



**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

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E MODELAGEM
AGROMETEOROLÓGICA DA CEBOLA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO**

WENDY KAORI MATSUNAGA

VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

Orientador

CAMPINA GRANDE – PB

Fevereiro de 2019

WENDY KAORI MATSUNAGA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E MODELAGEM
AGROMETEOROLÓGICA DA CEBOLA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO**

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

AGROMETEOROLOGIA E MICROMETEOROLOGIA;

SUBÁREA:

AGROMETEOROLOGIA

ORIENTADOR:

DR. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA.

**CAMPINA GRANDE – PB
Fevereiro de 2019**

M434e Matsunaga, Wendy Kaori.
Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no semiárido nordestino / Wendy Kaori Matsunaga. – Campina Grande, 2019.
69 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.
"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".
Referências.

1. Balanço Hídrico do Solo – Evapotranspiração. 2. Reposição Hídrica. 3. AquaCrop. 4. Agrometeorologia. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Título.


CDU 556.13(043)


WENDY KAORI MATSUNAGA


EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E MODELAGEM
AGROMETEOROLÓGICA DA CEBOLA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/02/2019

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

A Deus, por sempre me guiar nessa vida. A minha mãe Anita Matsunaga e meu pai Akira Matsunaga por todo amor compartilhado; e ao meu irmão Kenichi Matsunaga pelas risadas e ensinamento, dedico.

“Sua casa não te define,
Sua carne não te define,
Você é seu próprio lar”.

- Francisco el Hombre

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tenho, principalmente por todas as pessoas que amo e estão presentes em minha vida e oportunidades como a conclusão desse mestrado.

Aos meus pais Anita e Akira Matsunaga, que batalharam na agricultura a vida inteira para criar seus filhos. Sou grata pela educação, carinho, incentivo e por todo o amor que nunca faltou em casa.

Ao meu irmão Kenichi Matsunaga, pelo ensino em manejo de culturas, cujo o aprendizado foi fundamental para esta dissertação e pela companhia da vida toda.

Aos meus melhores amigos de infância Fabiana Ribeiro e Kazuo Morotomi que mesmo com a distância entre Tomé-Açu e a Paraíba, sempre estão ao meu lado. E a Emi Morotomi, que por falar em distância agora está morando em Gifu, no Japão, mas sempre que pode me liga para falarmos as coisas da vida.

Agradeço ainda aos amigos de Belém do Pará: Flávia Maiara, Gleise Cruz, Luiz Castro, Suzane Rosa, Victor Verçosa e Tamires Nobre por todos os momentos maravilhosos que fizeram meu tempo na cidade valer a pena.

Em especial aos amigos “cansados” Romero Thiago, Victória Amorim, André Bezerra, Alfredo Neto e Kamila Souza, que eu conheci na UFPA, que participam/participaram do mesmo programa de pós-graduação na UFCG e me ajudaram imensamente durante o desenvolvimento da pesquisa, pelo conhecimento compartilhado, companhia e muitas piadas.

Aos novos amigos Joerlan Campos, Joselito e Silvia Dantas por diversas colaborações à minha pesquisa.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e os professores da

Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) por suas contribuições durante o período de disciplinas do curso.

Ao professor Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, por todo conhecimento transmitido durante sua orientação.

Agradeço a todos, pois colaboraram direta e indiretamente nesta etapa da minha vida acadêmica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
Geral:	3
Específicos:	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Aspectos gerais	4
2.1.1. Fotoperíodo	4
2.1.2. Temperatura	5
2.1.3. Tolerância ao déficit hídrico	5
2.2. Práticas culturais	6
2.2.1. Adubação e calagem	6
2.2.2. Cultivo irrigado da cebola	7
2.3. Indicadores do solo	7
2.3.1. Indicadores físicos de qualidade do solo	8
2.3.2. Indicadores químicos de qualidade do solo	8
2.4. Coeficiente de cultivo	8
2.5. Consumo hídrico	9
2.6. Modelagem agrícola	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Localização e características da área experimental	12
3.2. Características da cultura	16
3.3. Variáveis analisadas no experimento	17
3.4. Semeadura e transplântio das mudas	17
3.5. Irrigação	18
3.6. Defensivos agrícolas	19
3.7. Análises do solo e recomendação de adubação e calagem	19
3.8. Consumo hídrico	22
3.9. Balanço hídrico	23
3.10. O modelo AquaCrop	23
3.10.1. Validação do modelo	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Análise de variáveis	27
4.1.1. Primeiro ciclo	27
4.1.1.1. Umidade do solo	28
4.1.1.2. Variáveis meteorológicas	28
4.1.1.3. Variáveis fenométricas	30
4.1.1.4. Variáveis da produção e sólidos solúveis totais	32
4.1.2. Segundo ciclo	32
4.1.2.1. Umidade do solo	34
4.1.2.2. Variáveis meteorológicas	34
4.1.2.3. Variáveis fenométricas	36
4.1.2.4. Variáveis da produção e sólidos solúveis totais	38
4.2. Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo	39
4.3. Modelagem com o AquaCrop	40
4.3.1. Primeiro ciclo	40
4.3.1.1. Calibração do modelo	40
4.3.1.2. Validação do modelo	42
4.3.2. Segundo ciclo	43
4.3.2.1. Calibração do modelo	43

4.3.2.2. Validação do modelo-----	45
5. CONCLUSÕES-----	47
6. REFERÊNCIAS-----	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na Estação Agrometeorológica Experimental/EstAgro.....	12
Figura 2. Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro – DCA) da Universidade Federal de Campina Grande.	13
Figura 3. Climatologia mensal de Campina Grande/PB, a) pressão média (hPa), b) temperatura máxima (°C) x umidade relativa média (%), c) precipitação mensal total (mm) e d) Insolação (h).	14
Figura 4. Organização do estande por canteiro (a) e fração de plantas disponíveis para análises, desprezando as que podem sofrer do efeito bordadura (b).....	15
Figura 5. Monitoramento da umidade do solo, a) Tubos de acesso por canteiro, b) sonda Diviner para o monitoramento de umidade, c) Sonda monitorando a umidade do solo..	15
Figura 6. Espacialização aleatória dos tratamentos na área experimental.	16
Figura 7. Ciclo da cebola, a) casa de vegetação, b) local do experimento, c) e d) transplântio, e) controle de erva daninha e f) tombamento.	18
Figura 8. Água total aplicada (mm) por tratamento durante o primeiro ciclo, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.	27
Figura 9. Umidade média do solo (%) por tratamento, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.	28
Figura 10. Dados meteorológicos observados: a) temperaturas do ar (°C) máxima e mínima, b) umidades relativas do ar (%) máxima e mínima, c) radiação solar (W/m ²), d) velocidade do vento (m/s), e) precipitação (mm/dia) e f) evapotranspiração de referência (mm/dia).	29
Figura 11. Altura média da cebola para os tratamentos: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.	30
Figura 13. Diâmetro do bulbo nos sentidos a) diâmetro transversal e b) diâmetro longitudinal.	31
Figura 15. Água total aplicada por tratamento no 2º ciclo para os tratamentos: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.	33
Figura 16. Umidade média do solo (%) por tratamento de irrigação: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.....	34
Figura 17. Dados meteorológicos observados: a) temperaturas do ar máxima e mínima, b) umidades relativas do ar (%) máxima e mínima, c) radiação solar), d) velocidade do vento (m/s), e) precipitação (mm/dia) e f) evapotranspiração de referência (mm/dia). ...	35
Figura 18. Altura média da cebola para os tratamentos: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.	36
Figura 19. Diâmetro médio da cebola por tratamento, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.	37
Figura 20. Diâmetro do bulbo nos sentidos a) transversal e b) longitudinal.	38
Figura 21. a) produtividade (ton ha ⁻¹), b) peso médio por bulbo (g) e c) sólidos solúveis totais (°Brix).	38
Figura 22. Evapotranspiração da cultura da cebola para a região de estudo.....	39
Figura 23. Biomassa (B) e produtividade (Y) real e estimada de T1 para o 1º ciclo.....	41
Figura 24. Biomassa (B) e produtividade (Y) real e estimada de T1 para o 2º ciclo.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados meteorológicos climáticos de Campina Grande-PB no período de 1977 a 2017.....	13
Tabela 3. Produtos utilizados para o controle de pragas no cultivo de cebola.	19
Tabela 4. Produtos para controle de fungos e insetos.	19
Tabela 5. Resumo das propriedades físicas do solo na área experimental.	20
Tabela 6. Propriedades químicas do solo na área experimental para o 1º e 2º ciclo.	20
Tabela 7. Recomendação para adubação para o 1º ciclo.	21
Tabela 8. Recomendação para adubação para o 2º ciclo.	21
Tabela 9. Valores máximos de temperatura e umidade máxima, vento, radiação e evapotranspiração; valores mínimos de temperatura e umidade mínima e precipitação total registrados nos dois ciclos do experimento.....	36
Tabela 10. Coeficiente de cultivo para a região de estudo.	40
Tabela 11. Parâmetros conservativos e não conservativos da cebola utilizados na parametrização do AquaCrop.	41
Tabela 12. Valores reais obtidos em campo e estimados pelo AquaCrop para T2, T3 e T4.	42
Tabela 13. Diferença entre os valores de biomassa e produtividade reais e estimadas. ...	42
Tabela 14. Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop.	43
Tabela 15. Parâmetros conservativos e não conservativos da cebola utilizados na parametrização do AquaCrop.	44
Tabela 16. Valores reais obtidos em campo e estimados pelo AquaCrop para T2, T3 e T4.	45
Tabela 17. Diferença entre os valores de biomassa e produtividade reais e estimadas. ...	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AM01, AM02	Amostras de solo
B	Biomassa seca
%	Porcentagem
Δ	Inclinação da curva de pressão de vapor saturado
B	Boro
B1, B2, B3 e B4	Blocos de repetição dos tratamentos
Ca	Cálcio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CC	Cobertura do dossel verde
CCx	Cobertura máxima do dossel
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
cmol	Centimol
CO ₂	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
d	Índice de Willmott
D10, D20... à D90	Períodos que compreendem dez dias do ciclo da cebola
DAS	Dias após a semeadura
DAT	Dias após transplântio
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
dm ³	Decímetro cúbico
ea	Pressão de vapor real
EF	índice de eficiência de Nash-Sutcliffe
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EPI	Equipamento de proteção individual
es	Pressão de saturação do vapor d'água atmosférica
EstAgro	Estação Agrometeorológica Experimental
ETc	Evapotranspiração a cultura
ETmax	Evapotranspiração máxima
ETo	Evapotranspiração de referência
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
Fe	Ferro
g	Gramas
G	Densidade de fluxo de calor do solo
h	Insolação
Há	Hectare
HI	Índice de colheita
hPA	Hectopascal
<i>in loco</i>	Local
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco

IPA 11	Variedade utilizada no experimento
K	Potássio
Kc	Coeficiente da cultura
Kc end	Coeficiente da cultura no período final
Kc ini	Coeficiente da cultura no período inicial
Kc mid	Coeficiente da cultura no estágio de meia estação
KCl	Cloreto de Potássio
Kg	Quilo
L	Litro
m	Metro
MAP	Fosfato Mono-Amônio
mg	Miligrama
ml	mililitro
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
N	Nitrogênio
N	Número de observações.
NRMSE	Raiz do erro quadrático médio normalizado
°	Grau
\bar{O}	Média dos valores observados
°C	Grau Celcius
Oi	Valores observados em campo
P	Fósforo
PB	Paraíba
Pe	Erro de previsão
pH	Potencial Hidrogeniônico
Pi	Valores simulados pelo AquaCrop
PM	Penman-Monteith
PRP	Precipitação
R	Escoamento superficial
RMSE	Raiz do erro quadrado médio
RMSEN	raiz do erro quadrado médio normalizado
Rn	Saldo de radiação na superfície da cultura
Rs	Radiação solar
AS	Sulfato de Amônia
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
t	Tempo
T1, T2, T3 e T4	100, 75, 50, e 25% de reposição da necessidade hídrica da cultura.
Tmax	Temperatura máxima do ar
Tmin	Temperatura mínima do ar
Tr	Transpiração da cultura
u2	Velocidade do vento a 2 m de altura
UACA	Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

URmax	Umidade relativa máxima do ar
URmin	Umidade relativa mínima do ar
V%	Saturação de bases
W/m ²	Unidade de radiação solar
WP	Produtividade da água
WP*	Produtividade da água normalizada
Y	Produtividade final
γ	Constante psicrométrica

EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA CEBOLA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

RESUMO

Este estudo determinou o consumo hídrico, o coeficiente de cultivo, além de calibrar e validar o modelo AquaCrop versão 5.0 da FAO para a variedade da cebola “IPA 11” no semiárido nordestino. Foram realizados dois experimentos de campo na EstAgro, no município de Campina Grande/PB para o período chuvoso e seco da região no ano de 2018, utilizando-se os tratamentos de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração de referência (ET_o). A partir dos resultados, determinou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) pelo método do balanço hídrico do solo que apresentou valores médios de 3,6 e 4,7 mm/dia para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. As simulações da biomassa (B) e produtividade (Y) da cultura através do AquaCrop gerou resultados para os diferentes tratamentos da irrigação que foi calibrado e validado, usando-se parâmetros de clima, solo, cultura e manejo. O desempenho do modelo foi avaliado utilizando os indicadores estatísticos: raiz quadrada do erro médio (RMSE), raiz quadrada do erro médio normalizado (RMSEN), eficiência de Nash e Sutcliffe (EF), o índice de concordância de Willmott's (d) e o erro de previsão (Pe). Os valores encontrados foram satisfatórios em ambos os experimentos, indicando aplicabilidade do modelo. Constatou-se, ainda, que a lâmina de irrigação recomendada para a cebola cultivada nas condições de realização deste experimento é a de 100% da ET_o.

Palavras-chave: Balanço hídrico do solo; AquaCrop; reposição hídrica

**EVAPOTRANSPIRATION, CROP COEFFICIENT AND
AGROMETEOROLOGICAL MODELING OF ONION CULTIVATED IN THE
NORTHEAST SEMIARID**

ABSTRACT

This study determined the water use, the crop coefficient, besides calibrating and validating the FAO AquaCrop version 5.0 model for the variety of the onion "IPA 11" in the northeastern semi-arid region. Two field experiments were carried out at EstAgro, in the city of Campina Grande/PB, for the rainy and dry season of the region in 2018, using the treatments of 100, 75, 50 and 25% of the reference evapotranspiration (ET_o). The results shows the crop evapotranspiration (ET_c) was determined by the soil water balance method, which presented mean values of 3.6 and 4.7 mm/day for the first and second cycle, respectively. The simulations of biomass (B) and dry yield (Y) of the crop through AquaCrop generated results for the different irrigation treatments that were calibrated and validated, using climate, soil, crop and management parameters. The performance of the model was evaluated using the statistical indicators: root mean square error (RMSE), root mean squared error normalized (RMSEN), Nash-Sutcliffe efficiency (EF), Willmontt's index (d) and the Prediction error (Pe). The values found were satisfactory in both experiments, indicating applicability of the model. It was also verified that the recommended irrigation depth for the onion cultivated under the conditions of this experiment is 100% of the ET_o.

Keywords: Soil water balance; AquaCrop; water replacement

1. INTRODUÇÃO

A cebolicultura foi introduzida no país através dos estados sulinos e representa um dos produtos mais consumidos pela culinária brasileira; hoje é cultivada por praticamente todo o território brasileiro devido à boa adaptação ao clima tropical e pelo crescimento significativo ao longo dos anos (IBGE, 2014). Com exceção do Norte do País, todas as demais regiões brasileiras produzem cebola. Vale destacar como os principais estados produtores: Santa Catarina, São Paulo, Bahia, Pernambuco, Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná e Rio Grande do Norte (Costa, 2013)

De acordo com as estimativas da FAO, o Brasil é o maior produtor de cebola do Mercosul no período de 2000 a 2010 (EPAGRI, 2013), respondendo por 2% da produção mundial (FAO, 2013). Segundo Costa (2013), ela se destaca ao lado da batata e do tomate como as hortaliças economicamente mais importantes, tanto no volume produzido, como na geração de renda e emprego nas regiões produtoras. Além da importância socioeconômica da cultura, a cebola é um alimento rico em nutrientes e apresenta qualidades nutracêuticas. Isso faz com que a hortaliça seja uma das mais consumidas no mundo.

Por se tratar de um país de grande extensão territorial, o Brasil possui uma variabilidade dos regimes pluviométricos ampla. No semiárido brasileiro, a estação chuvosa (os quatro meses mais chuvosos em média), com índices pluviométricos relativamente baixos, restringe-se a poucos meses, em geral três a quatro meses (Menezes et al., 2008). O conhecimento da produção agrícola e da sua distribuição no espaço geográfico são informações imprescindíveis para o planejamento estratégico do país, além de subsidiar formulação de políticas públicas, abastecimento e a segurança alimentar da população e a formação de preços nos mercados interno e externo (Santos & Camargo, 2006).

As condições climáticas durante o ciclo da cultura são as principais responsáveis pela produção final da cebola (Kumar et al., 2007a). A precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, fotoperíodo e velocidade do vento são as variáveis que influenciam diretamente no crescimento, o desenvolvimento e produtividade da cebola. Além disso, uma gestão adequada da cultura é essencial no estabelecimento do equilíbrio, tais como um bom manejo fitossanitário, adubação equilibrada, utilizar o espaçamento recomendado e manejo da irrigação possibilita a obtenção de uma ótima produtividade e uma melhor qualidade de bulbos.

Existem também fatores secundários que prejudicam a produção, sendo necessário ter o conhecimento das pragas que atacam a cultura da cebola, envolvendo seus hábitos, danos e época de ocorrência também é de fundamental importância para que medidas de controle sejam adotadas de forma racional e eficiente (EMBRAPA, 2007). Segundo Pereira (1999), outro fator que pode prejudicar a produtividade em razão de perdas decorrentes é a utilização de uma tecnologia inadequada de pós colheita e falta de uma rede de armazenagem adequada. O manejo da irrigação, assim como a escolha do sistema de irrigação a ser utilizado, depende das condições climáticas (saldo de radiação, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento), podendo se adequar as condições da região.

Nas regiões áridas e semiáridas, a produção de cebola é totalmente dependente da irrigação (Mohammadi et al., 2010; Halvorson et al., 2008; Al-Jamal et al., 2000). Em contraste, em áreas úmidas e temperadas, irrigação suplementar é usada para amortecer os impactos de infrequentes e/ou irregulares precipitação durante as secas a curto prazo (Pejic et al., 2011). Portanto, o conhecimento do consumo hídrico da cultura durante o ciclo é de fundamental importância para o dimensionar projetos de irrigação e manejo dos sistemas, possibilitando maximizar a eficiência no uso de água e energia elétrica, além de aumentar a produtividade (Campos, 2013).

Muitos modelos de culturas ou partes de modelos de culturas foram construídos para ajudar o pesquisador e o aluno a compreender o funcionamento de uma parte de um sistema de cultivo agrônomico. Além de incluir variáveis agrônomicas, o modelo mostra o que pode ser esperado para ocorrer se alguma alteração for feita no ambiente. Realizar testes em campo é inviável devido ao custo, especialmente como o número de variáveis e/ou aumento de tratamentos e da demora em obter resultados. Porém, um modelo validado para a cultura, ajuda para avaliar estes tratamentos e indica quais os que poderiam ser esperados para dar os resultados desejados (Whisler et al., 1986).

Para Littell et al. (2011), quanto mais precisa e antecipada for a previsão de produtividade, maior o potencial de auxílio aos tomadores de decisão na identificação de potenciais riscos e benefícios para aumentar a produção agrícola e para avaliar as incertezas, principalmente durante épocas em que a produção é incerta ou em regiões onde a produção é altamente variável, como é o caso de regiões semiáridas.

Uma excelente ferramenta de planejamento é o software AquaCrop, útil na avaliação da influência do ambiente na produção de culturas, simula a resposta da produtividade que um cultivo tem em relação à disponibilidade de água, possibilita

desenvolver estratégias em condições de déficit hídrico para maximizar a produtividade da água através de métodos como a irrigação deficitária, descrevendo as interações entre a planta e o solo.

No Brasil, pesquisas com a cultura da cebola têm se restringido aos aspectos agronômicos, como fertilização, sistemas de produção, manejo de doenças e pragas, desempenho de cultivares, métodos de armazenamento e qualidade pós-colheita (INMET, 2009). Visto que a agricultura é importante para a economia regional, o estudo busca quantificar o consumo hídrico da cultura, além de calibrar e validar o modelo AquaCrop para a cultura da cebola com informações meteorológicas e edafoclimáticas. Neste contexto, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

Geral:

Determinar o consumo hídrico, coeficiente de cultivo, bem como calibrar e validar o modelo AquaCrop para a cultura da cebola cultivada no semiárido nordestino, na região de Campina Grande, PB.

