
- BRITO, A. **O que é agricultura familiar**. 2016. Disponível em: <<http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/agricultura-familiar/o-que-e-a-agricultura-familiar.html>>. Acesso em: 10 set. de 2021.

- CEASA/PE - Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco. **Comparativo dos preços (mais comum) em nível de atacado**. 2013. Disponível em: <<http://www.ceasape.org.br/verArtigo.php?id=137>>. Acesso em: 14 de jul. de 2021.
- CERMEÑO, Z.S. **Estufa** – instalações e manejo. Lisboa. Litexa Editora, Ltda. 355 p. 1990.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, O.L. & SAAD, A.M. **Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 4:23-28, 2000.
- COSTA C.P. da & SALA F.C. **A evolução da alfacultura brasileira**. Horticultura Brasileira 23. 2005.
- COSTA C.P. da & SALA F.C. **Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira**. Horticultura Brasileira 30: 187-194. 2012.
- DA SILVA, O.M dos P. **Desempenho produtivo e qualitativo de cultivares de alface em diferentes épocas de plantio em Mossoró-RN**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2014.
- DIAS, R. dos S.; FERREIRA, D. de J.; ARAUJO, W. K. O.; SANTOS, R. L. **A produção de hortaliças pela agricultura familiar no município de Humildes – BA**. In: Encontro Nacional de Geografia Agrária, 21., 2012, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: UFU, 2012. p. 1-11.
- 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.
- DOS SANTOS, A.M.; MITJA, D.; **Agricultura familiar e desenvolvimento local: os desafios para a sustentabilidade econômico-ecológica na comunidade de Palmares II, Parauapebas. PA**. Interações, 2016, Campo Grande, v. 13, n. 1, 2016. Disponível em: /centrodestudoseassessoria.org.br/comeca-oficialmente-a-decada-da-agricultura-familiardas-nacoes-unidas/. Acesso em 10 set. de 2021.
- EMPASA - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. 2011. **Oferta, origem e cotação de preços**. Disponível em: <<http://www.empasa.pb.gov.br/hortaliças.htm>>. Acesso em 08 de ago. de 2021.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura-Cultura e comercialização de hortaliças**. v.2. São Paulo-SP, 1982.

- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª ed., UFV, 2003.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **AquaCrop**. Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/aquacrop/software/en/>>. Acesso em: 06 de jul. 2020.
- FITZ, P. R. **Classificação de imagens de satélite e índices espectrais de vegetação: uma análise comparativa**. Geosul, [S.L.], v. 35, n. 76, p. 171-188, 27 out. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p171>>. Acesso em: 03 de out. 2021.
- GUANDIQUE, M.E.G. & LIBARDI, P.L. **Balanco hídrico no solo e consumo de água para a cultura de Feijão** (*Phaseolus vulgaris* L.) In: Congresso Brasileiro De Agrometeorologia, Anais: p.638-640., Piracicaba, 1997.
- HASSLER, S.C.; BAYSAL-GUREL, F. **Unmanned Aircraft System (UAS) Technology and Applications in Agriculture**. *Agronomy* **2019**, v. 9, 618. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agronomy9100618>>. Acesso em: 05 set. 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Situação da produção e área de hortaliças no Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019ª.
- KAIIVOSOJA, J. **Role of Spatial Data Uncertainty in Execution of Precision Farming Operations**; AaltoUniversityPublication Series: Espoo, v. 217, p. 66. Finland, 2019.
- KAIIVOSOJA, J. et al. **Reference Measurements in Developing UAV Systems for Detecting Pests, Weeds, and Diseases**. *Remote Sensing*. 2021, v. 13, n. 7 ,1238. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs13071238>>. Acesso em: 04 de set. 2021.
- KIM, J.; KIM, S.; Ju, C.; H. I. Son, **Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications**. in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105100-105115, 2019, Disponível em: <[doi:10.1109/ACCESS.2019.2932119](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932119)>. Acesso em: 04 de set. 2021.

- LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A.C. D.; SOARES, W. de A.; SOUZA, E. S.de; LIRA, C. A. B. de O. **Balanco hídrico no solo cultivado com feijão caupi**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. Universidade Federal Rural de Pernambuco, vol. 1, núm. 1, 2006, pp. 89-95, 2006.
- LIMA, A.F.; SILVA, E.G. DE A.; IWATA, B. de FREITAS. **Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura**. 2019, v. 22, n. 1. Disponível em: <doi:10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332>. Acesso em: 10 de set. 2021.
- LISSON, S.N.; ROBERTSON, M.J.; KEATING, B.A.; MUCHOW, R.C. Modelling sugarcane production systems. II: Analysis of system performance and methodology issues. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 31-48, 2000.
- MAGALHÃES, I. D. **Cultivo do feijão irrigado e uso do AquaCrop em Alagoas**. p. 121. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 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, Maringá, v.26, n.4, p.513-519, 2004.
- MOREIRA, N.B.; LIBARDI, P.L.; SALVADOR, M.M.S.; SOUSA, H.H. de F.; **Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo**. R. Bras. Ci. Solo, 38. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100006>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- MOURA, A.R.C. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência em bacia experimental na região Nordeste**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, p. 1, 2009.
- OLIVEIRA NETO, D.H.; CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B; GUERRA, J.G.M.; CEDDIA, M.B. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea**. Horticultura Brasileira v. 29, p 330-334, 2011.
- OSCO, L. P.; MARCATO JÚNIOR, J.; RAMOS, A. P. M.; CRESTE, J.E. **Comparação entre índices de vegetação obtidos por diferentes modelos de correção atmosférica para a avaliação de biomassa em cultura de laranja-pêra**. In: Simpósio Brasileiro de Geomática, 4., 2017, Presidente Prudente, Anais eletrônico... Presidente Prudente: UNESP, 2017. p. 251-257. Disponível em:

<[http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017\\_IV\\_SBG/\\_artigos/2017\\_SBG\\_CTIG\\_paper\\_35.pdf](http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG/_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_35.pdf)>. Acesso em: 03 de out. 2021.

PEJOVIĆ, M.; GOSPAVIĆ, Z.; MILOVANOVIĆ, B.; ARSIĆ, I. **Solving a surveying problem by using R and QGIS** - Setting out of a land expropriation zone. *Geonauka*, [S.L.], v. 02, n. 02, p. 12-18, 28 jun. 2014. Serbian Union of Surveyors. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.14438/gn.2014.11>>. Acesso em: 03 de out. 2021.

PESSOA, Y. S. R. Q.; ALCHIERI, J. C. **Qualidade de vida em agricultores orgânicos familiares no interior Paraibano**. *Psicologia Ciência e Profissão*, v. 34, n. 2, p. 330-343, 2014.

PESSOA, H.P. & JÚNIOR, R.M. Folhosas: Em destaque no cenário nacional. *Campos & Negócios online*. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/folhosas-em-destaque-no-cenario-nacional/>> Acesso em: 15 jun. 2021.

PIXFORCE. **Tecnologia agrícola**: a importância e principais inovações. Pixforce, 2016. Disponível em: <<https://pixforce.com.br/tecnologia-agricola/>>. Acesso em: 15 set. 2021.

PICINI, A.G.; CAMARGO, M.B.P.; ORTOLANI, A.A.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P.B. **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro**. *Bragantia*, v. 58, p. 157-170. 1999.

QUEIROGA R.C.F.; BEZERRA NETO F.; NEGREIROS M.Z.; OLIVEIRA A.P. & AZEVEDO C.M.S.A. **Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró**. *Horticultura Brasileira*, 19:324-328. 2001.

RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. AquaCrop - **The FAO crop model to simulate yield response to water**: II. Main algorithm and software description. *Agronomy Journal*, v. 101, ed. 3, p.438–447. 2009.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. & CADIMA, Z.A. **Dinâmica da água em solo cultivado com milho**. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:1-5, 1979.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. 4 ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985, 445p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

- ROSE, C.W. **Agricultural physics**. London, Pergamon Press, v. 1, p.230, 1966.
- SILVA-FUZZO, D.F.&PRELA-PANTANO, A.& CAMARGO, M. **MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DE SOJA PARA O VALE DO MÉDIO PARANAPANEMA-SP**. IRRIGA. v. 20. p. 490-501.2015. Disponível em:<[10.15809/irriga.2015v20n3p490](http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p490)>. Acesso em: 15 set. 2021.
- SILVA, V.P.R.; da GARCÊZ, S.L.A; SILVA, B.B. da, ALBUQUERQUE, M.F.; de ALMEIDA; R.S.R. **Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, PB, ISSN 1807-1929, versão eletrônica: (acessado em 24/07/2021, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p411-417>>) v.19, n.5, p.411–417, 2015.
- SILVA, V. de P. R. et al. **Calibração e validação do modelo AquaCrop para uma cultura de soja cultivada com diferentes níveis de irrigação na região de Matopiba, Brasil**. Ciência Rural v.48 n.1. Santa Maria. 2018.
- SINCLAIR, T.R.; SELIGMAN, N.G. **CropModeling: From Infancy to Maturity**. *Agronomy Journal*, Madison, v.88, p.698–704, 1996.
- SLATIER, R.O. **Plant-water relation ships**. New York, Academic Press, p. 366, 1967.
- SOUSA, T. P. de; SOUZA NETO, E. P.; SILVEIRA, L. R. de S.; SANTOS FILHO, E. F. DOS; MARACAJÁ, P. B. **Produção de alface (*Lactuca sativa* L.), em função de diferentes concentrações e tipos de biofertilizantes**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 9, n. 4, p. 168–172, 2014. Disponível em:<<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2886>>. Acesso em: 23 de jun. 2021.
- SUINAGA, F. A.; BOITEUX, L. S.; CABRAL, C. S.; RODRIGUES, C. da S. **Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal crespa**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 4 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 89).
- TEIXEIRA, C. A.; OLIVEIRA, E. M. de; PIMENTEL, J. S. **SOFTWARE QGIS NA PRODUÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS PARA ANÁLISE DA MICRORREGIÃO DE BOQUIRA-BA**. Geopauta, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 35, 29 dez. 2018. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Edições UESB. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22481/rg.v2i3.4405>>. Acesso em: 03 de out. 2021.

- TUCCI C. E. M. (organizador). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 943p., 2007.
- TURINI T.; CAHN M.; CANTWRELL M.; JACKSON L.; KOIKE S.; NATWICK E.; SMITH R.; SUBARRAO K & TAKELE E. **Iceberg lettuce production in California**.2011. Disponível em: <<http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/7215.pdf>>. Acessado em: 28 de junho de 2021.
- YURI J.E.; RESENDE G.M.; MOTA J.H.; SOUZA R.J.; FREITAS S.A.C.; RODRIGUES JÚNIOR J.C. **Comportamento de cultivares de alface americana em Santana da Vargem**. Horticultura Brasileira, 22:249-252. 2004.

## PRODUÇÃO DA ALFACE EM CONDIÇÕES DE AGRICULTURA FAMILIAR

### RESUMO

As irregularidades das chuvas e escassez de recurso hídrico na região Semiárido no brasileiro é um desafio para agricultura familiar, além disso, a falta de conhecimento sobre o melhor uso da água, a falta e ineficácia do sistema de irrigação e captação tornam ainda mais desafiador a produção agrícola. Uma maneira de definir a quantidade de água que será aplicada na agricultura é através da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) fazendo a reposição hídrica de acordo com ET<sub>o</sub>. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo observar o meio de produção da alface crespa do tipo “Elba” pela agricultura familiar do município de Araruna, Paraíba. Além da observação sobre o manejo da alface foi simulação com o modelo AquaCrop comparando com o resultado obtido em campo, os resultados dos valores simulado e real mostraram uma boa aproximação entre os valores. De acordo com os dados da estação meteorológica e os dados de irrigação foi possível observar que houve uma reposição hídrica equivalente a 140% da ET<sub>o</sub>, sendo assim, foi possível realizar simulações com uso do modelo AquaCrop para as seguintes reposições hídricas de 50%, 75%, 100% e 125%, as simulações apontaram resultados melhores do que o resultado real, podendo indicar um desperdício hídrico.

**Palavras chave:** Evapotranspiração de Referência, AquaCrop, agricultura familiar.

## LETTUCE PRODUCTION UNDER FAMILY AGRICULTURE CONDITIONS

### ABSTRACT

The irregularities of rainfall and scarcity of water resources in the semi-arid region in Brazil are a challenge for family farming, in addition, the lack of knowledge about the best use of water, the lack and inefficiency of the irrigation and capture system make it even more challenging to Agricultural production. One way to define the amount of water that will be applied in agriculture is through crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) making water replacement according to ET<sub>o</sub>. Therefore, the present study aimed to observe the means of production of curly lettuce of the "Elba" type by family farming in the municipality of Araruna, Paraíba. In addition to the observation on lettuce management, simulation was performed with the AquaCrop model comparing with the result obtained in the field, the results of the simulated and real values showed a good approximation between the values. According to the meteorological station data and the irrigation data, it was possible to observe that there was a water replacement equivalent to 140% of the ET<sub>o</sub>, therefore, it was possible to perform simulations using the AquaCrop model for the following water replacements of 50%, 75 %, 100% and 125%, the simulations showed better results than the real result, which may indicate a water waste.