Específicos:

- (i) Determinar evapotranspiração e o coeficiente de cultivo da cebola para a região de estudo;
- (ii) Analisar o comportamento das variáveis fenométricas da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento;
- (iii) Realizar a parametrização do modelo AquaCrop para o cultivo estudado;
- (iv) Realizar simulações da produtividade da cultura através do modelo com intuito de saber as repostas a diferentes níveis de irrigação com vista à otimização no uso da água na agricultura.
- (v) Validar a eficiência do modelo para a cultura da cebola.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais

A cebola é uma planta herbácea com cerca de 60 cm de altura que apresenta folhas grandes dispostas alternadamente em duas fileiras, podendo ser cerosas ou não (Filgueira, 2008). O caule é de formato discoidal, com entrenós muito curtos, constituindo a base do bulbo. O sistema radicular é do tipo fasciculado, formado por raízes adventícias, que são continuamente produzidas ao redor do caule, durante o ciclo vegetativo. Quando novas raízes são produzidas, raízes velhas, próximas ao centro do caule, morrem (INMET, 2009). Embora cultivares de cebola apresentem diferenças, no balanço sistema radicular versus parte aérea, via de regra, 90% das raízes de cebola concentram-se nos primeiros 40 cm de profundidade e, apenas 2 a 3%, ocorrem abaixo de 60 cm (Greenwood et al., 1982). As raízes são tenras, finas, pouco ramificadas e bem providas de pêlos radiculares, no terço médio inferior. Durante os 15 dias que antecedem o início da bulbificação, a quantidade de raízes, nos primeiros 20 cm de profundidade, duplica ou até mesmo triplica, indicando ser, este período, crítico para o fornecimento de água, visando a boa produção de bulbos (Bosch Serra & Currah, 2002).

As condições climáticas limitantes para o desenvolvimento da cebola são o fotoperíodo e a temperatura, condicionando a formação e o desenvolvimento da parte aérea e do bulbo. O fotoperíodo é o fator decisivo na produção de bulbos. A cebola é uma planta que exige fotoperíodo crescente para que ocorra a indução do bulbo. Quando o período de luz se iguala ou supera um valor mínimo exigido pela cultivar, haverá o estímulo hormonal à iniciação do desenvolvimento do bulbo. Caso este valor não satisfaça as exigências fotoperiódicas da cultivar, a planta se limita a desenvolver as folhas sem bulbificar (Filgueira, 1982).

2.1.1. Fotoperíodo

A cebola é uma planta de dias longos quanto à formação de bulbos, e as cultivares designadas de dias curtos não são, particularmente, plantas de dias curtos; simplesmente exigem menos horas de luz para bulbificarem. Cada cultivar tem sua exigência em horas de luz para iniciar o processo de formação de bulbos. Desse modo, se uma determinada cultivar é exposta a uma condição fotoperiódica menor do que a exigida,

haverá um elevado índice de plantas que não irão se desenvolver, formando os conhecidos "charutos". Ao contrário, se uma cultivar é submetida a um fotoperíodo maior que o requerido, a bulbificação ocorrerá precocemente, formando bulbos de tamanho reduzido, sobretudo se essa condição ocorrer num estágio inicial de desenvolvimento das plantas. Quando se cultiva cebola em baixos fotoperíodos (muito curtos), as plantas formam folhas indefinidamente e não formam bulbos (Mendes, 2007).

2.1.2. Temperatura

O crescimento da cebola, que se estende da emergência de plântulas até o crescimento completo de folhas, é controlado, principalmente, pela temperatura. A bulbificação, por sua vez, é controlada pelo comprimento do dia e sua interação com a temperatura, a intensidade e a qualidade da radiação (INMET, 2009). As cultivares desenvolvidas para a região Nordeste do Brasil, como as da série IPA, são menos exigentes a baixas temperatura e tempo de exposição ao frio para florescer do que as cultivares desenvolvidas para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Mendes, 2007).

2.1.3. Tolerância ao déficit hídrico

O estresse é geralmente definido como um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta. Esse conceito está intimamente associado com tolerância ao estresse, que é a capacidade da planta para enfrentar condições desfavoráveis. Assim, a tolerância à seca é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável de deficiência hídrica. Se a tolerância aumenta como consequência da exposição anterior ao estresse, diz-se que a planta está aclimatada (Taiz & Zeiger, 2010).

A cebola é uma hortaliça sensível ao déficit hídrico, necessitando de boa disponibilidade de água no solo e irrigações frequentes para o seu bom desenvolvimento. No entanto, o excesso de água, aliado a altas temperaturas, pode ser igualmente prejudicial, favorecendo a incidência de patógenos, ao reduzir o crescimento e, conseqüentemente, a produção e a qualidade de bulbos. A falta de água na cultura da cebola pode levar a planta a apresentar perda de turgidez e tonalidades verde mais escuro das folhas, podendo acarretar redução de produtividade da ordem de 25% ao passo que, quando as irrigações são realizadas apenas quando as plantas apresentam sintomas visuais de estresse hídrico severo, ou seja, murchamento das extremidades foliares e predominância de coloração verde-acinzentado, a queda de produtividade pode chegar a

60%, além de comprometer a qualidade de bulbos (Marouelli et al., 2011).

A relação entre os fatores climáticos e a cebola é em geral complexa, de modo que, a produção resulta da interação entre as características genéticas da variedade e os elementos de clima que afetam diretamente os processos metabólicos da planta (radiação e temperatura) e aqueles que afetam indiretamente como a chuva, vento e fotoperíodo (Oliveira, 2014).

As sementes de cebola, de modo geral, demoram mais tempo para germinar e emergir que a maioria das espécies hortaliças. Após a emergência, a fase de plântulas é caracterizada também por crescimento relativamente lento, onde novas folhas e raízes são continuamente produzidas. Completada esta fase, inicia-se a fase adulta ou de planta, caracterizada como de crescimento relativamente rápido do dossel, onde novas folhas continuam sendo produzidas até o início da bulbificação (INMET, 2009). Iniciada a fase de crescimento de bulbo, há paralisação do crescimento das folhas, que já possuem limbo, continuando o crescimento apenas da base das folhas sem limbo e que estão localizadas mais internamente às folhas mais antigas, tornando-se o pseudocaule oco (Brewster, 1997).

2.2. Práticas culturais

2.2.1. Adubação e calagem

O principal critério de recomendação de calagem é o pH do solo de referência da cultura. O pH referencial é o valor do pH do solo mais adequado ao desenvolvimento da planta (SBCS, 2004). Filgueira (2000) afirma que a cultura da cebola se adapta melhor a solos com pH equilibrado entre 5,5 e 6,5. Assim como a calagem, a adubação da cebola deve ser baseada nos resultados de análise de solo e no potencial de resposta ao fertilizante. A recomendação de adubação deve ser baseada em critérios técnicos, visando a produtividade da cultura (Mendes, 2008).

Os efeitos da fertilização no rendimento e qualidade de cebola foram investigados por Kumar et al. (2001), descobriram que a aplicação de 120 kg N/ha aumentou o rendimento de cebola em 30%. O fósforo contribuiu para o desenvolvimento do sistema radicular. Desempenha também um papel fundamental na respiração, seja no desdobramento inicial da glicose, seja no armazenamento, na transferência e utilização da energia gerada no processo (Trani, 2014). O potássio atua em processos osmóticos, na

síntese de proteínas e na manutenção de sua estabilidade, na abertura e fechamento de estômatos, na permeabilidade da membrana e no controle de pH (EMBRAPA, 2009).

O Boro é o micronutriente mais estudado na cebola. Neste sentido, Jaymohanrao (1974) verificou que a adição conjunta de Cu e de B melhorou a composição mineral dos bulbos, sobretudo no que se refere aos teores de Ca, de P e de Fe. Plantas requerem uma variedade de elementos para crescimento e desenvolvimento dos quais N e K são os mais importantes dos nutrientes essenciais às plantas. A deficiência desses elementos causa efeitos prejudiciais sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. O uso equilibrado de fertilizantes, especialmente nitrogênio e fósforo, pode resultar em um aumento no rendimento de bulbos das cebolas (Dudhat et al., 2010).

2.2.2. Cultivo irrigado da cebola

A agricultura irrigada é responsável pelo uso de 69% de toda a água consumida no mundo, e a tendência de escassez dos recursos hídricos, no contexto do aquecimento global, torna necessário o uso de práticas que aumentem a eficiência do uso da água pelas culturas (Sampaio et al., 2010). Ao contrário de outras espécies, plantas de cebola e de alho geralmente não murcham quando submetidas a condições de deficiência hídrica. Assim, sintomas imediatos de deficiência hídrica moderada para essas espécies são difíceis de serem visualizados em condições de campo (Bosch Serra & Currah, 2002). O déficit hídrico severo geralmente está associado à ligeira perda de turgidez e à coloração verde-acinzentada das folhas; já os sintomas posteriores de resposta à deficiência hídrica incluem redução no tamanho das folhas e dos bulbos, com consequente redução de produtividade e aumento de pungência (Marouelli et al., 2005).

Em razão das peculiaridades do clima e do solo, o cultivo da cebola no semiárido objetivando elevadas produções, é dependente de práticas de irrigação (Grangeiro et al., 2008). Tosta (2014) recomenda a reposição dos níveis de água no solo entre 60% e 80% da ETc para se obter boa produtividade da cebola levando em conta a economia de água.

2.3. Indicadores do solo

Em sistemas produtivos, a avaliação da qualidade do solo por meio do monitoramento de seus indicadores físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental

para a sustentabilidade produtiva dos ambientes, pois fornece subsídios para a escolha de práticas de manejo que permitam a conservação dos ecossistemas. Para o monitoramento da qualidade dos solos se faz necessário avaliar a sua capacidade e estado atual comparando-os com o solo em estado natural, pois representa condições ecológicas de equilíbrio ambiental, ou com parâmetros ideais, que estejam ligados a conservação e valores ótimos da produção e que devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação (Doran e Parkin, 1994).

2.3.1. Indicadores físicos de qualidade do solo

Os principais indicadores físicos que têm sido utilizados e recomendados são textura; espessura; densidade do solo; resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d'água; condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (Araújo, 2012). As propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidos no suporte ao crescimento radicular; armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (Arshad et al., 1996).

2.3.2. Indicadores químicos de qualidade do solo

Uma análise completa para avaliação da fertilidade do solo deve incluir as seguintes determinações: pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, manganês, cobre, ferro, boro, alumínio, hidrogênio mais alumínio, teor de matéria orgânica e granulometria (textura) (Furtini Neto et al., 2001). A análise de solos é indispensável para a definição de quantidades adequadas de corretivos e fertilizantes visando o pleno atendimento das exigências das plantas, sob pena, se preterida, incorrer na aplicação de doses inferiores à necessária ao alcance da produção máxima, assim como também doses superiores à exigida, causando desequilíbrios nutricionais e contaminação do lençol freático e cursos d'água e em última análise comprometimento à rentabilidade da atividade (EMBRAPA, 2009).

2.4. Coeficiente de cultivo

O conhecimento do coeficiente de cultivo (K_c) permite a estimativa das necessidades hídricas de uma cultura, sendo fundamental para o manejo da irrigação e

consequentemente, para a maximização do uso da água (Oliveira Neto et al, 2011). O K_c é um fator resultante da relação entre a evapotranspiração do cultivo (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0). O K_c varia com altura da planta, umidade do solo, cobertura do solo, resistência do cultivo, clima da região e manejo agrônomico (Allen et al., 2006).

Mudanças na vegetação e cobertura do solo significam que o coeficiente de cultura K_c varia durante o período de crescimento. As tendências em K_c durante o período de crescimento estão representadas na curva do coeficiente de cultura. Apenas três valores para K_c são suficientes para descrever e construir a curva do coeficiente de cultura: aqueles durante o estágio inicial (K_c ini), o estágio de meia estação (K_c mid) e no final do estágio de final de estação (K_c end) (Allen et.al., 1998).

Oliveira et. al. (2013) compararam os valores de coeficientes de cultivo da cebola determinados com base na evapotranspiração do método Tanque Classe A, Penman-Monteith (PM) e o proposto por Marouelli et al. (2005) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cebola. Os resultados encontrados mostraram que os coeficientes determinados com base na ET_0 (PM) foram mais próximos daqueles apresentados por Marouelli et.al. (2005) para a cultura da cebola; que o maior coeficiente de cultura foi encontrado no estágio que corresponde ao início da bulbificação até o início da maturação - estágio III e que os coeficientes de cultura determinados com base na ET_0 (TCA), nos estádios I e II foram inferiores aos propostos por Marouelli et al., (2005), 11,7 e 22,5%, respectivamente, nos estádios III e IV, foram superiores 1 e 4,6%, respectivamente. Esses resultados demonstram a importância da condução de experimentos *in loco* para determinação de coeficientes de cultura corroborando com a afirmação de Allen et al. (1998).

2.5. Consumo hídrico

O estudo da evapotranspiração é importante para o planejamento agrícola, sendo cada vez maior a exigência de informações sobre as necessidades hídricas das culturas para o planejamento regional e preliminar de projetos. Tornando 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 diversos métodos para determinação da evapotranspiração da cultura,

sejam eles diretos ou indiretos. Dentre os métodos diretos destaca-se a utilização dos lisímetros e do balanço hídrico no solo. No caso dos 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 (Allen et al., 1998). O método do balanço de água no solo já foi estudado por diversos autores (Rose, 1966; Slatyer, 1967; Guandique & Libardi, 1997; 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 (Reichardt, 1985).

2.6. Modelagem agrícola

Avanço na tecnologia trouxe uma infinidade de mudanças em todos os campos da vida. Como outras disciplinas científicas, a simulação de modelo levou a prestígio posição na gestão da água na agricultura (Nazeer, 2009). Este tipo de modelo pode ser usado para investigar uma série de assuntos relacionados à produção vegetal, facilita o entendimento quanto ao comportamento da cultura dentro de seu contexto ambiental, para prever ou explorar o potencial produtivo sob certas condições e aprimorar a gestão no uso da água, que é o fator principal e decisivo para colheita efeito direto sobre a planta (Ittersum et al., 2003).

O AquaCrop é um modelo de simulação de culturas que descreve as interações entre a planta e a solo. A FAO desenvolveu o AquaCrop para abordar a segurança alimentar e avaliar o efeito do ambiente e gestão da produção agrícola. Ao projetar o modelo, um ótimo equilíbrio entre simplicidade, precisão e robustez foram buscadas. Para ser amplamente aplicável, o AquaCrop usa apenas número relativamente pequeno de parâmetros explícitos e variáveis de entrada na maioria intuitivas que podem ser determinados por métodos simples. Por outro lado, os procedimentos de cálculo são fundamentados em e, muitas vezes, processos biofísicos complexos para garantir uma simulação precisa da resposta da cultura no sistema solo-planta (FAO, 2017). Steduto *et al.*, (2009) apresentaram os conceitos, princípios e procedimentos selecionados para

simular os processos no modelo AquaCrop. Raes *et al.*, (2009) descreve os principais algoritmos usados no software modelo e descreve a operação do modelo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características da área experimental

O estudo foi realizado na Estação Agrometeorológica Experimental – EstAgro/DCA (Figura 1 e 2) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, localizada no município de Campina Grande, estado da Paraíba. A vegetação local pertence é típica do agreste nordestino, zona de transição entre o semiárido e a vegetação litorânea, especificamente na zona oriental do Planalto da Borborema, com latitude de 07° 13' 50" S e longitude de 35° 52' 52" W e 546m de altitude.

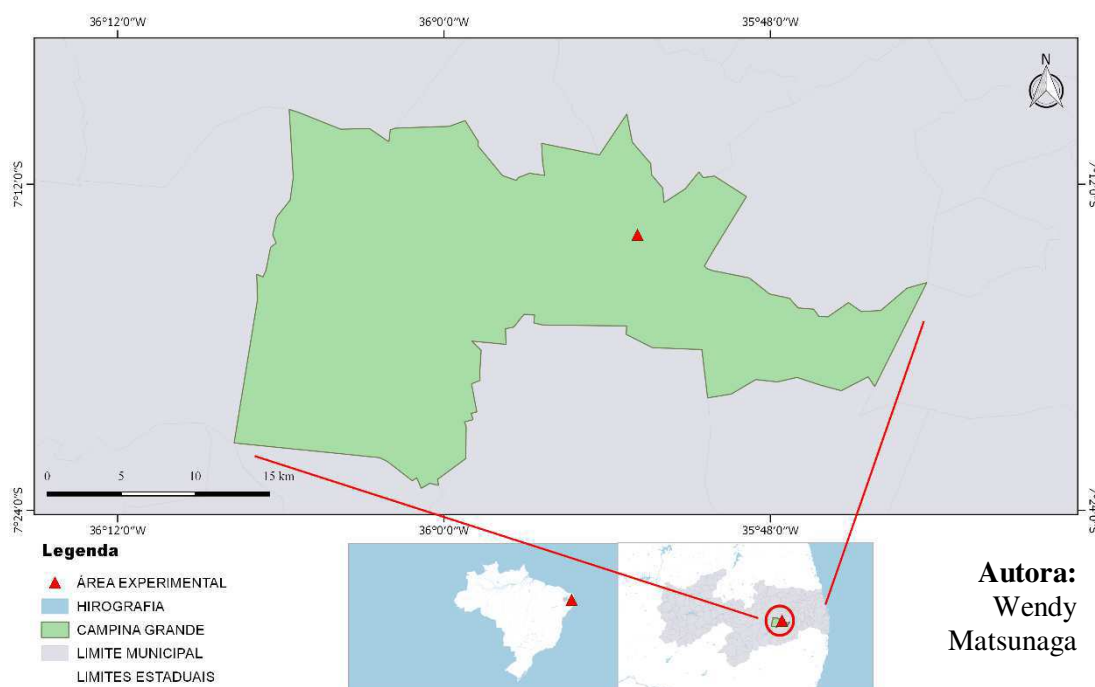


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na Estação Agrometeorológica Experimental/EstAgro.

Devido as condições climáticas locais de semiaridez, com a precipitação anual em média de 755mm e umidade relativamente baixa a hidrografia da região é escassa. O experimento realizado em campo dependeu de um sistema de irrigação para complementar a demanda hídrica da cultura estudada.

A Figura 2 exhibe a área de realização do experimento de campo com a cultura da cebola, composta por quatro canteiros, 8 tubos de acesso a umidade do solo e

encanamento de irrigação:



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

A Tabela 1 exibe os dados climatológicos anuais de Campina Grande-PB no período de 1977 a 2017.

Tabela 1. Dados meteorológicos climáticos de Campina Grande-PB no período de 1977 a 2017.

Dados Meteorológicos	Média Annual
Pressão Atmosférica (hPa)	951,9
Temperatura Máxima do ar (°C)	28,7
Temperatura Mínima do ar (°C)	20
Precipitação Total (mm)	754,3
Umidade Relativa do ar (%)	77,8
Insolação Total (h)	2543

A Figura 3 exibe a climatologia mensal Campina Grande/PB, com melhor detalhamento das condições de clima para cada ciclo do experimento com a cultura da cebola. Como pode ser observado, o primeiro ciclo (seta azul) é marcado pelo período chuvoso com temperaturas amenas e alta umidade relativa do ar influenciados diretamente pela radiação solar, que além de ser menor nessa parte do ano possui o período de insolação em horas mais curto e o segundo ciclo (seta vermelha) é caracterizado pelo período seco da região com pouca ocorrência de precipitação e condições meteorológicas opostas, essa diferença de clima entre os ciclos reflete diretamente na produção final.