**Keywords:** Reference Evapotranspiration, AquaCrop, family farming.

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura compreende a atividade econômica responsável pela produção de alimento que durante a história da humanidade ocupou regiões férteis próximas de vales de rios e posteriormente, desenvolveu técnicas agrícolas e procedimentos para o melhor manejo do solo tornando mais produtivo (LIMA *et al*, 2019).

A produção alimentícia do Brasil e no mundo é oriunda da agricultura familiar, sendo uma atividade de grande importância econômica e social. Um dos princípios da agricultura familiar é crescer de forma sustentável, aumentando sua viabilidade e preparando uma transição para as futuras gerações de agricultores familiares, buscando a viabilidade em curto prazo e uma riqueza a longo prazo (LOURENZANI, 2006).

A produção de hortaliças é uma atividade que na grande maioria é produzida por agricultores familiares, seja para uma agricultura de subsistência ou para comercialização nos comércios locais em feiras livres. Para FAULIN & AZEVEDO (2006), a produção agrícola de hortaliças, tanto comercial como para subsistência, possui um papel importante para a atividade agrícola familiar, além de contribuir para o seu fortalecimento e desenvolvendo uma agricultura sustentável.

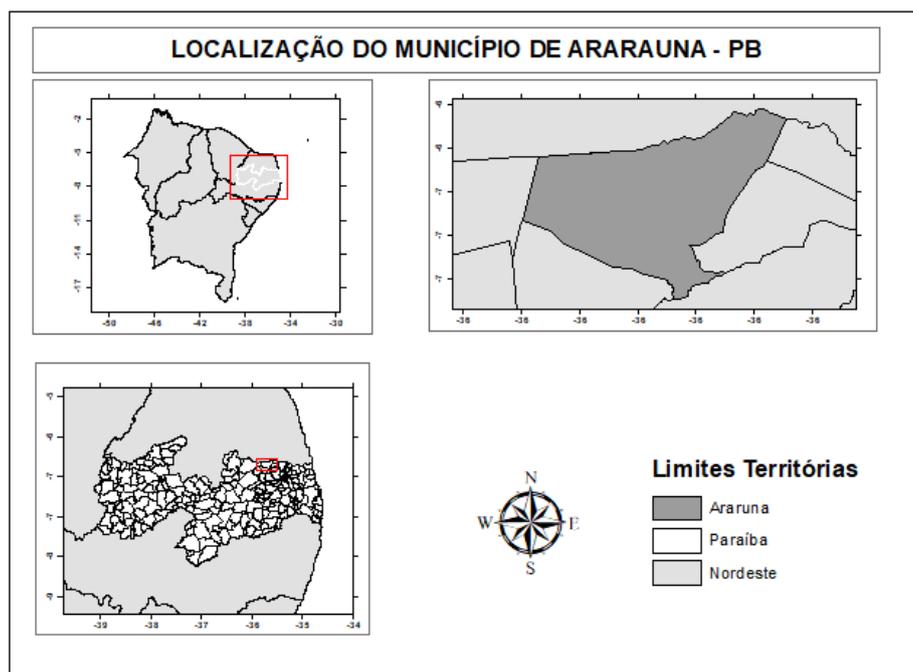
No Semiárido brasileiro, enfrenta diversas dificuldades para o desenvolvimento de sistemas agrícolas. Uma grande problemática da região é a falta de recurso hídrico e os sistemas de captação de água, geralmente não é tão eficaz. Para SILVA *et al.* (2010), não é a falta de chuvas o fator limitante da precária disponibilidade de água no Semiárido, mas sim a sua má distribuição em conjunto com a elevada evapotranspiração e a falta de políticas públicas que orientem as populações para formas adequadas de captação e armazenamento da água das chuvas para a sua utilização no período de estiagem.

Diante do que foi exposto, esse estudo tem como objetivo observar a produção da alface em condições de agricultura familiar, analisando o manejo da hortaliça, irrigação e técnicas utilizadas. Além disso, realizar simulações com o modelo AquaCrop da produtividade da alface com intuito de apresentar o melhor desempenho de acordo com a reposição hídrica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização da área de estudo

O experimento de observação foi realizado no sítio Lagoa da Serra no município de Araruna-PB, o município está localizado na região no Agreste paraibano, na microrregião do Curimataú Oriental à 120 km da capital do Estado, o posicionamento geográfico do experimento está entre as coordenadas 6°31'58'' de latitude Sul e 35°43'59'' de longitude de Oeste e 525 m de altitude.



**Figura 1.** Localização do município de Araruna – PB.

De acordo a classificação climática de Köppen, que utiliza como parâmetros principais a precipitação e a temperatura, o clima predominante de Araruna-PB é o BSh', clima semiárido, ou seja, tem como característica ser quente e seco, com estação chuvosa curta durante o outono e inverno (Rodriguez, 2001). Segundo os dados fornecido pelo Departamento de Ciência Atmosférica da Universidade Federal de Campina (DCA - UFCG, 2014), o município de Araruna tem uma temperatura média anual de 22,2°C e a média de pluviométrica de 853,6 mm.

Os fenômenos responsáveis pelas instabilidades e regime de chuva na área da do município são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Massa Equatorial Atlântica (MEA), a frente fria Polar Atlântica (FPA) e a Tépica Kalaariana (TK), frente quente (PARAÍBA, 1999).

## 2.2 Instalação do experimento

O período de observação foi durante os meses de junho a agosto, tendo como objetivo analisar o modo de produção desenvolvido por agricultores familiar do município.

O sistema de cultivo utilizado na área observada é em forma de canteiros e não possui nenhum sistema de contenção na parte lateral. A área observada é composta por 10 canteiros com dimensões de 12 m de comprimento por 1,2 m de largura, com uma área total de 14,4 m<sup>2</sup> por canteiro.

## 2.3 Semeadura e tipo de Cultura.

As sementeiras foram feitas de forma manual, como se tratar de uma área pequena. As sementes são colocadas em um pequeno canteiro onde foram germinadas, posteriormente, os cultivares foram transplantados para os canteiros maiores, isso ocorre quando a alface possuir quatro folhas definitivas. As alfaves transplantadas foram separadas por um espaçamento 0,3 m entre fileiras e 0,3 m entre linhas com quatro plantas por fileiras contendo 39 linhas, totalizando uma população de 156 plantas por canteiro.



**Figura 2.** Produção de mudas.

A cultivar de Alface escolhida para plantio foi a Alface Crespa do tipo “Elba”, segundo a Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviço Agrícola (EMPASA, 2011), a cultivar do tipo “Elba” é a mais utilizada para o plantio na microrregião do Brejo Paraibano, sendo produzida por micro e pequenos produtores e sendo comercializada nas feiras.



**Figura 3.** Mudas transplantadas para os canteiros definitivos.

#### 2.4 Manejo de pragas, plantas espontâneas e doenças

O controle de pragas, plantas espontâneas e doenças foi feita quando houve necessidades. Para o manejo de plantas espontâneas foi feito através de capinas manuais. Para a prevenção e o controle de insetos e doenças, as medidas adotadas foram preferencialmente por práticas agroecológicas e outras alternativas visando uma produção livre de produtos químicos.

#### 2.5 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados são da estação meteorológica automática modelo Onset EMC-U30-900 da Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII, Araruna-PB, que fica situada à 0,8 km da área da observada.



**Figura 4.** Estação automática EMC-U30-900 da Universidade Estadual da Paraíba.

A estação disponibiliza dados de precipitação, radiação solar, temperaturas média, mínima e máxima, velocidade do vento e umidade relativa máxima, mínima e média.

**Tabela 1.** Variáveis meteorológicas utilizadas durante a observação.

<b>Variáveis meteorológicas</b>	<b>Unidade de medida</b>
<b>Precipitação</b>	mm
<b>Radiação solar</b>	Wm <sup>-2</sup>
<b>Temperatura</b>	°C
<b>Velocidade do vento</b>	ms <sup>-1</sup>
<b>Umidade Relativa</b>	%

O monitoramento da estação ocorreu no período da manhã sendo realizada diariamente durante todo período de observação.

## 2.6 Irrigação e Cultura

Para obter melhor desempenho na produtividade, uma boa irrigação se faz necessária, como o excesso ou falta de água pode acarretar uma baixa na produtividade. O sistema de irrigação se tornar necessário por causa do déficit de chuvas, principalmente nas regiões de clima árido ou semiárido.

Em relação a necessidade hídrica, a alface é uma hortaliça que mais exige uma quantidade de água. Em diversos experimentos foram demonstradas quando existe uma maior disponibilidade de água útil no solo tende a aumentar a produtividade desta

hortaliça, por esse motivo o teor deve ser mantido acima dos 80% durante todo o ciclo (FILGUEIRA, 1982).

### 2.6.1 Sistema de irrigação

A área observada possui um sistema de irrigação que foi feita através de mangueira caseira sem nenhum controle da vazão, ou seja, é um sistema não sustentável. A aplicação da irrigação é em dois turnos, a primeira aplicação nas primeiras horas da manhã e a segunda aplicação no final do turno da tarde.

## 2.7 O modelo AquaCrop

O AquaCrop é modelo dinâmico de simulação do rendimento final atingível por uma cultura em função do consumo hídrico, intitulado como “water-driven model”, que é expressa em função da biomassa (B) e do índice de colheita (HI) por meio das seguintes equações:

$$B = WP \times \sum Tr \quad (1)$$

$$Y = B \times HI \quad (2)$$

em que:

WP - Produtividade da água ( $\text{kg m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ )

Tr - Transpiração da cultura

B - Biomassa seca da parte aérea (kg)

Y - Produção final (kg)

HI - Índice de colheita (%)

O modelo expressa o produto final em função da biomassa (B) e do índice de colheita (HI) diferenciando os efeitos do estresse ambiental sobre a biomassa (B) daqueles que ocorrem no índice de colheita (HI).

O modelo utilizado nas análises foi o AquaCrop, versão 6.1, disponibilizado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2018). Para obtenção do rendimento final da cultura, são necessários vários parâmetros, incluindo: clima, cultura, solo e manejo (RAES *et al.*, 2009).

O modelo tem os seguintes módulos:

- Clima: Dados diários de temperaturas máximas e mínimas do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), precipitação pluviométrica diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

- <sup>1</sup>), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ );
- Cultura: Datas de semeadura e colheita, duração dos estádios fenológicos da cultura (dia; emergência, florescimento, senescência e maturidade fisiológica) e população de plantas ( $\text{plantas ha}^{-1}$ ), espaçamento entre plantas (m), altura, expansão e declínio do dossel da planta, profundidade máxima das raízes (m), produção da biomassa, e por fim, índice de colheita;
  - Irrigação: neste módulo destaca-se a data da irrigação, volume aplicado (mm), qualidade da água (boa, moderada, ruim e péssima) ou avaliação expressa em condutividade elétrica do solo ( $\text{ds/m}$ );
  - Solo: Dados referentes as características físicas do solo, como: textura do solo, umidade do ponto de murcha permanente, umidade na capacidade de campo, conteúdo de água na saturação e condutividade hidráulica do solo saturada. Salinidade do solo, tipo de solo, número de horizontes (camadas do solo), o modelo permite a inserção de até cinco horizontes;
  - Manejo: Dados referente a irrigação, como: data da irrigação, volume aplicado (mm), qualidade da água e condutividade elétrica da água ( $\text{ds.m}^{-1}$ ). Percentagem de cobertura do solo por mulch (folhas mortas, galhos e etc), altura do canteiro (m) e altura do lençol freático. Práticas culturais que evitam escoamento superficial da água, uso de fertilizantes, entre outros parâmetros relacionados ao manejo da cultura.