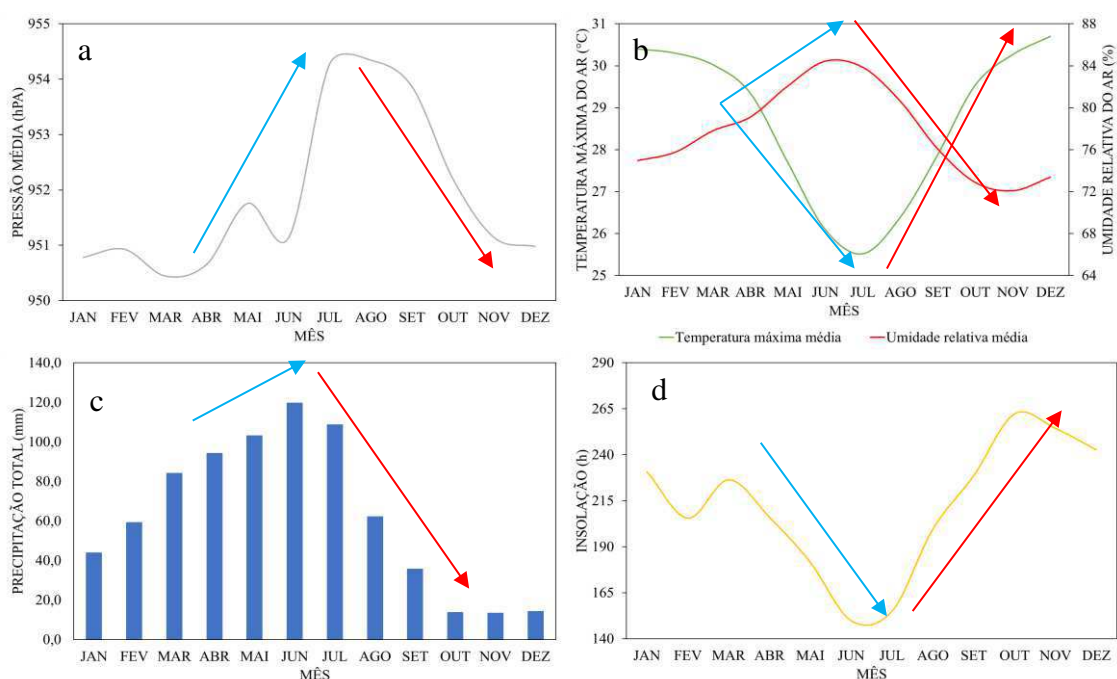


Figura 3. Climatologia mensal de Campina Grande/PB, a) pressão média (hPa), b) temperatura máxima (°C) x umidade relativa média (%), c) precipitação mensal total (mm) e d) Insolação (h).

O experimento foi desenvolvido em quatro canteiros com espaçamento de 0,38 m entre cada um, dimensões internas de 1 m de largura, 7,6 m de comprimento e altura de aproximadamente 0,15 m cada (Figura 4). Em cada canteiro foram transplantadas 144 plantas (Figura 4a) com espaçamento entre linhas de 0,26m e entre plantas de 0,20m.

Devido ao efeito bordadura, ficaram disponíveis para análise 14 plantas por bloco, totalizando 56 plantas por tratamento, de modo a evitar a influência externa do ambiente e plantas que sofreram menos com a competição por nutrientes (Figura 4b).

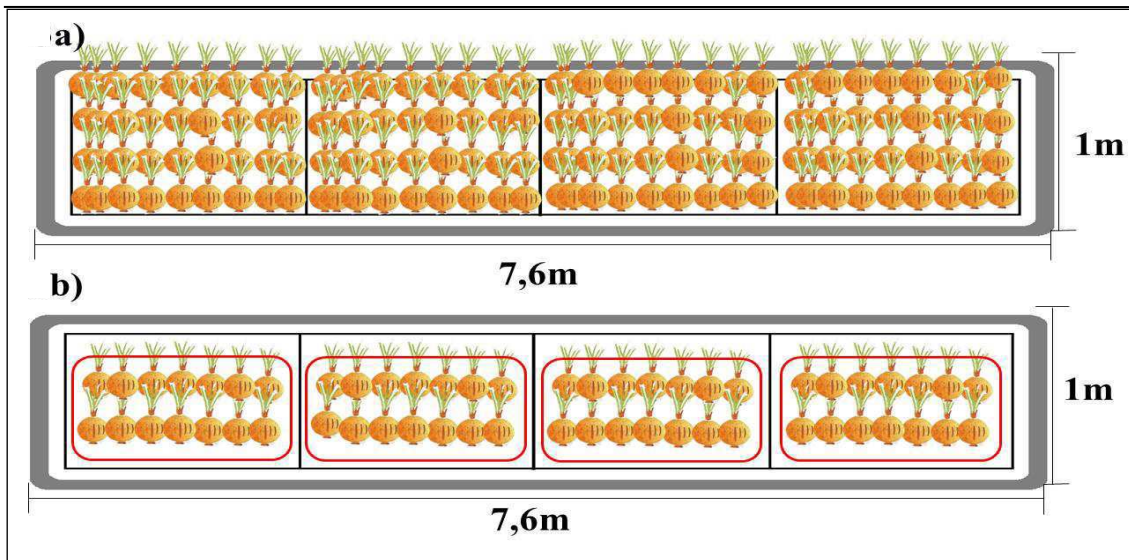


Figura 4. Organização do estande por canteiro (a) e fração de plantas disponíveis para análises, desprezando as que podem sofrer do efeito bordadura (b).

Em cada canteiro foram instalados dois tubos de acesso (Figura 5a) em cano PVC com 1 m de comprimento, diâmetro externo de 56,5 mm e interno de 51 mm, devidamente vedados no fundo para monitorar a variação da umidade no solo através da sonda de capacitância (Figura 5b) durante o período estudado. A Figura 5c ilustra a sonda medindo a umidade do solo através do tubo instalado e as medições foram feitas três vezes por semana.



Figura 5. Monitoramento da umidade do solo, a) Tubos de acesso por canteiro, b) sonda Diviner para o monitoramento de umidade, c) Sonda monitorando a umidade do solo.

O delineamento experimental dos tratamentos do estudo foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos de irrigação representados por T1, T2, T3 e T4 com quatro repetições por tratamento representados por B1, B2, B3 e B4, conforme é exibido na Figura 6:

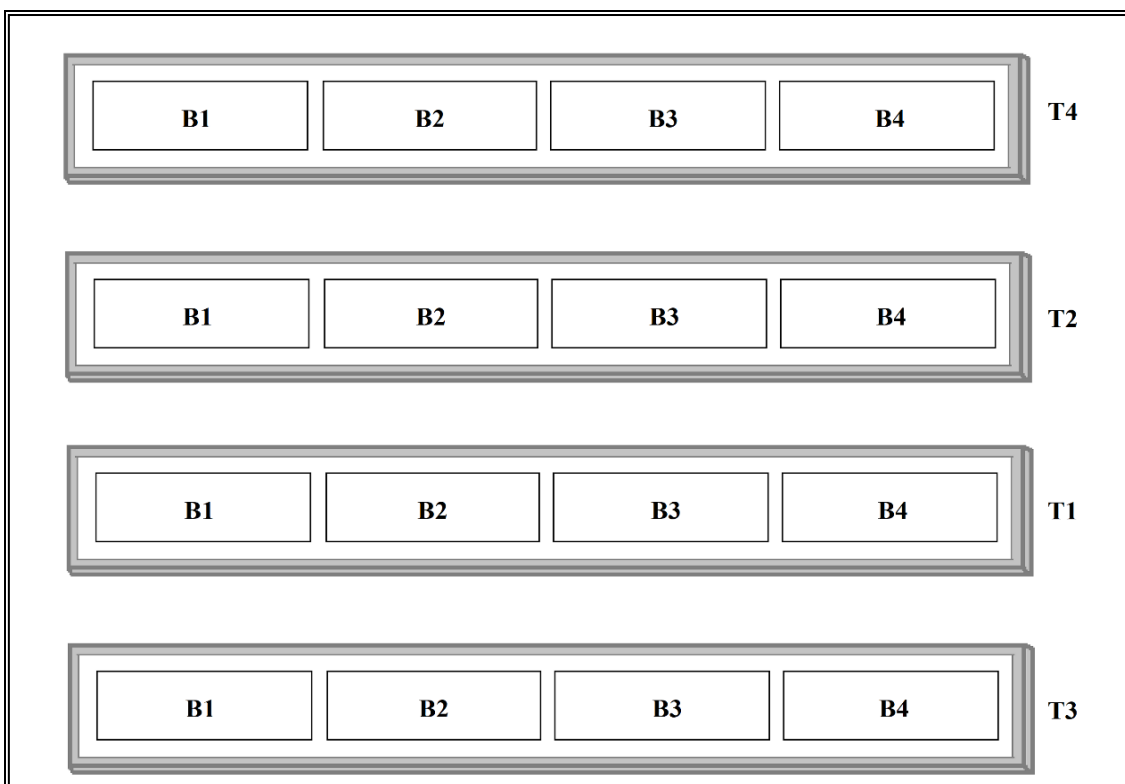


Figura 6. Espacialização aleatória dos tratamentos na área experimental.

Os tratamentos utilizados são apresentados na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Identificação da reposição hídrica por tratamento.

Tratamento	Reposição da necessidade hídrica
T1	100% da ETo
T2	75% da ETo
T3	50% da ETo
T4	25% da ETo

3.2. Características da cultura

A cultivar analisada foi a variedade “IPA 11”. Esta variedade apresenta plantas com folhagem vigorosa, ereta e de coloração verde escura muito cerosa e “opaca”. Os bulbos possuem formato globular cilíndrico, uniformes, casca fina e de coloração amarela clara. O ponto de “estalo” fase que marca o início da maturação dos bulbos ocorreu após o 113 DAS (dias após semeadura) e a colheita em torno do 135° DAS para o primeiro ciclo. Apresentou um bom desenvolvimento com a temperatura local. Ela possui uma

taxa boa de emergência, crescimento lento durante a fase inicial e vegetativa (0 a 65 DAS), boa resistência ao “Mal das sete voltas” (*Colletotrichum Gloesporioide Cepae*) e boa ao Tripes (*Thrips Tabaci*).

3.3. Variáveis analisadas no experimento

As variáveis fenométricas analisadas no estudo foram: altura da planta (cm), diâmetro do caule/bulbo (mm), peso dos bulbos (g), diâmetro equatorial do bulbo (mm), produtividade (t/ha) e Sólidos Solúveis Totais (° brix).

3.4. Semeadura e transplantio das mudas

A semeadura foi feita manualmente. Para germinação foram utilizadas sementeiras improvisadas com copos descartáveis com cortes no fundo para não haver acúmulo excessivo de água e cerca de três a quatro sementes foram plantadas por copo. Após duas semanas, foi realizado o desbaste para que apenas a planta mais vigorosa continuasse na sementeira, diminuindo assim a competição por nutrientes e mantendo o estande homogêneo. Durante esta fase inicial as plantas foram mantidas dentro de uma casa de vegetação (Figura 7b) restringindo possíveis influências externas como o vento, ataque por lagartas, chuvas intensas e radiação solar direta.

No processo do transplantio, os canteiros foram arados e capinados (Figura 7a), as mudas foram retiradas da casa de vegetação (Figura 7b e 7c). O transplantio no terreno (Figura 7d) ocorreu no 45 DAS, quando as medidas da cultura possuíam entre 18 a 20cm de altura e 0,75mm de diâmetro e desenvolvidas o suficiente para tolerar o transporte e a mudança de ambiente. As mudas foram transplantadas próximas ao gotejador disponível mais próximo.

Para o teste de vazão média utilizou-se de 16 amostragens aleatórias nos gotejadores, contabilizou-se a quantidade média de água durante por minuto (ml/min) em uma proveta; posteriormente ajustou-se para L/h, o valor da vazão por gotejador observada foi de 3,56mm/min. O controle de erva daninha (Figura 7e) foi feito periodicamente durante todo o ciclo (Figura 7f). A maturação fisiológica da cebola é marcada pelo amolecimento do caule e posteriormente o tombamento de cerca de 80% das plantas.



Figura 7. Ciclo da cebola, a) casa de vegetação, b) local do experimento, c) e d) transplântio, e) controle de erva daninha e f) tombamento.

3.5. Irrigação

A irrigação na sementeira foi realizada por volta de uma a duas vezes ao dia dependendo da evapotranspiração diária com auxílio de regadores visando sempre manter o solo em capacidade de campo, evitando estresse hídrico e aumentando a quantidade de sementes germinadas. Após o transplântio, o método de irrigação adotado foi por gotejamento durante o turno da manhã, repondo os níveis de água de acordo com seu

respectivo tratamento e o espaçamento entre gotejadores de 0,2x0,26m. Ribeiro *et al.*, (2010) afirma que um dos sistemas mais apropriados e em notável expansão é o sistema de irrigação por gotejamento, o qual apresenta vantagens, como a economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação das áreas cultivadas, de suma importância para agricultura brasileira, por viabilizar a irrigação para diversas culturas, entre as quais destacam-se as frutíferas e olerícolas.

3.6. Defensivos agrícolas

Para controle de pragas que afetam a cebola foram utilizados os produtos químicos discriminados na Tabela 3.

Tabela 3. Produtos utilizados para o controle de pragas no cultivo de cebola.

Controle	Produtos
Insetos	DECIS-25
Fungos	TAIREL-M e Calda Bordalesa

A concentração ideal para aplicação é de 1ml do inseticida de contato DECIS-25 para 5L de água, que foi aplicado no período inicial de ambos os ciclos, para a infestação de fungos, foi aplicado 10g do fungicida sistêmico Tairel-M em 5L de água. A classificação no rótulo da embalagem de ambos os defensivos agrícolas é vermelha - Classe 1 (extremamente toxicológico). Para a Calda Bordalesa à 0,5%, na concentração ideal para hortaliças, a cada aplicação foram utilizados 10L de água, 50g de Sulfato de Cobre e 90g de cal hidratada.

Considerando as concentrações aplicadas dos produtos por aplicação, o gasto médio por hectare (Tabela 4):

Tabela 4. Produtos para controle de fungos e insetos.

DECIS-25	TAIREL-M	Sulfato de Cobre	Cal hidratada
1,3 L/ha	3,28 Kg/ha	16,4 Kg/ha	29,6Kg/ha

3.7. Análises do solo e recomendação de adubação e calagem

As análises física e química do solo foram feitas no Laboratório de Irrigação e

Salinidade da UFCG para conhecer as deficiências de fertilidade no solo da área experimental. Dessa forma, avaliou-se a reposição da quantidade de nutrientes necessária na adubação química. Seguindo a recomendação de adubação para a cebola na região semiárida fornecida pela EMBRAPA. As propriedades físicas do solo na área experimental são apresentadas na Tabela 5 e as propriedades químicas na Tabela 6 e 7.

Tabela 5. Resumo das propriedades físicas do solo na área experimental.

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Classificação textural	Densidade do solo (g/cm ³)	Densidade de partículas g/cm ³	Porosidade (%)
	Areia	Silte	Argila				
10	79,9	14,0	6,0	Areia Franca	1,29	2,73	52,68
20	81,9	11,0	7,0	Areia Franca	1,26	2,71	53,41
30	83,4	10,5	6,0	Areia Franca	1,34	2,73	51,13
40	82,0	10,5	7,5	Areia Franca	1,33	2,73	51,3

Tabela 6. Propriedades químicas do solo na área experimental para o 1º e 2º ciclo.

Características químicas	1º ciclo	2º ciclo
Cálcio (Cmol/dm ³)	3,26	2,11
Magnésio (Cmol/dm ³)	2	2,72
Sódio (Cmol/dm ³)	0,07	0,13
Potássio (Cmol/dm ³)	0,3	0,27
Hidrogênio (Cmol/dm ³)	1,93	0,5
Alumínio (Cmol/dm ³)	0	0
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausente	Presença
Carbono Orgânico (g/Kg)	14,6	9,5
Matéria Orgânica (g/Kg)	25,1	16,4
Fósforo Assimilável (mg/dm ³)	34,7	122,6
Nitrogênio (g/Kg)	15	10
pH H ₂ O (1:2,5)	5,76	6,15
Condutividade Elétrica – mmhos/cm (Suspensão Solo-Água)	0,11	0,35

Durante o período inicial na sementeira foram aplicadas doses de 5ml em cada copo de uma solução mineral nutritiva para as plantas semanalmente, com 1,5ml de NPK 10-10-10 foliar por litro de água, de acordo com a recomendação de adubação.

Tabela 7. Recomendação para adubação para o 1º ciclo.

Identificação da amostra - AM01							
Teores no Solo		Necessidade de nutrientes (kg ha ⁻¹)			Quantidade de adubos (kg ha ⁻¹)		
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SA	MAP	KCl
Muito Alto	Alto	150	45	45	695	86,5	75

Tabela 8. Recomendação para adubação para o 2º ciclo.

Identificação da amostra - AM02							
Teores no Solo		Necessidade de nutrientes (kg ha ⁻¹)			Quantidade de adubos (kg ha ⁻¹)		
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SA	MAP	KCl
Muito Alto	Alto	150	45	90	695	86,5	150

Informações dos adubos utilizados:

Macronutrientes: Sulfato de Amônio (SA) 20% N e 22% S;
Fosfato Mono-Amônio (MAP) 11% N e 52% P₂O₅;
Cloreto de Potássio (KCl) 60% K₂O;

Micronutrientes: Ácido Bórico (H₃BO₃).

A cebola é relativamente sensível a acidez, desenvolvendo-se melhor em solos com saturação de bases (V%) desejada à 70%. De acordo com os resultados das análises de fertilidade do solo, a área da AM01 e AM02 não necessitou de corretivo em nenhum dos ciclos devido o valor de saturação de base calculada em 74,5% e 91,3%, respectivamente. Seguindo a recomendação de adubação para a cultura da cebola proposta por Resende (2015) e com base nos dados interpretados na análise da fertilidade do solo foram utilizadas as seguintes dosagens de insumos:

Aplicou-se 150 kg ha⁻¹ de Sulfato de Amônia sete dias após o transplântio (adubação de fundação) e 545 kg ha⁻¹ de S.A. parcelado em duas aplicações de 272,5 kg

ha⁻¹ aos 25 e 50 dias após transplântio (Adubação de cobertura) para o 1^o e 2^o ciclo do experimento. Devido ao teor no solo de fosforo ser muito alto (>25mg de P/dm³ de solo), aplicou-se a dose mínima de 86,5 kg ha⁻¹ de MAP incorporados um dia após o plantio também em ambos os ciclos. E por último parcelou-se o KCl em três vezes a dose total 75 Kg ha⁻¹ no 1^o ciclo e 150 kg ha⁻¹ no 2^o ciclo, sendo a primeira utilizada sete dias após (Adubação de fundação) e as duas últimas aos 25 e 50 dias após o transplântio (Adubação de cobertura).

Junto as aplicações das fontes de NPK utilizou-se o micronutriente Boro que é essencial devido a suas várias funções assumidas no metabolismo vegetal, sendo fundamental não só para rendimentos elevados, mas também para alta qualidade das culturas.

3.8. Consumo hídrico

A evapotranspiração da cultura foi calculada pela equação:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura [mm d⁻¹];

K_c = coeficiente de cultura [adimensional];

ET₀ = evapotranspiração de referência [mm d⁻¹].

A evapotranspiração de referência foi calculada com base no software ET₀ calculator (versão 3.20, FAO), que utiliza o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), como segue:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

em que:

ET₀ = Evapotranspiração de referência [mm dia⁻¹];

R_n = Saldo de radiação na superfície da cultura [MJ m⁻² dia⁻¹];

G = Densidade de fluxo de calor no solo [MJ m⁻² dia⁻¹]

T = Temperatura diária do ar a 2 m de altura [° C];

u = Velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}];
 e_s = Pressão de vapor de saturação [kPa];
 e_a = Pressão de vapor real [kPa]
 $e_s - e_a$ = Déficit de pressão de vapor de saturação [kPa];
 Δ = Declinação da curva de pressão de vapor [$\text{kPa } ^\circ \text{C}^{-1}$];
 γ = Valor psicrométrico [$\text{kPa } ^\circ \text{C}^{-1}$].

Os dados necessários para o cálculo de ET_0 foram disponibilizados no site do INMET através da Estação Meteorológica Automática de Campina Grande, localizada na Embrapa Algodão. As variáveis utilizadas são dados diários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, velocidade do vento e radiação solar global.

3.9. Balanço hídrico

O balanço hídrico do solo (BH) foi elaborado com base na equação (Libardi, 1995):

$$PRP + I \pm D/A \pm \Delta h \pm R - ET_c = 0 \quad (3)$$

em que:

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm/dia);
 PRP = Precipitação (mm/dia);
 I = Irrigação;
 Δh = Variação no armazenamento de água no perfil do solo;
 R = Escoamento superficial;
 D / A = Drenagem profunda ou ascensão capilar.

No cálculo do balanço hídrico do solo, a umidade (Δh) foi monitorada através da sonda de capacitância Diviner, composto com um display com teclados; o datalogger possui um cabo com haste e um sensor que faz a leitura automaticamente a cada 0,10m de profundidade no solo até a profundidade máxima de 0,75m. A PRP foi através dos dados da estação automática do INMET, I através da monitoração da irrigação e R foi considerado nulo devido a área do canteiro ser relativamente pequena e plana.

3.10. O modelo AquaCrop

O AquaCrop é um modelo que considera o efeito da água no rendimento das

culturas, intitulado como “*water-driven model*” e utiliza as seguintes equações:

$$B = WP \cdot \sum T_r \quad (4)$$

$$Y = B \cdot HI \quad (5)$$

em que:

WP = Produtividade da água (kg m⁻²mm⁻¹)

Tr = Transpiração da cultura

B = Biomassa seca da parte aérea (kg)

Y = produção final (kg)

HI = índice de colheita (%)

A produção final é expressa como função da biomassa (B) e do índice de colheita (HI) para diferenciar entre os efeitos do estresse ambiental sobre a biomassa (B) daqueles que ocorrem no índice de colheita (HI).