Todas as equações utilizadas estão disponibilizadas de maneira detalhada no manual do Aquacrop (FAO, 2018).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

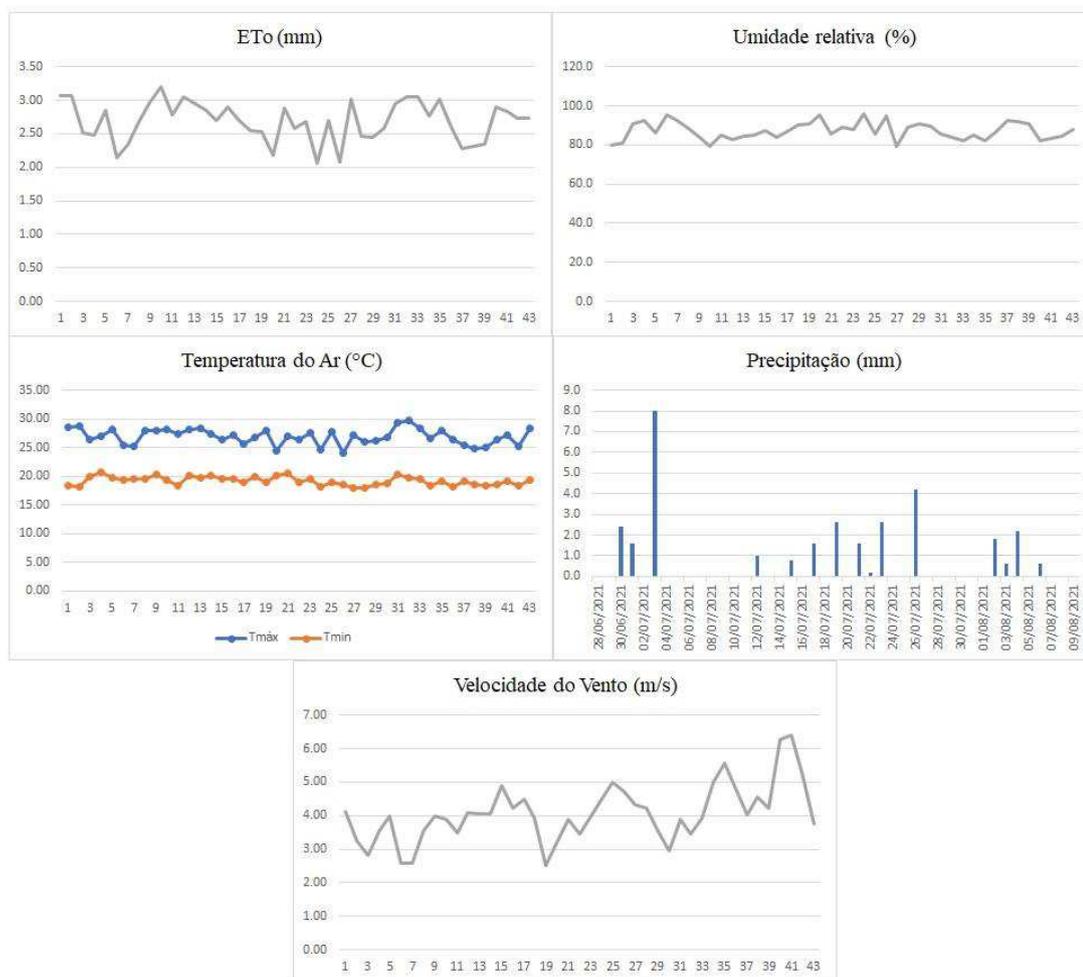
#### **3.1 Análise de variáveis**

O período da observação da produção da alface crespa tipo “Elba” em condições de manejo feito pela agricultura familiar do município foi entre os meses de junho à agosto por 43 dias (28/06/2021 à 09/08/2021) após o transplante das plantas para os canteiros definitivos.

##### *3.1.1 Dados meteorológicos*

Os dados meteorológicos obtidos durante o período de observação estão apresentados na Figura 4. De acordo com dados, a precipitação total no período foi de 31,80mm, observou-se que a maior intensidade da precipitação se concentrou nos 6 primeiros dias após o transplante. A temperatura máxima e mínima apresentou valores

médios de 26,91°C e 19,16°C, respectivamente, a temperatura máxima e mínima oscilou 2°C para baixo ou para cima em relação aos valores médios obtidos.



**Figura 5.** Dados meteorológicos observados: a) Evapotranspiração de Referência (ETo), b) Temperatura máxima e mínima, c) Precipitação, d) Umidade relativa do ar máxima e mínima e e) Velocidade do vento.

Nas demais variáveis meteorológicas disponibilizadas pela estação não foi observada nenhuma tendência, assim, a velocidade do vento, umidade relativa do ar máxima e mínima e evapotranspiração apresentaram às médias de 4,07  $\text{ms}^{-1}$ , 67,7%, 97,8% e 2,69  $\text{mmdia}^{-1}$ , respectivamente.

### 3.1.2 Irrigação

Durante o período de observação foi constatado um manejo de recurso hídrico sem sustentabilidade, sendo utilizado mangueira convencional sem nenhuma mensuração da quantidade aplicada por dia, entretanto, em média se aplica 5 mm de água por dia o que corresponde a reposição 140% da ETo em média. A água utilizada para irrigação é de um pequeno reservatório municipal que fica próxima a área de cultivo cerca de 200 m de distância, sendo retirada com um auxílio de uma bomba, na fase final da observação o

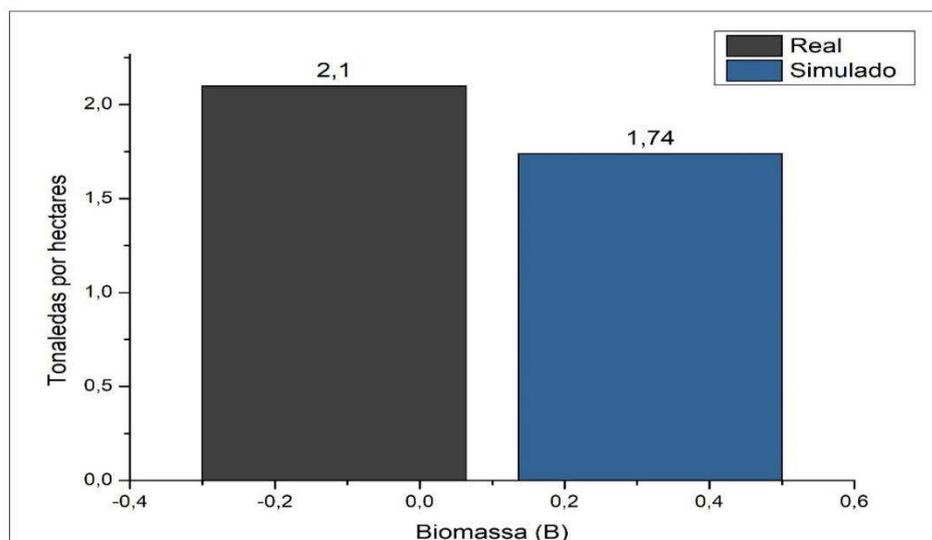
reservatório atingiu um estado crítico de armazenamento tendo a irrigação completada com carro pipa.



*Figura 6. Irrigação das alfaces.*

### 3.2 Modelagem com o AquaCrop

Conforme a Figura 6. que apresenta o valor de biomassa (B), como está sendo considerada a biomassa igual à produtividade. Os valores reais e simulados foi conforme a reposição hídrica aplicada na área observada, ou seja, 140% da ETo. De acordo com os resultados obtidos em campo e pelo AquaCrop mostram uma excelente aproximação entre os valores reais e simulados.



**Figura 7.** Biomassa (B) real e simulada da área observada.

A calibração do AquaCrop para cultura foi utilizada um conjunto de parâmetros conservativos e não conservativos conforme a Tabela 1, esses parâmetros foram baseados no manejo e na coleta dos dados.

**Tabela 2.** Parâmetros conservativos e não conservativos da alface utilizados na parametrização do AquaCrop.

<b>Parâmetros conservativos</b>	<b>Tratamento</b>
<b>Temperatura mínima basal (°C)</b>	15
<b>Temperatura máxima basal (°C)</b>	30
<b>Densidade de planta (planta ha<sup>-1</sup>)</b>	111111
<b>Recuperação do transplântio (dias)</b>	7
<b>Tempo do transplântio até a senescência (DAT)</b>	43
<b>Produtividade de água da cultura normalizada para ETo e CO2 (WP*) (g m<sup>-2</sup>)</b>	17
<b>Parâmetros não conservativos</b>	<b>Irrigação</b>
<b>Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)</b>	85
<b>Profundidade efetiva máxima das raízes (m)</b>	0,25
<b>Profundidade máxima de enraizamento (DAT)</b>	23
<b>Índice de colheita (%)</b>	80

A tabela 2. apresentam simulações realizadas com a mesma calibração para diferentes níveis de reposição hídrica, os níveis são: 50%, 75%, 100% e 125% da ETo. As simulações para os níveis indicados na tabela 2. indicam que houve um desperdício de recursos hídricos, pois, os valores simulados no modelo AquaCrop apresentou valores maiores do que o valor encontrado em campo.

**Tabela 3.** Simulações do AquaCrop para diferentes níveis de reposição hídrica.

<b>Reposição hídrica</b>	<b>Simulação (tonha<sup>-1</sup>)</b>
<b>50% da ETo</b>	1,42
<b>75% da ETo</b>	1,87
<b>100% da ETo</b>	2,28
<b>125% da ETo</b>	1,82

Os valores obtidos em campo e a simulação para uma reposição de hídrica de 100% da ETo tiveram valores semelhantes, isso pode ocorrer por causa dos componentes meteorológicos.

Segundo Cásseres (1980) a temperatura média do ar ideal para o desenvolvimento da alface está entre 15°C e 18°C, com máximas entre 21°C e 24°C, e os valores obtidos para temperatura média e máxima foram próximos aos valores sugeridos por Cásseres (1980).

De acordo com Cermeño (1990) para obter um bom desempenho no crescimento da alface, a umidade relativa do ar mais adequada com valores variando era 60% a 80%, assim como a temperatura, a umidade relativa teve valores próximos na média.

#### **4. CONCLUSÃO**

De acordo com os dados obtidos e as simulações realizadas através do modelo AquaCrop, é possível verificar que houve um excesso de reposição hídrica na produção da alface, pois, o resultado das simulações mostra que uma aplicação menor de água teria um resultado de produção maior.

A alta produtividade da alface na região pode estar ligado as condições climatológicas como: temperatura do ar e a umidade do ar, de acordo com os dados meteorológicos observados. Outras variáveis poderão ser forçantes no processo de desenvolvimento da alface, como: solo, qualidade da água, índices de graus-dias ( $gd^{\circ}$ ) e entres outros podem ter contribuído para esse resultado real.

## 5. REFERÊNCIAS

- BIOSEMENTES. **Alface Elba 5g.** 2021. Disponível em: <<https://www.biosementes.com.br/loja/item/Alface-Elba-5g.html>>. Acesso em: 03 de set. de 2021.
- CÁSSERES, E. 1980. **Producción de hortalizas. San José, Costa Rica:** Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1980. 387p.
- CERMEÑO, Z.S. **Estufa - instalações e manejo.** Lisboa. Litex a Editora, Ltda. 355 p. 1990.
- DCA/UFCG – Departamento de Ciências Atmosférica da Universidade Federal de Campina Grande. **Precipitação Mensal.** 2014. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/chuvapb.htm>>. Acesso em: 10 jun. de 2021
- DCA/UFCG – Departamento de Ciências Atmosférica da Universidade Federal de Campina Grande. **Temperatura Compensada mensal e anual da Paraíba.** 2014. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/tmedpb.htm>>. Acesso em: 10 jun. de 2021.
- EMPASA - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. 2011. **Oferta, origem e cotação de preços.** Disponível em: <<http://www.empasa.pb.gov.br/hortalicas.htm>>. Acesso em 08 de ago. de 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **AquaCrop.** Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/aquacrop/software/en/>>. Acesso em: 06 de jul. 2020.
- FAULIN, E.J.; AZEVEDO, P.F. **DISTRIBUIÇÃO DE HORTALIÇAS NA AGRICULTURA FAMILIAR:** uma análise das transações. Informações Econômicas, São Paulo, v.33, n.11, nov. 2003.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura-Cultura e comercialização de hortaliças.** v.2. São Paulo-SP, 1982.
- LIMA, A.F.; SILVA, E.G.A.; IWATA, B.F. **Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. Retratos de Assentamentos.** v. 22, p. 50.2019. Disponível em:< [10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332](https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332)>. Acesso em: 25 de set. 2021.
- LOURENZANI, W. **CAPACITAÇÃO GERENCIAL DE AGRICULTORES FAMILIARES: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE EXTENSÃO RURAL.** Organizações Rurais e Agroindustriais. v. 8. p.313-322. 2006.

- PARAÍBA. **Plano Diretor dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Curimataú e Jacu**. V. 4. Tomo 2. Campina Grande: SEMARH, 1999b.
- RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. AquaCrop - **The FAO crop model to simulate yield response to water**: II. Main algorithm and software description. **Agronomy Journal**, v. 101, ed. 3, p.438–447. 2009.
- RODRIGUEZ, J. L. (Coord.). **Atlas Escolar da Paraíba: Espaço Geo-Histórico e Cultural**. 3ª ed. João Pessoa: Grafiset, 2002.
- SILVA, P. C. G. da et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da (Orgs). *Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 17-48.

### CAPÍTULO 3

#### MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA PRODUÇÃO DA ALFACE CRESPA NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DA PARAÍBA

##### RESUMO

A região do semiárido brasileiro sofre com as condições climáticas atingido todas as atividades econômicas principalmente a agricultura, as irregularidades das chuvas e as altas temperaturas que causa uma evaporação elevada dos reservatórios de água são fatores que mais dificultam o desenvolvendo dessa atividade, além disso, a falta de conhecimento das necessidades hídricas das culturas e de tecnologia por parte dos agricultores também são fatores que dificultam a produtividade e como gasto desnecessário de água. Sendo assim, esse estudo teve como objetivo o uso de tecnologia para determinar o balanço hídrico do solo e índice de vegetações para a cultura da alface no município de Campina Grande, Paraíba. Para o balanço hídrico foi utilizada a sonda DINIVER 2000 no monitoramento da umidade do solo e para a determinação dos índices de vegetações foi utilizado o drone Mavic Pro acoplado com uma câmera infravermelha MAPIR 3. Além do balanço hídrico, foi realizada simulações da produtividade da alface para 5 tratamentos de reposição hídrica com o modelo AquaCrop e comparando com resultados em campo, mostrando que o tratamento de 100% de reposição hídrica com melhor desempenho.

**Palavras-chaves:** Balanço hídrico, Índices de vegetações, AquaCrop.

## **AGROMETEOROLOGICAL MODELING OF CRESPA LETTUCE PRODUCTION IN THE SEMI-ARID OF THE STATE OF PARAÍBA**

### **ABSTRACT**

The Brazilian semi-arid region suffers from climatic conditions, reaching all economic activities, mainly agriculture, irregularities in rainfall and high temperatures that cause high evaporation from water reservoirs are factors that make it more difficult to develop this activity, in addition, the lack of knowledge of the water needs of crops and technology on the part of farmers are also factors that hinder productivity and such as unnecessary waste of water. Therefore, this study aimed to use technology to determine the soil water balance and vegetation index for lettuce in the municipality of Campina Grande, Paraíba. For the water balance, the DINIVER 2000 probe was used to monitor the soil moisture and to determine the vegetation indices, the Mavic Pro drone coupled with a MAPIR 3 infrared camera was used. In addition to the water balance, simulations of lettuce productivity were performed for 5 water replacement treatments with the AquaCrop model and comparing with field results, showing that the 100% water replacement treatment has the best performance.

**Keywords:** Water balance, Vegetation indices, AquaCrop.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas na região do semiárido enfrenta diversas dificuldades para atingir melhor desempenho de produtividade, a escassez de água na região é um dos principais fatores que inibi o desenvolvimento da produtividade. Segundo CASTRO (2012), a diversidade climática, condições dos solos e a ausência de tecnologias estão entre os desafios que inibem o desenvolvimento da produção agrícola da região.

As adversidades climáticas encontrada na região são: variabilidade das chuvas, as altas temperaturas que causa a evaporação dos reservatórios). Além disso, a ineficácia e incapacidade dos sistemas de armamento de águas das chuvas para o período de estiagem são problemas que encontrado na região (SILVA *et al*,2010).

O cultivo da alface na região semiárida é realizado por meio de pequenos agricultores devido facilidades do seu cultivo e seu curto ciclo. Geralmente ficam localizados próximos aos centros urbanos facilitando a comercialização como se trata de produto bastante perecível (DA SILVA, 2014).

As diversidades climáticas da região do semiárido brasileiro é um grande desafio para o cultivo da alface. Segundo MOMENTÉ *et al.* (2007), tradicionalmente, a alface é adaptada a condições de temperaturas amenas, obtendo a maior produção nas épocas frias. Além das altas temperaturas, outros fatores como fotoperíodo, umidade relativa e disponibilidade hídrica afetam o cultivo de alface ao longo do ano (MACIEIRA, 2011).

Segundo CINTRA *et al.* (2000) o balanço hídrico é uma ferramenta importante para avaliar a intensidades das saídas e entradas de águas no solo, conseqüentemente, na definição dos períodos com mais déficit hídrico para a cultura. LIBARDI (2000) afirma que para efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário a computação dos dados de entradas e saídas de águas, seja por precipitação ou irrigação, a parti das infiltrações da superfície, pela drenagem profundas, evapotranspiração e escoamento superficial, em um volume de solo, em intervalo determinado de tempo.

As folhosas como alface possui um sistema radicular superficial que exige um rigor na lâmina de água aplicada pela irrigação, sendo de extrema importância a aplicação da reposição hídrica de acordo com a evapotranspiração da cultura para cada região específica (NUNES *et al*, 2009). Apesar da importância da disponibilidade hídrica na região semiárida, são poucas as pesquisas sobre balanço hídrico do solo e na maioria das vezes sendo feita com irrigação (ANTONINO *et al*, 2000).

Numa região que os fatores climáticos são preponderantes na produção agrícola, modelos agrometeorológicos podem fornecer informações para obter uma melhor

produtividade. Segundo CARVALHO (2003), modelos agrometeorológicos consideram que cada fator climático que exerce uma influência sobre a produtividade final da cultura.

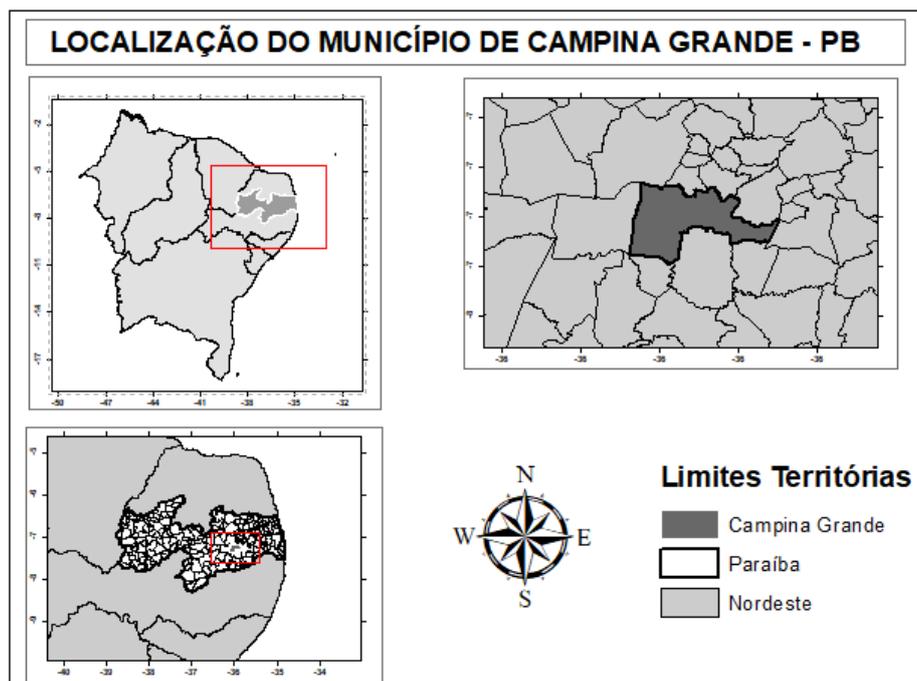
Além de uso de modelos agrometeorológicos na produção do semiárido, o uso de tecnologia pode se tornar um aliado na busca do melhor desempenho da produção. Um grande número de variedades de sensores e outros equipamentos de coleta de dados foram desenvolvidos para aplicação na agricultura, como sensores de monitoramento da qualidade do solo, temperatura, umidade, sensores de rendimento e de controle de ervas daninhas, além disso, sensores de imagem (ZHANG *et al*, 2002).

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo realizar o balanço hídrico da cultura da alface, determinando o coeficiente de cultivo para condições climáticas do município de Campina Grande, Paraíba, aplicação do modelo AquaCrop para realizações de simulações de produtividade de acordo com a reposição hídrica e comparando com os resultados encontrados em campo. Além disso, foram determinados índices de vegetação com o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) acoplado com uma câmera infravermelha.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização da área de estudo

O experimento foi realizado na Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro) da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (UACA-UFCG), no município de Campina Grande – PB, o município se encontra na região do Agreste Paraibano, localizada entre as coordenadas 07° 13' 50" de latitude Sul e 35° 52' 52" de longitude Oeste e 526 m de altitude.



**Figura 1.** Localização do município de Campina Grande – PB.

De acordo a classificação climática de Köppen, que utiliza como parâmetros principais a precipitação e a temperatura, o clima predominante de Campina Grande-PB é o AS', clima de semiárido, quente e úmido, com temperatura máxima, mínima e pluviosidade média anual de 28,6°C, 19,5°C e 765 mm, respectivamente.

Segundo Medeiros *et al.* (2014) classificou a cidade de Campina Grande como uma região de clima megatérmico pelo método de Thornwhite & Mather (1995), com um déficit hídrico entre os meses de setembro a março e uma forte precipitação anual nas estações de outono a inverno e verão quente, tendo uma evapotranspiração anual de 1076,8 mm.

## 2.1 Instalação do experimento

O experimento teve início no mês de setembro e finalizada no mês de novembro, o experimento foi feito simulando o modo de produção de alface crespa da agricultura familiar do município de Araruna – PB.

Na área experimental, o plantio realizou-se em forma de canteiros possuindo uma contenção lateral de alvenaria, sendo composta por 10 canteiros de dimensões 7,6 m de largura por 1 m de comprimento, com uma área de 7,6 m<sup>2</sup> por canteiro.

## 2.2 Semeadura e tipo de Cultura

A semeadura foi feita de forma manual. A germinação das sementes foi realizada através de bandejas de polipropileno flexível contendo 200 mudas em cada bandeja com 4,2 cm de altura da célula com um diâmetro superior de 2,5 cm com pequenos furos na parte inferior para vazão do excesso de água.



**Figura 2.** Produção das mudas.

Para a realização do transplântio das alfaces, os canteiros foram capinados, arados e uma aplicação de esterco bovino, além disso, foi realizado teste do sistema de irrigação

para prevenção de vazamento e entupimento dos gotejadores. O transplante das mudas ocorreu após atingirem 4 folhas verdadeiras com um espaçamento de 0,25 m entre linhas e colunas.



**Figura 3.** Transplante das mudas.

A cultivar de Alface escolhida para plantio foi a Alface Crespa do tipo “Elba”, segundo a Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviço Agrícola (EMPASA, 2011), a cultivar do tipo “Elba” é a mais utilizada para o plantio na microrregião do Brejo Paraibano, sendo produzida por micro e pequenos produtores e sendo comercializada nas feiras.

### 2.3 Manejo de pragas, plantas espontâneas e doenças

O controle de pragas, plantas espontâneas e doenças foi feita quando houve necessidade. Para o manejo de plantas espontâneas foi feito através de capinas manuais. Para a prevenção e o controle de insetos e doenças, as medidas adotadas foram preferencialmente por práticas agroecológicas e outras alternativas visando uma produção livre de produtos químicos.

### 2.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram extraídos da estação meteorológica automática Irriplus E5000 localizada na área experimental da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica da Universidade Federal de Campina Grande (UACA – UFCG).



**Figura 4.** Estação meteorológica automática Irriplus E5000.

A estação disponibiliza dados de precipitação, saldo de radiação, temperaturas média, mínima e máxima, velocidade do vento e umidade relativa média do ar.

**Tabela 1.** Variáveis meteorológicas utilizadas durante a observação.

<b>Variáveis meteorológicas</b>	<b>Unidade de medida</b>
<b>Precipitação</b>	mm
<b>Saldo de radiação</b>	Wm <sup>-2</sup>
<b>Temperatura</b>	°C
<b>Velocidade do vento</b>	ms <sup>-1</sup>
<b>Umidade Relativa</b>	%

O monitoramento da estação foi feito diariamente durante o período da manhã antes da irrigação.