O modelo tem os seguintes módulos:

(i) *clima*: dados diários de temperaturas máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s) e radiação solar (W/m²).

(ii) *cultura*: avaliam-se o espaçamento entre plantas (m), datas de altura máxima do dossel da planta, informação sobre a cobertura máxima do dossel (bem coberta, pouco coberta, quase inteiramente coberta), expansão do dossel (muito pouca, lenta, moderada, rápida e muito rápida), declínio do dossel (muito lento, lento, moderado, rápido e muito rápido), profundidade máxima das raízes, profundidade máxima das raízes (m), número de dias de semeadura a até a floração, data da maturidade da cultura, data da senescência, número de dias da floração até a senescência, a produção de biomassa (não limitante, moderada - aproximadamente metade, pobre ou muito pobre) e por fim, índice de colheita da cultura.

(iii) *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 (ds/m).

(iv) *solo*: são inseridas informações de umidade do solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade do solo, além do monitoramento semanal da umidade do solo, salinidade do solo, tipo de solo, número de horizontes (camadas do

solo), percentagem de cobertura do solo por mulch (folhas mortas, galhos, etc. espalhados dentro do plantio) -, expresso em (%), altura do canteiro (m) e altura do lençol freático.

3.10.1. Validação do modelo

O desempenho do modelo AquaCrop foi avaliado comparando-se seus resultados com os dados observados de produtividade obtida na colheita. Nesta etapa foram utilizadas as análises estatísticas abaixo:

O erro quadrado médio (RMSE) definido por (Hsiao et al., 2009):

$$RMSEN = \frac{1}{O} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \times 100 \quad (6)$$

O erro médio quadrático normalizado:

$$NRMSE = \frac{1}{O} \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (7)$$

O índice de concordância (d) de Willmont (1982) é definido por:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (8)$$

Coefficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe:

$$EF = 10 \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

Erro de predição:

$$PE = \frac{\sum (S_i - O_i)}{\sum O_i} \times 100 \quad (10)$$

em que:

S_i e O_i : são valores simulados e observados, respectivamente;

\bar{O}_i : valor médio de O_i ;

N : representa o número de observações.

Quando E e d se aproximam de um, e Pe , $RMSEN$ e MAE aproximam-se de 0%, indicam o desempenho positivo do modelo. A simulação é considerada excelente se $RMSEN$ for inferior a 10%; isto é, bom se ele for de 10% à 20%; razoável quando se trata de 20% e 30%; e ruim acima de 30%.

O software RStudio gerou as análises descritivas dos resultados em bloxplot com valores de mediana, quartil 1, máximo, mínimo e quartil 3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de variáveis

4.1.1. Primeiro ciclo

O primeiro experimento foi conduzido em condição de campo durante os meses de abril a julho por 90 dias (27/04/2018 a 25/07/2018), em condições climáticas característicos do período chuvoso da região. Os períodos de germinação e inicial duraram 45 dias.

A Figura 8, gerada pelo software R, exhibe a água total aplicada e distribuída ao longo do ciclo da cultura, todos divididos em períodos de 10 dias, designado por D. Os pontos fora do valor máximo e mínimo são referentes a precipitações acima do necessário para o controle hídrico dos tratamentos e/ou períodos com grande variação de evapotranspiração como é observado D60 (51DAT a 60DAT). A paralisação da irrigação ocorreu em 75 DAT.

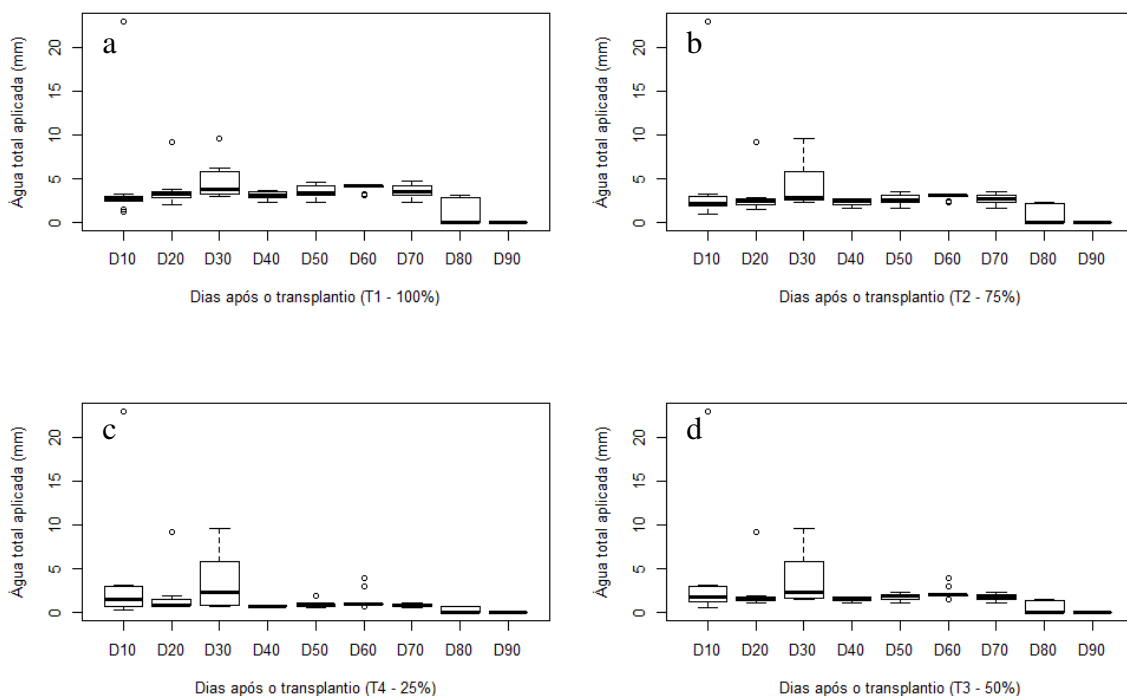


Figura 8. Água total aplicada (mm) por tratamento durante o primeiro ciclo, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

O consumo de água pela cultura da cebola por irrigação dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 foi de 192,9; 144,7; 96,5 e 48,2mm, respectivamente. Com o acréscimo de 86,4mm da precipitação, a água total aplicada totalizou 279,3; 231,1; 182,9 e 134,6mm, para os respectivos tratamentos T1, T2, T3 e T4.

4.1.1.1. Umidade do solo

A Figura 9 exhibe os valores médios da umidade do solo entre 0 – 0,4m para os tratamentos estudados. O comportamento de decréscimo da umidade pode ser explicado pelo fato de a precipitação estar concentrada na fase inicial do ciclo na qual o solo se manteve mais úmido, diminuindo no período sem precipitação e alcançando valores abaixo de 10% após a paralisação da irrigação.

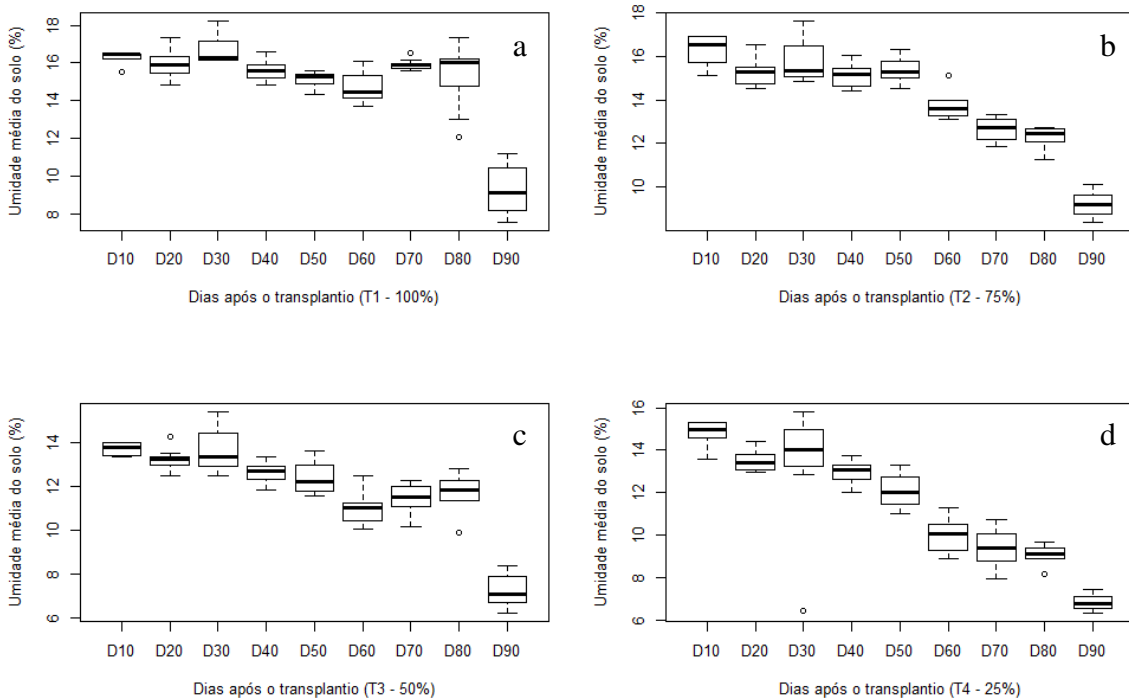


Figura 9. Umidade média do solo (%) por tratamento, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

4.1.1.2. Variáveis meteorológicas

As variáveis meteorológicas durante a realização do experimento são apresentados na Figura 10. A precipitação (Figura 10e), durante o período experimental, totalizou 86,4mm e predominantemente concentrada até 40 DAT, diferindo

da climatologia local entre os meses abril a julho. A temperatura e umidade relativa do ar máximas e mínimas (Figura 10a e 10b) apresentaram valores médios de 27,1°C, 19,7°C, 95,1% e 58%, respectivamente, observou-se uma leve tendência ao decréscimo da temperatura e umidade mínima.

Não foi observado nenhuma tendência nas demais variáveis, com as médias de velocidade do vento (Figura 10c), radiação solar (Figura 10d) e evapotranspiração de referência (Figura 10f) com os valores de 2,7 m/s, 193,8 W/m² e 3,6 mm/dia, respectivamente.