## 2.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental da área foi por meio inteiramente com casualizados, com cinco tratamento de irrigação representados por T1, T2, T3, T4 e T5 com duas repetições por tratamento representados por R1 e R2. Os tratamentos utilizados foram conforme a tabela abaixo:

**Tabela 2.** Identificação da reposição hídrica por tratamento.

<b>Tratamentos</b>	<b>Reposição Hídrica</b>
<b>T1</b>	50% da ETo
<b>T2</b>	75% da ETo
<b>T3</b>	100% da ETo
<b>T4</b>	125% da ETo
<b>T5</b>	150% da ETo

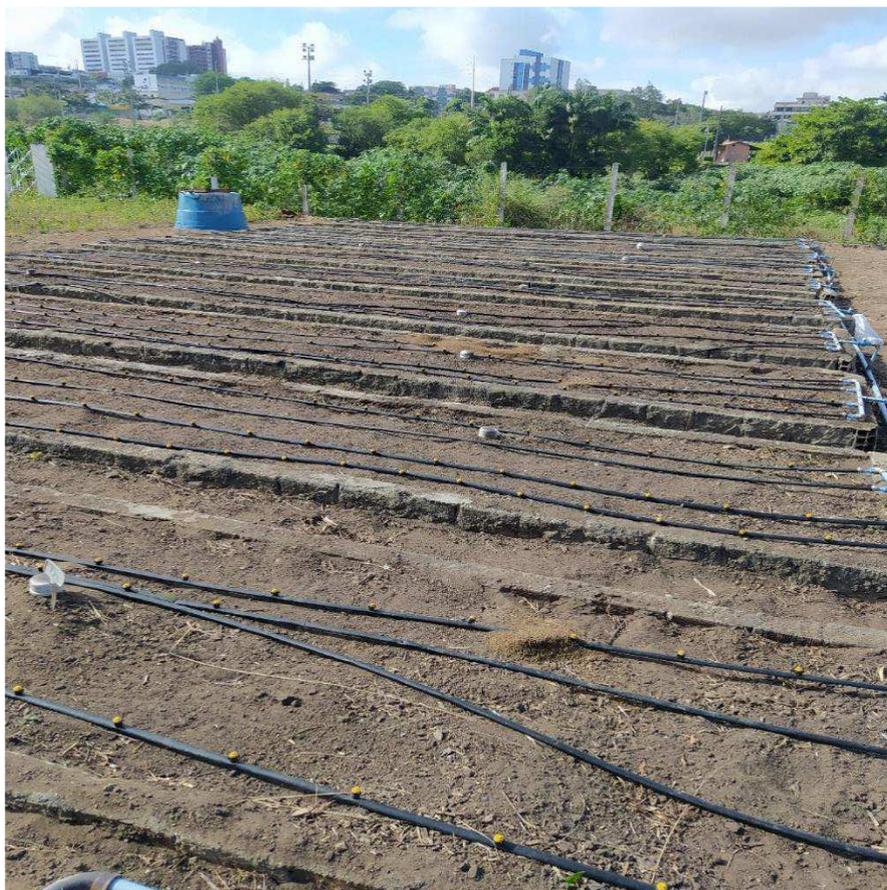
## 2.6 Irrigação e Cultura

Para obter melhor desempenho na produtividade, uma boa irrigação se faz necessária, como o excesso ou falta de água pode acarretar uma baixa na produtividade. O sistema de irrigação se tornar necessário por causa do déficit de chuvas, principalmente nas regiões de clima árido ou semiárido.

Em relação a necessidade hídrica, a alface é uma hortaliça que mais exige uma quantidade de água. Em diversos experimentos foram demonstradas quando existe uma maior disponibilidade de água útil no solo tende a aumentar a produtividade desta hortaliça, por esse motivo o teor deve ser mantido acima dos 80% durante todo o ciclo (FILGUEIRA, 1982).

### 2.6.1 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação da área experimental foi feito após o transplante por um sistema de gotejamento com uma vazão de quatro litro por hora, sendo sempre aplicado no turno da manhã, a reposição hídrica foi feita de acordo com cada tratamento, o espaçamento utilizado entre gotejadores de 0,25 m x 0,25 m.



**Figura 5.** Sistema de irrigação por gotejamento.

### 2.6.2 Coeficiente de cultivo

O coeficiente de cultivo é definido como a razão entre a  $ET_c$  de uma determinada cultura específica ou superfície do solo e a evapotranspiração de referência  $ET_o$  definida por dados meteorológicos. Segundo a FAO-56  $K_c$  é expresso por:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (1)$$

em que:  $ET_c$  - Evapotranspiração da Cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $ET_o$  - Evapotranspiração de Referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e  $K_c$  - Coeficiente da Cultura (adimensional).

De acordo com ALLEN *et al.* (1998), a maioria dos dados meteorológicos estão incorporada na estimativa da ETo. Assim, a ETo é um indicador da demanda atmosférica, o Kc integra as características da cultura, que varia de acordo com sua fase fenológica (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

### 2.6.3 Evapotranspiração de referência

A estimativa da evapotranspiração de referência foi obtida pelo software ETo CALCULATOR. A expressão matemática proposta Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) para estimativa ETo é descrita como:

$$ETo = \frac{0,408 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34)U_2} \quad (2)$$

em que:

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

$\Delta$  - Declinação da curva de pressão de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>);

Rn – Saldo de radiação à superfície, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G – Fluxo de calor no solo, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$\gamma$  – Constante psicrométrica do ar, (kPa °C<sup>-1</sup>);

T – Temperatura média do ar a 2,00 m de altura (°C); U<sub>2</sub> – velocidade do vento a 2,00 m de altura (m s<sup>-1</sup>);

e<sub>s</sub> – pressão de saturação de vapor (kPa);

e<sub>a</sub> – pressão de vapor atual do ar (kPa).

Os dados necessários para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foram coletados diariamente nas Estações Meteorológicas descritas no item (3.5).

### 2.6.4 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação realizou-se diariamente utilizando planilha eletrônica. Para determinar o cálculo da lâmina e tempo de irrigação, mediante à necessidade hídrica da cultura de acordo com a evapotranspiração de referência, este manejo da irrigação foi executado apenas para área experimental.

Desta forma, a estimativa da reposição diária de água consumida utilizou-se da equação do coeficiente de cultivo sendo expressa em relação à ETc conforme a seguinte expressão:

$$ETc = ET_o \times Kc \quad (3)$$

A lâmina bruta foi definida pela seguinte equação:

$$L_b = \frac{ETc}{E_a} - P_{ef} \quad (4)$$

$$E_a = 0,9 \times CUD \quad (5)$$

$$CUD = \frac{\bar{X}_{25}}{\bar{X}} \times 100 \quad (6)$$

em que:

$E_a$ - eficiência de aplicação do sistema de irrigação (%);

$P_{ef}$  – precipitação efetiva (mm);

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);

$\bar{X}_{25\%}$  - Média das 25% menores descargas dos emissores ( $L h^{-1}$ );

$\bar{X}$  – Média das descargas de todos os emissores ( $L h^{-1}$ ).

A irrigação foi feita diariamente, como a necessidade hídrica da alface é bastante alto. Onde foi aplicada a evapotranspiração para que haja a reposição de água pela irrigação.

O tempo de irrigação para devida reposição de água é calculado pela seguinte expressão:

$$T_i = \frac{L_b \times E_g \times E_l}{Q \times n} \quad (7)$$

em que:

$T_i$  – Tempo de irrigação (h);

$L_b$  – Lâmina bruta (mm);

$E_g$  – Espaçamento entre gotejadores (m);

$E_l$  – Espaçamento entre linhas de gotejadores (m);

$Q$  – Vazão do gotejador ( $L h^{-1}$ );

n – Número de gotejadores por planta.

### 2.7.5 Balanço hídrico

A estimação do balanço hídrico foi determinada através da equação proposta por LIBARDI (1995), expressa da seguinte maneira:

$$PRP + I \pm \frac{D}{A} \pm \Delta h \pm R - ETc = 0 \quad (8)$$

em que:

ETc – Evapotranspiração da Cultura (mm dia<sup>-1</sup>);

PRP - Precipitação (mm dia<sup>-1</sup>);

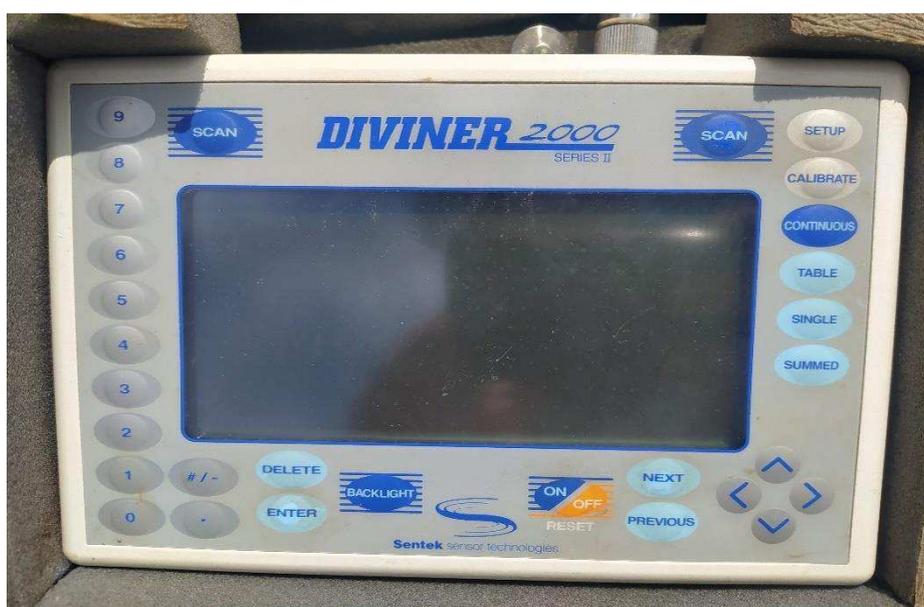
I - Irrigação;

$\Delta h$  - Variação no armazenamento de água no perfil do solo;

R - Escoamento superficial;

D / A - Drenagem profunda ou ascensão capilar.

A umidade do solo foi monitorada utilizando-se uma sonda de capacitância, modelo Diviner 2000® com leitura na profundidade de 0,8 m. A precipitação foi coletada diariamente na Estação Meteorológica automática Irriplus E5000 da área experimental, a irrigação foi baseada no ETo de acordo com os tratamentos e o escoamento superficial foi considerado nulo, pois, a área do canteiro ser relativamente pequena.



**Figura 6.** Sonda Diniver 2000.

O procedimento de monitoramento da umidade do solo sucedeu-se antes e depois da aplicação da irrigação, exceto nos dias que ocorreu precipitação sendo monitorada uma única vez.



**Figura 7.** Monitoramento da umidade do solo.

## 2.7 O modelo AquaCrop

O AquaCrop é modelo dinâmico de simulação do rendimento final atingível por uma cultura em função do consumo hídrico, intitulado como “water-driven model”, que é expressa em função da biomassa (B) e do índice de colheita (HI) por meio das seguintes equações:

$$B = WP \times \sum Tr \quad (9)$$

$$Y = B \times HI \quad (10)$$

em que:

WP - Produtividade da água ( $\text{kg m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ )

Tr - Transpiração da cultura

B - Biomassa seca da parte aérea (kg)

Y - Produção final (kg)

HI - Índice de colheita (%)

O modelo expressa o produto final em função da biomassa (B) e do índice de colheita (HI) diferenciando os efeitos do estresse ambiental sobre a biomassa (B) daqueles que ocorrem no índice de colheita (HI).

O modelo utilizado nas análises foi o AquaCrop, versão 6.1, disponibilizado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2018). Para obtenção do rendimento final da cultura, são necessários vários parâmetros, incluindo: clima, cultura, solo e manejo (RAES *et al.*, 2009).

O modelo tem os seguintes módulos:

- Clima: Dados diários de temperaturas máximas e mínimas do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), precipitação pluviométrica diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ );
- Cultura: Datas de semeadura e colheita, duração dos estádios fenológicos da cultura (dia; emergência, florescimento, senescência e maturidade fisiológica) e população de plantas ( $\text{plantas ha}^{-1}$ ), espaçamento entre plantas (m), altura, expansão e declínio do dossel da planta, profundidade máxima das raízes (m), produção da biomassa, e por fim, índice de colheita;
- Irrigação: neste módulo destaca-se a data da irrigação, volume aplicado (mm), qualidade da água (boa, moderada, ruim e péssima) ou avaliação expressa em condutividade elétrica do solo ( $\text{ds/m}$ );
- Solo: Dados referentes as características físicas do solo, como: textura do solo, umidade do ponto de murcha permanente, umidade na capacidade de campo, conteúdo de água na saturação e condutividade hidráulica do solo saturada. Salinidade do solo, tipo de solo, número de horizontes (camadas do solo), o modelo permite a inserção de até cinco horizontes;
- Manejo: Dados referente a irrigação, como: data da irrigação, volume aplicado (mm), qualidade da água e condutividade elétrica da água ( $\text{ds.m}^{-1}$ ). Percentagem de cobertura do solo por mulch (folhas mortas, galhos e etc), altura do canteiro (m) e altura do lençol freático. Práticas culturais que evitam escoamento superficial da água, uso de fertilizantes, entre outros parâmetros relacionados ao manejo da cultura.

Todas as equações utilizadas estão disponibilizadas de maneira detalhada no manual do AquaCrop (FAO, 2018).

## 2.8 Eficiência do uso da água

No presente estudo, a eficiência do uso de água foi avaliada utilizando-se a quantidade de água aplicada por irrigação e a evapotranspiração da hortaliça através das seguintes equações:

$$EUA = \frac{Prod}{Irrig} \quad (11)$$

$$EUA = \frac{Prod}{ET_c} \quad (12)$$

em que:

EUA - é a eficiência do uso de água ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ );

Prod. - é a produtividade da hortaliça ( $\text{Kg ha}^{-1}$ );

Irrig. - é a irrigação (mm);

$ET_c$ - é a evapotranspiração das culturas (mm).

## 2.9 Índices de vegetação

Para relacionar as condições de superfície encontradas com os índices biofísicos foi utilizado um drone para capturar imagens diárias. Os índices de vegetação foram determinados através de imagens obtidas pelo drone Dji Mavic Pro equipado com uma câmera Mapir Survey3, este modelo de câmera possui as bandas vermelha + verde + NIR captando a luz infravermelha próxima de 850 nm, vermelho 660 nm e luz verde de 550 nm. As determinações e geoprocessamento das imagens foram feitas pelo software livre e gratuito QGIS.



**Figura 8.** (a) Drone Dji Mavic Pro; (b) Câmera Mapir Survey3.

### 2.9.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) é muito utilizado em conjunto com o sensoriamento remoto, processo tecnológico que permite a coleta e a representação de dados de uma determinada região sem que seja necessário o contato direto com ela, ou seja, as informações são coletadas de forma remota (PIXFORCE, 2016). Sendo definido pela seguinte equação:

$$IVDN = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (13)$$

em que:

$\rho_{NIR}$ : valor de refletância do infravermelho próximo;

$\rho_R$ : valor de refletância na faixa do vermelho.

O IVDN é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1

## 2.10 Análise estatística

### 2.10.1 Acurácia do modelo

Para validar o desempenho do modelo e dos índices de vegetação, os dados obtidos experimentalmente em campo foram comparados com os dados simulados pelo modelo AquaCrop, utilizando parâmetros estatísticos, como: Erro de previsão (Pe); Índice de eficiência Nash-Sutcliffe (E); Coeficiente de determinação ( $R^2$ ); Erro absoluto médio

(MAE); Erro quadrático médio da raiz normalizado (RMSEN) e; Índice de Willmott (d). Os testes estatísticos Pe e d foram utilizado para definir a robustez do modelo, bem como prever os valores, enquanto Pe, RMSEN e MAE foram utilizados para avaliar o erro de previsão do modelo.

Segue as equações dos parâmetros estatísticos:

$$Pe = \frac{(S_i - O_i)}{O_i} \times 100 \quad (14)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{(O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (15)$$

$$RMSEN = \frac{1}{\bar{O}_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{N}} \times 100 \quad (16)$$

$$MAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)}{N}} \quad (17)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (18)$$

em que:

$S_i$  e  $O_i$  – São valores simulados e observados, respectivamente;

$\bar{O}_i$  – Valores médio de  $O_i$ ;

$N$  – Representa o número de observações.

Os indicadores de desempenho dos testes E e d; Pe, RMSEN e MAE são considerados positivos quando os valores se aproximarem da unidade e do zero, respectivamente. A simulação é considerada excelente se RMSEN for menor que 10%; é considerada boa se variar entre 10 e 20%; razoável se for entre 20% e 30%; e ruim quando for superior de 30%.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Análise de variáveis**

O período do experimento da produção da alface crespa tipo “Elba” foi entre os meses de setembro à novembro por 42 dias (25/09/2021 à 05/11/2021) após o transplante das plantas para os canteiros definitivos, sendo realizado no período não chuvoso da região.

##### *3.1.1 Dados meteorológicos*

Os dados meteorológicos obtidos durante o período do experimento estão apresentados na Figura 9. De acordo com dados, a precipitação total no período foi de 16,37mm, observou-se que a maior intensidade da precipitação se concentrou nos 10 primeiros dias após o transplante, tendo o maior volume de chuva apresentada no décimo dia, um volume de 5,7 mm. A temperatura máxima e mínima apresentou valores médios de 30,85°C e 23,14°C, respectivamente, a temperatura máxima e mínima oscilou 2°C para baixo ou para cima em relação aos valores médios obtidos, as maiores temperaturas ocorreram no final do ciclo do plantio, atingindo 34,89°C, entretanto, a temperatura se comportou praticamente estável durante todo o ciclo tendo um pico de mínima no décimo sétimo dia atingindo uma temperatura de 19,23°C.



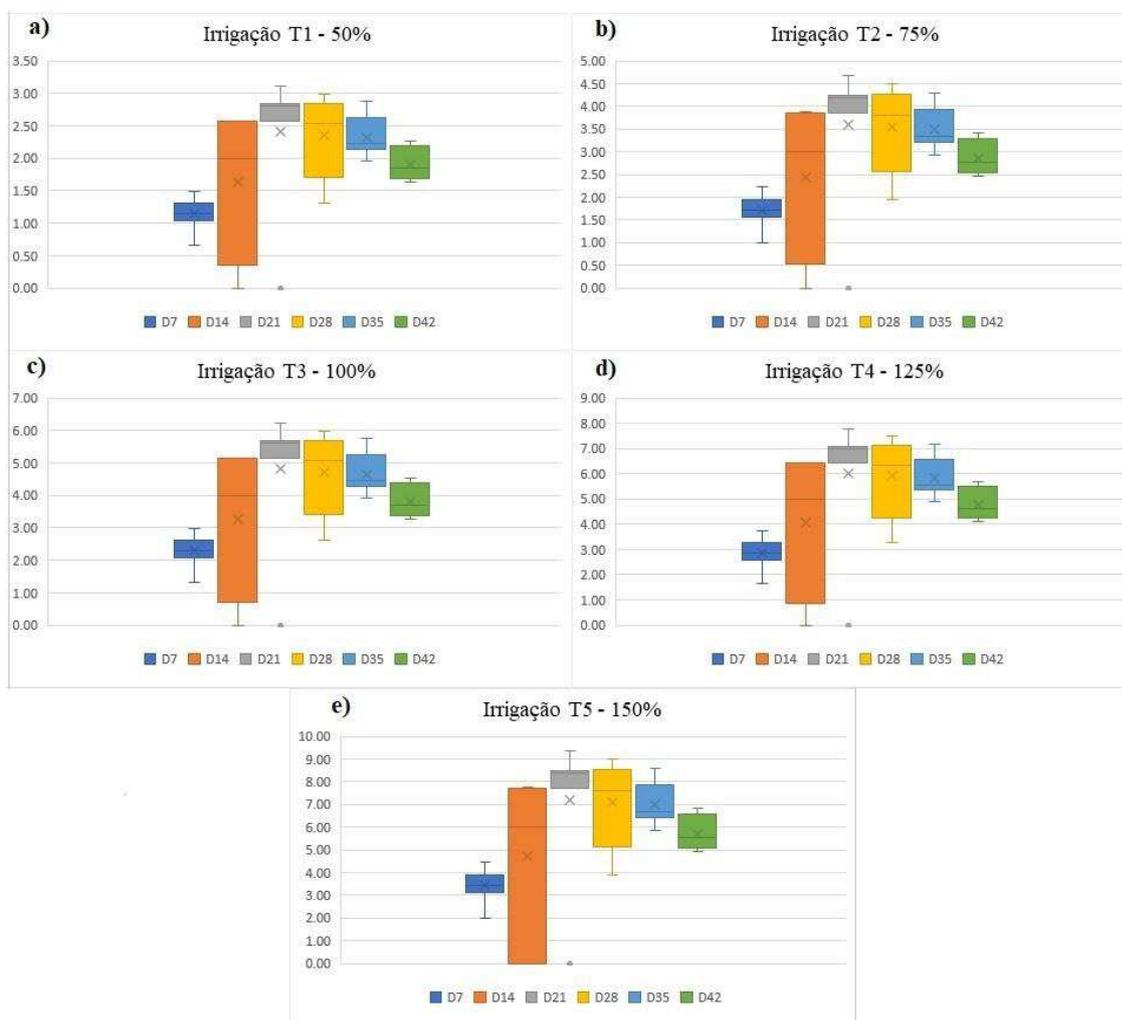
**Figura 9.** Dados meteorológicos da estação meteorológica automática Irriplus E5000 da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande: a) Evapotranspiração de referência, b) Temperatura do ar, c) Umidade relativa do ar, d) Radiação, e) Precipitação e f) Velocidade do vento.

As demais variáveis meteorológicas disponibilizadas pela estação não foi observada nenhuma tendência, assim, a velocidade do vento, umidade relativa do ar média e evapotranspiração apresentaram às médias de  $1,58 \text{ ms}^{-1}$ ,  $71,65\%$  e  $4,60 \text{ mm dia}^{-1}$ , respectivamente.

### 3.1.2 Irrigação

A irrigação foi realizada conforme os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. O consumo hídrico da alfaca durante o experimento para cada tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foi de 82,88 mm, 124,31 mm, 165,75mm, 207,19 mm e 248,63, respectivamente. Nesse período

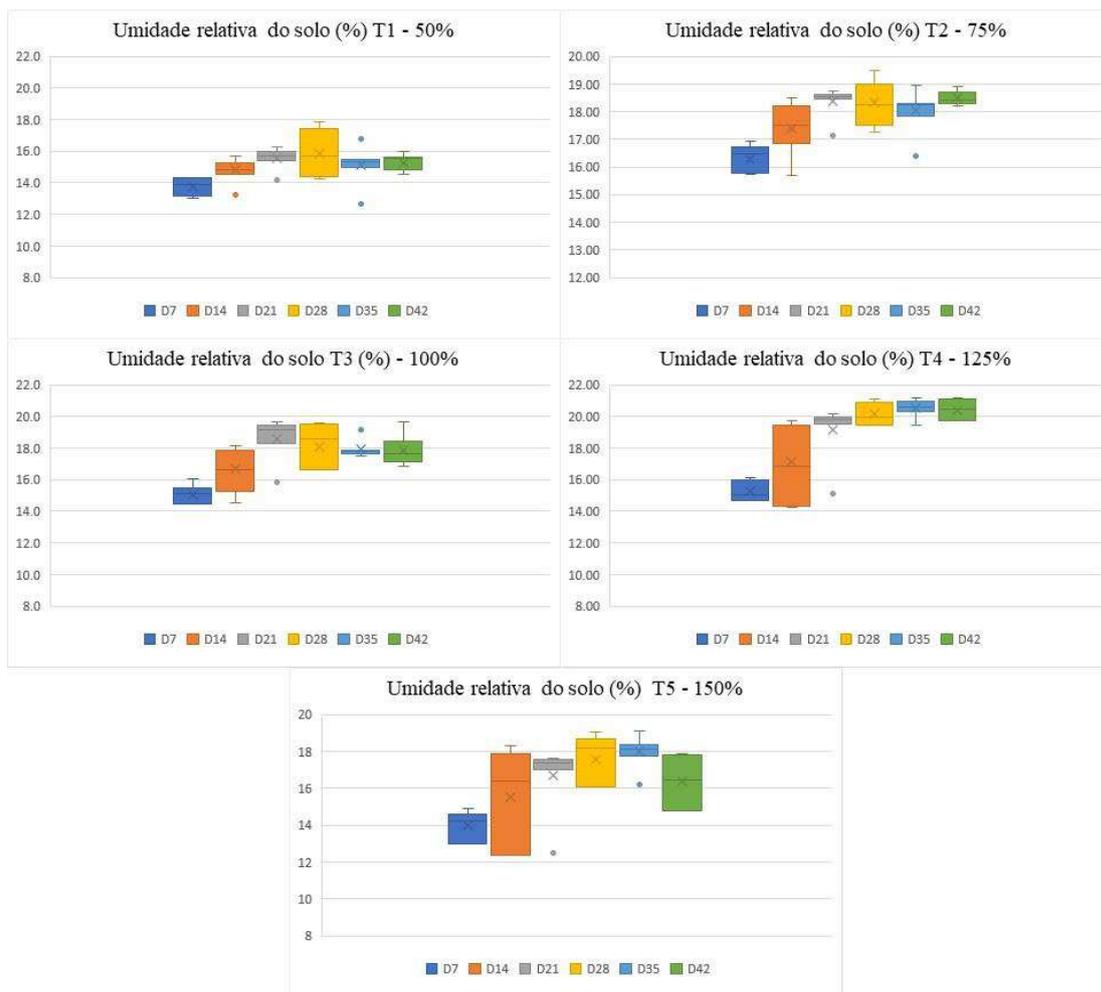
ocorreu pouca chuva e em apenas 9 dias houve a incidência de chuva e apenas 2 dias que não houve necessidade de irrigação complementar.



**Figura 10.** Total de água aplicada por tratamento: a) T1 – 50%, b) T2 – 75%, c) T3 – 100%, d) T4 – 125% e e) T5 – 150%.

### 3.1.3 Umidade do Solo

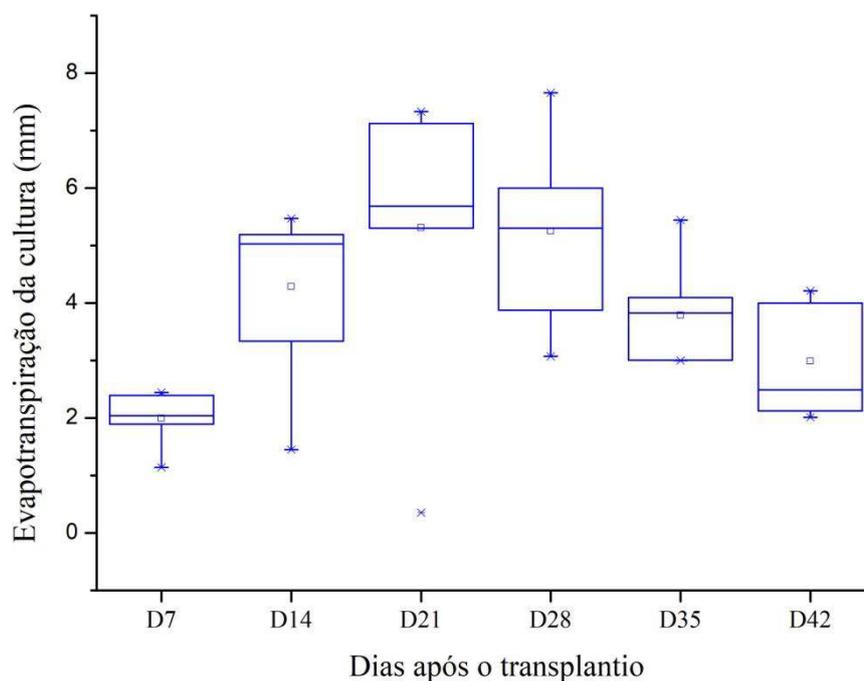
A figura 11 apresenta o valor médio da umidade do solo (%) entre 0 cm e 40 cm para cada tratamento. Podemos observar o comportamento da umidade crescente em relação aos primeiros dias e posteriormente se mantendo estável com pequenas oscilações.



**Figura 11.** Valores médios umidade do solo por tratamento: a) T1 – 50%, b) T2 – 75%, c) T3 – 100%, d) T4 – 125% e e) T5 – 150%.

### 3.2 Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração da cultura foi determinada pela equação de LIBARDI (1995). A figura 11. exhibe os resultados obtidos durante o experimento, sendo separados em intervalos de 7 dias do transplantio até a colheita. A evapotranspiração da cultura formou uma parábola, durante esse período a  $ET_c$  teve o valor mínimo de  $0,35 \text{ mm dia}^{-1}$  no 21 DAT e o valor máximo de  $7,66 \text{ mm dia}^{-1}$  no dia 24 DAT, além disso, o valor médio da  $ET_c$  durante o experimento foi de  $3,94 \text{ mm dia}^{-1}$ .



**Figura 12.** Evapotranspiração da cultura.

### 3.3 Coeficiente de cultivo

Os valores do coeficiente de cultivo da alface foram obtidos pela equação proposta por (DOORENBOS & PRUITT, 1977) são apresentados na Tabela 2. Os valores que se encontrados de 0,72, 1,08 e 0,70 para estágio inicial, médio e final, respectivamente, se assemelham como os valores recomendados pela FAO (ALLEN *et al.*, 1998) para a cultura da alface, além disso, os valores obtidos no experimento se aproximam dos valores obtidos por TAVARES (2016) em seus estudos realizados no município de Itabaiana, Sergipe. Esses valores aproximados podem ser justificados através do clima, pois, ambos municípios estão localizados no semiárido brasileiro da região Nordeste.

**Tabela 3.** Coeficiente de Cultivo (Kc).

Estádio	Kc (Allen <i>et al.</i> , 1998)	Kc (Tavares, 2016)	Kc (Experimento)
Inicial	0,70	0,80	0,72
Médio	1,00	1,07	1,08
Final	0,95	0,70	0,70

### 3.4 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso de água nos canteiros da alface com base na irrigação (EUA<sub>ir</sub>) e na evapotranspiração (EUA<sub>et</sub>) para todos os tratamentos de irrigação é apresentada na Tabela 3. Os valores de EUA<sub>et</sub> e EUA<sub>ir</sub> da alface foram basicamente os mesmos apenas no T3, com 0,66 g.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> e 0,67 g.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores da EUA<sub>et</sub> foram maiores do que os valores EUA<sub>ir</sub> nos tratamentos T3, T4 e T5, consequentemente os valores da EUA<sub>ir</sub> são maiores para T1 e T2.

**Tabela 4.** Eficiência do uso de água nos canteiros da alface com base nos dados de irrigação (EUA<sub>ir</sub>) e de evapotranspiração (EUA<sub>et</sub>).

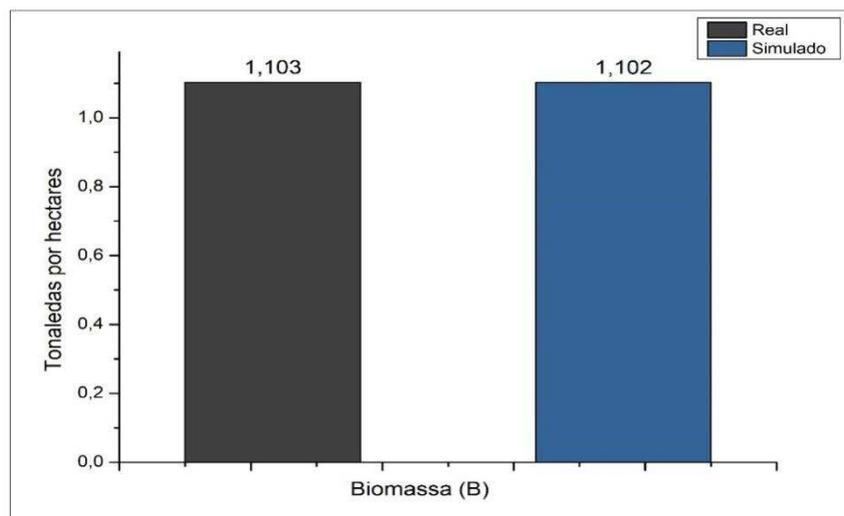
Tratamento	eficiência do uso de água (g.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	
	EUA <sub>ir</sub>	EUA <sub>et</sub>
<b>T1</b>	0,94	0,48
<b>T2</b>	0,70	0,53
<b>T3</b>	0,66	0,67
<b>T4</b>	0,40	0,51
<b>T5</b>	0,28	0,43

### 3.5 Modelagem com o AquaCrop

A avaliação do desempenho do modelo AquaCrop foi realizada através da calibração em relação aos dados coletados sobre T3 que corresponde a 100% da reposição hídrica da cultura e sendo validada para os tratamentos T1, T2, T4 e T5.

#### 3.5.1 Calibração do AquaCrop

Conforme a Figura 12 que apresenta o valor da biomassa (B) real e simulado para 100% da reposição hídrica, nesse estudo o valor da biomassa (B) está sendo considerada igual ao valor da produtividade (Y).



**Figura 13.** Biomassa (B) real e simulada.

A calibração do AquaCrop para cultura foi utilizada um conjunto de parâmetros conservativos e não conservativos conforme a Tabela 4., esses parâmetros foram baseados no manejo e na coleta dos dados.

**Tabela5.** Parâmetros conservativos e não conservativos da alface utilizados na parametrização do AquaCrop.

Parâmetros conservativos	Tratamento
Temperatura mínima basal (°C)	15
Temperatura máxima basal (°C)	30
Densidade de planta (planta ha <sup>-1</sup> )	160000
Recuperação do transplântio (dias)	7
Tempo do transplântio até a senescência (DAT)	43
Produtividade de água da cultura normalizada para ETo e CO2 (WP*) (g m <sup>-2</sup> )	17
Parâmetros não conservativos	Irrigação
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	85
Profundidade efetiva máxima das raízes (m)	0,25
Profundidade máxima de enraizamento (DAT)	23
Índice de colheita (%)	80

### 3.5.2 Validação do AquaCrop

A validação do modelo AquaCrop foi feita através dados obtidos em campos pelos tratamentos T1 – 50%, T2 – 75%, T4 – 125% e T5 – 150% e suas respectivas simulações. Pode-se observar de acordo com a tabela 6. que houve uma boa aproximação dos valores real e simulado, além disso, quando os valores estão próximos de 100% os valores são superestimados e quando mais distante os valores são sobrestimados, o que mostra que o modelo AquaCrop pode ser utilizado como ferramenta para determinar produção de alface de acordo com a quantidade de água aplicada.

**Tabela 6.** Valores da Biomassa (B) dos valores reais e simulados para os tratamentos T1, T2, T4 e T5.

Tratamentos	Biomassa (ton ha <sup>-1</sup> )	
	Real	Simulado
T1	0,782	0,778
T2	0,871	0,887
T4	0,828	0,834
T5	0,696	0,682

Para verificar a eficiência do modelo foram utilizados métodos estatísticos conforme mostra a tabela 6.

**Tabela 7.** Estatística da validação do desempenho do modelo AquaCrop.

Estatísticas	Biomassa
RMSE	0,0168
NRMSE (%)	1,9635
Pe	0,0234
EF	0,9939
D	0,9939

Os testes da raiz do erro quadrado médio (RMSE) e erro de previsão (Pe) apresentaram valores de 0,016 e 0,023 para biomassa, respectivamente. Isso indica que o modelo obteve um excelente desempenho para a cultura da alface, devido a aproximação entre os valores observados e estimados. Para a raiz do erro quadrado médio normalizado

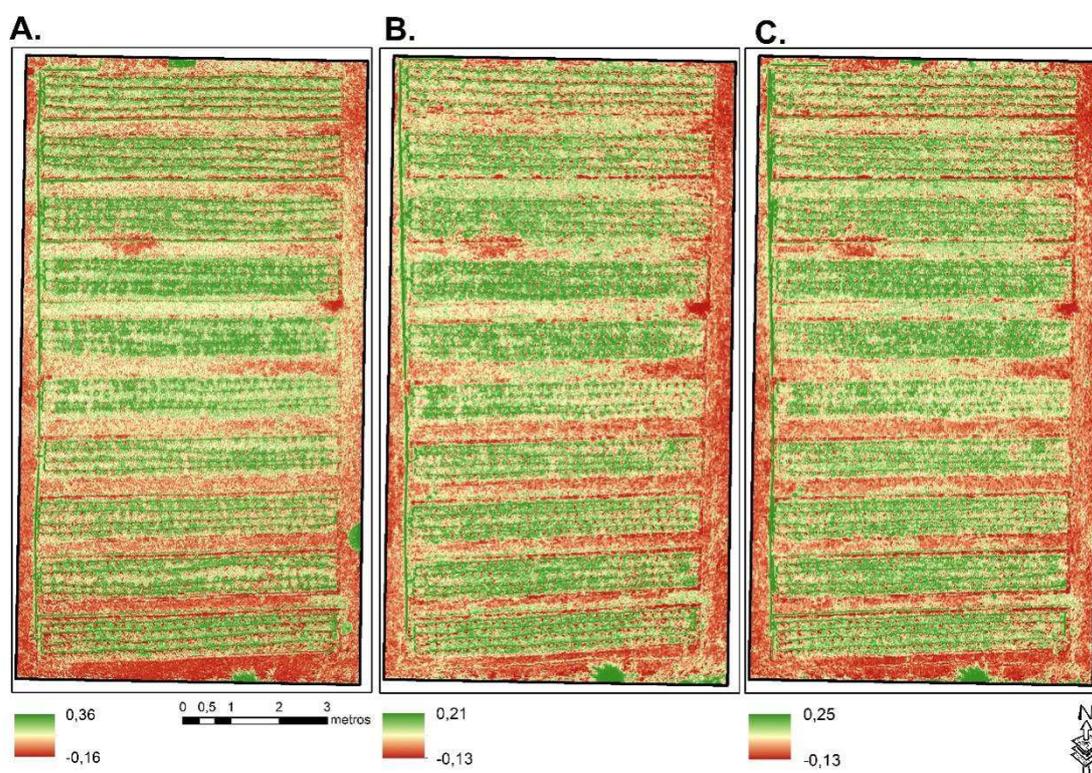
(NRMSE), o resultado da biomassa total foi de 1,963, como o valor obtido foi abaixo de 10% podemos considera que simulação foi excelente.

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (EF) e o índice de Willmont (d), obtivermos desempenho positivo do modelo, sendo classificado como excelente, pois ambos os índices apresentam valores de 0,9939 para biomassa, e quanto mais próximo de 1 é os valores dos índices melhores é o desempenho.

### 3.6 Índices de vegetação

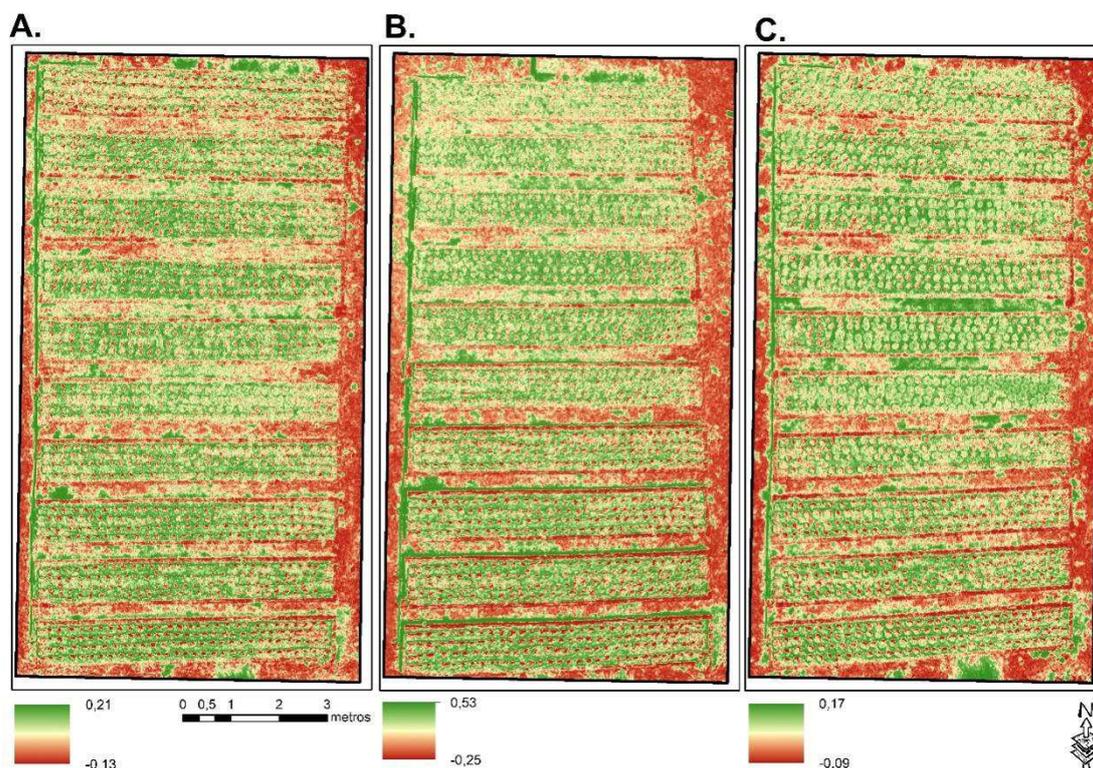
#### 3.6.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

As figuras 13, 14 e 15 apresentam o IVDN para os estádios inicial, médio e final, respectivamente. Os valores negativos representado na cor vermelha indica solo exposto e os valores positivos na cor verde indica solo coberto, contenções laterais de alvenaria dos canteiros e sistema de irrigação. Segundo a OES (2020) os valores do IVDN variando entre 0,2 e 0,4 corresponde uma densidade de vegetação escassa, como área de estudo o IVDN variou 0,14 e 0,66 é pequena com um espaçamento entre planta pode se caracterizar uma vegetação escassa.



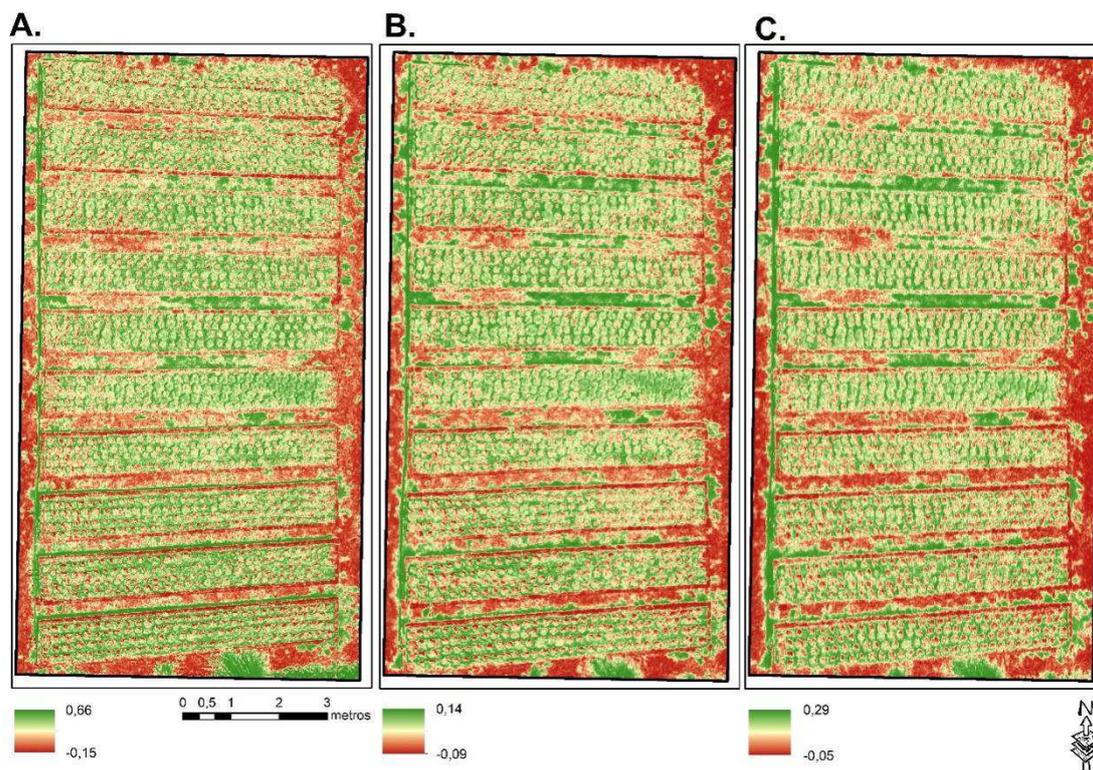
**Figura 14.** Distribuição espacial do IVDN para os dias após o transplante (A) (Estádio inicial) 26/09, (B) 30/09 e (C) 01/10 na área experimental da EstAgro.

O IVDN é a relação matemática entre a quantidade de luz vermelha absorvida e a luz quase infravermelha refletida. De acordo com os valores encontrados mostram houve maior reflectância na banda vermelha e menor reflectância na banda infravermelha próxima, isso ocorre pelo fato da vegetação ser escassa. Como a alface é uma hortaliça de pequeno porte e o espaçamento entre cada uma alface pode ser fatores que contribuam para os valores encontrados para IVDN indicando uma vegetação escassa.



**Figura 15.** Distribuição espacial do IVDN para os dias após o transplântio (A) (Estádio médio) 12/09, (B) 16/10e (C) 22/10 na área experimental da EstAgro.

Os valores maiores apresentados nas imagens são indicados pela intensidade da cor verde, como pode observar essa intensidade está fora dos canteiros, onde apresenta uma vegetação mais densa. Entretanto, os valores negativos apresentados são indicados pela intensidade da cor vermelho e também se encontra fora dos canteiros, o que indica solo exposto e sem presença de água.



**Figura 16.** Distribuição espacial do IVDN para os dias após o transplântio (A) (Estádio final) 27/10, (B) 30/10e (C) 03/11 na área experimental da EstAgro.

#### **4. CONCLUSÃO**

De acordo com os resultados obtidos em campo e nas simulações mostram que o melhor tratamento para a cultura da alface é de 100% de reposição hídrica representado pelo tratamento T3.

As simulações do modelo AquaCrop e os resultados obtidos em campo mostram que uma aplicação acima de 100% de reposição diminui a produtividade da alface.

Os resultados da análise estatística mostram que o modelo AquaCrop para as condições de solo e de clima para cultura da alface tem uma ótima aplicabilidade.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH M. **Cropevapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper N° 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 1998.
- ALLEN, R.G.; TASUMU M.; TREZZA R. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithm for Land. Advanced Training and Users Manual**. Idaho Implementation, version 1.0. 2002.
- ANTONINO, A.C. D; SAMPAIO, E.V.S. B; DALL'OLIO, A.; SALCEDO, I.H. **Balço hídrico em solo cultivos de subsistêcia no semiárido do nordeste brasileiro**. Relações água-solo-planta-atmosfera. Rev. bras. eng. agríc. ambient. v. 4. p.1. 2000.
- 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.
- BIOSEMENTES. **Alface Elba 5g**. 2021. Disponível em: <<https://www.biosementes.com.br/loja/item/Alface-Elba-5g.html>>. Acesso em: 03 de set. de 2021.
- CARVALHO, L. G. **Modelos prognósticos de produtividade da cultura do café no Estado de Minas Gerais**. 2003. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- CASTRO, C. N. de. **A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Brasília, Rio de Janeiro: Ipea, 2012. 43 p.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. **Balço hídrico no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28, 2000.
- DA SILVA, O.M dos P. **Desempenho produtivo e qualitativo de cultivares de alface em diferentes épocas de plantio em Mossoró-RN**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2014.
- EMPASA - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. 2011. **Oferta, origem e cotação de preços**. Disponível em: <<http://www.empasa.pb.gov.br/hortaliças.htm>>. Acesso em 08 de ago. de 2021.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **AquaCrop**. Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/aquacrop/software/en/>>. Acesso em: 06 de jul. 2020.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura-Cultura e comercialização de hortaliças**. v.2. São Paulo-SP, 1982.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 1. ed. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). 1995. 497p.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: O Autor, 2000, 509p.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C.P.B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M.F.L.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; ZIMBACK, C.R.L. **Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE**. Terrae 13,2016.
- MACIEIRA, G. A. A. **Competição de cultivares de alface Romana no outono e primavera no município de Boa Esperança - MG**. 2011. 39p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.
- MOMENTÉ, V. G.; BARRETO, H. G.; SILVEIRA, M. A.; SANTANA, W. R.; TAVARES, I. B.; SOUZA, R. C.; ANDRE, C. M. G. **Avaliação de linhagens F8 de alface ao pendoamento precoce sob condições de temperaturas elevadas de Palmas - TO**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 47. Resumos... Porto Seguro: ABH, 2007. (CD-ROM).
- OES. **NDVI FAQ**: tudo o que você precisa saber o índice. Earth Observing System, 2020. Disponível em: <<https://eos.com/pt/blog/ndvi-faq/>>. Acesso em: 15 set. 2021.
- PIXFORCE. **Tecnologia agrícola**: a importância e principais inovações. Pixforce, 2016. Disponível em: <<https://pixforce.com.br/tecnologia-agricola/>>. Acesso em: 15 set. 2021.
- RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. **AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water**: II. Main algorithm and software description. **Agronomy Journal**, v. 101, ed. 3, p.438–447. 2009.
- SILVA, P. C. G. da et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro**: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da (Orgs). **Semiárido Brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 17-48.

- 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, Campina Grande, PB, 2016.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. Drexel Institute of Technology, p. 104. New Jersey, 1945.
- ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. **Agricultura de precisão - Uma visão geral mundial**. Comput. Elétron. Agric, 36, 113-132. 2002.

## CAPÍTULO 4

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos em campo e nas simulações apresentados nos capítulos 2 e 3 mostram o que melhor tratamento para a cultura da alface crespa do tipo “Elba” é a reposição hídrica de 100% da evapotranspiração.

O resultado da produtividade obtida da agricultura familiar do município de Araruna foi maior do que todos resultados obtidos na área experimental EstAgro. Os resultados obtidos em Araruna podem ter ocorrido pelas condições climáticas apresentadas na região durante o período de observação.

O modelo AquaCrop se mostrou um ótimo desempenho para ambos municípios, o que torna uma ferramenta para gestão e planejamento estratégico para o cultivo da alface em condições de semiárido.

O uso de tecnologia na agricultura mostrou-se facilitador para melhorar o desempenho da produção da alface, com os auxílios de estação de agrometeorológica e de sonda de umidade do solo foi possível determinar o balanço hídrico e a reposição hídrica que possui melhor desempenho de produtividade. O uso de drone que pode auxiliar na produção agrícola, seja na aplicação pesticidas e fertilizantes, na semeadura da semente e na avaliação e mapeamento do crescimento dos cultivares, podem fornecer índices de vegetações.

Entretanto, os agricultores familiares da região semiárido não tem acesso a esse tipo de tecnologia e nem aos modelos agrometeorológicos para facilitar e gerir melhor a produção, como o melhor aproveitamento dos recursos hídrico. Sendo assim, uma solução para falta de tecnologia é o investimento em pesquisa que possam gerar técnicas para o melhor manejo das culturas com o menor uso de água e máxima produtividade.