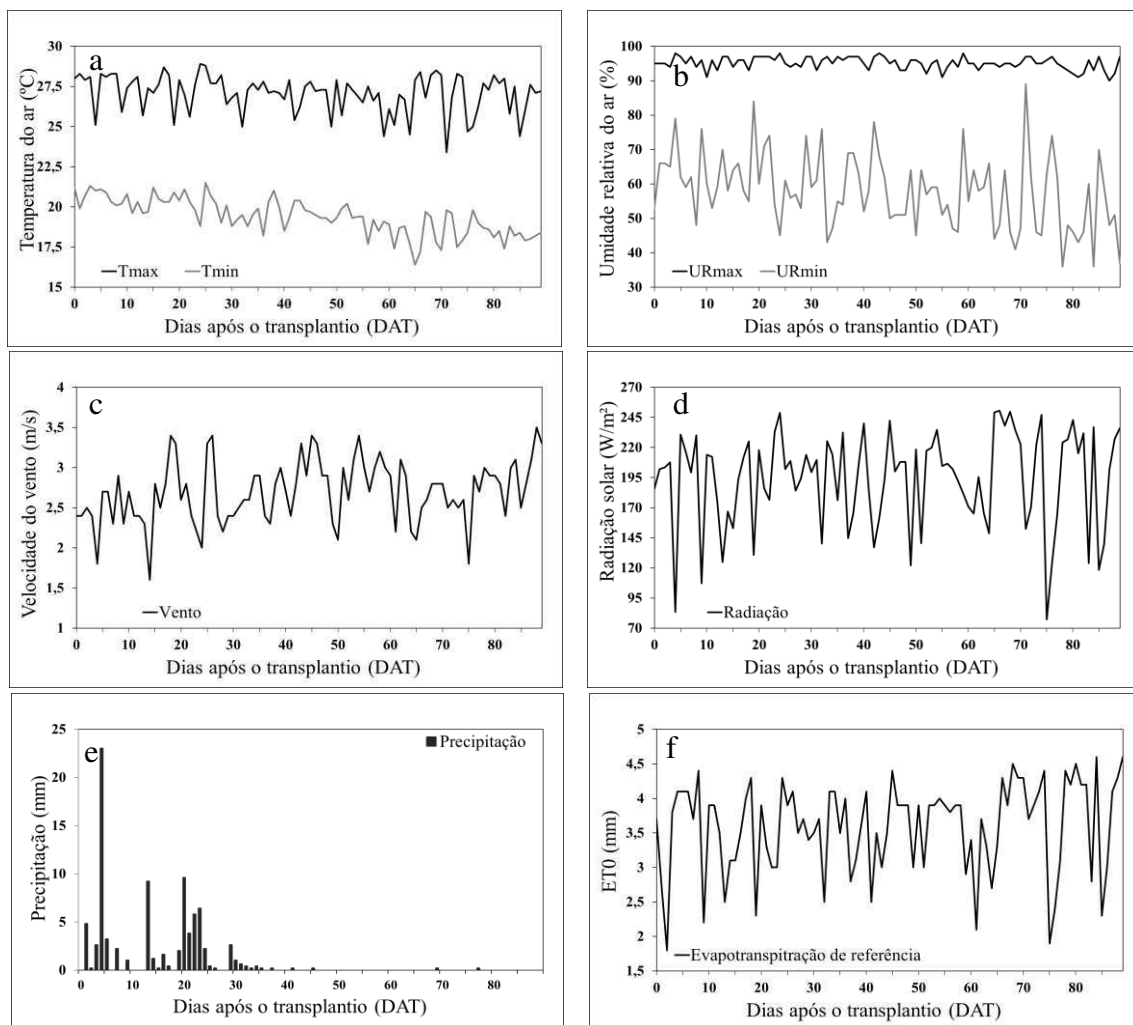


Figura 10. Dados meteorológicos observados: a) temperaturas do ar (°C) máxima e mínima, b) umidades relativas do ar (%) máxima e mínima, c) radiação solar (W/m²), d) velocidade do vento (m/s), e) precipitação (mm/dia) e f) evapotranspiração de referência (mm/dia).

4.1.1.3. Variáveis fenométricas

A Figura 11, gerado pelo software R, exibe a da altura da planta para todos os tratamentos, que alcançaram a altura média de 60cm. De acordo com Filgueira (2008) informa que o resultado da interferência da precipitação possibilita que até os tratamentos com irrigação deficitária as plantas cresçam normalmente. Nota-se que o desenvolvimento máximo da altura em D60 (60 DAT) com 64,17cm de altura e senescência entre D70 a D90 (61 a 90 DAT).

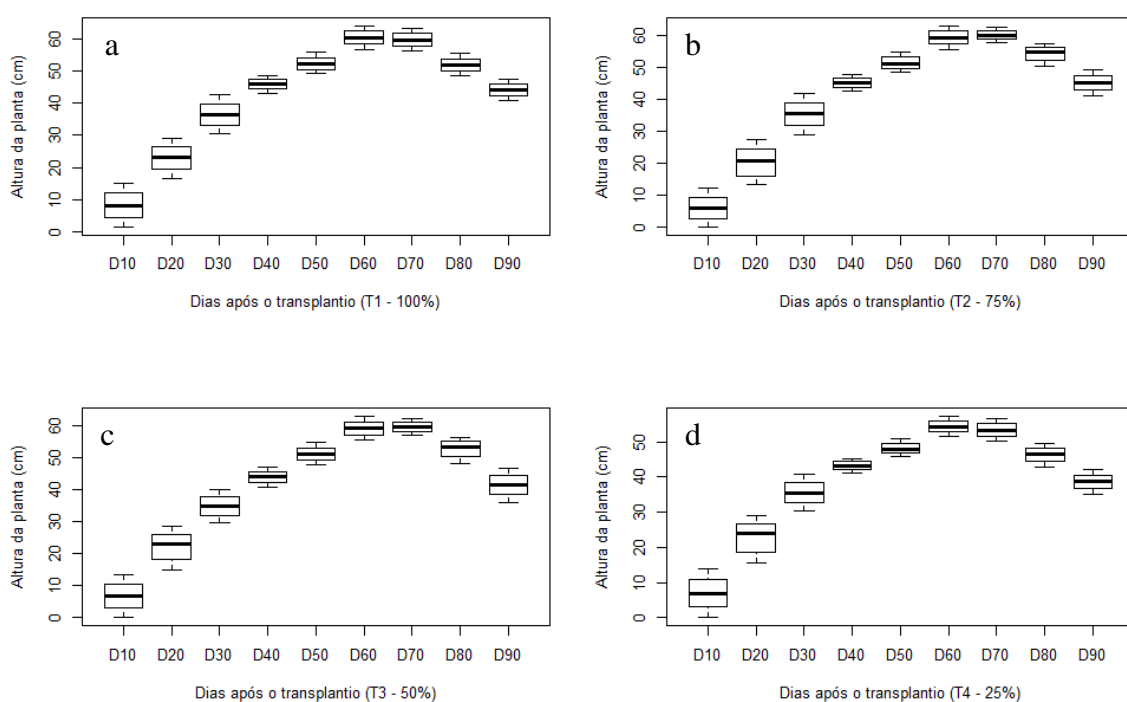


Figura 11. Altura média da cebola para os tratamento: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

Durante o período reprodutivo da cebola, iniciou-se o processo de modificação do caule para a formação do bulbo. Na Figura 12 é possível acompanhar o desenvolvimento do bulbo que é marcada partir de D50 ou DAT (48 DAT), até a senescência da cultura.

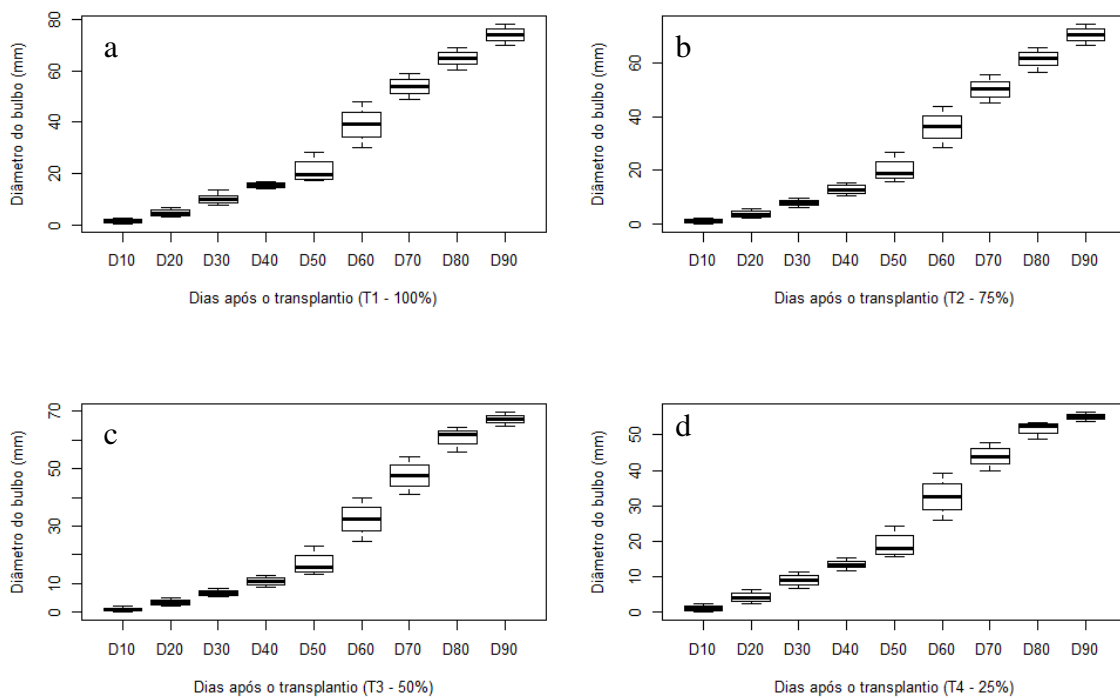


Figura 12. Diâmetro médio da cebola por tratamento, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

Através da Figura 13 é possível identificar valores médios transversais e longitudinais do bulbo pós-colheita e sua correlação com os diferentes tratamentos de irrigação, a linha de tendência mostra que aproximadamente 98% e 95% das variações de diâmetro equatorial e longitudinal do bulbo, respectivamente, conseguem ser explicadas através da regressão logarítmica. Os maiores valores de diâmetro do bulbo transversal e longitudinal foram encontrados no tratamento de 100% da evapotranspiração de referência (T1).

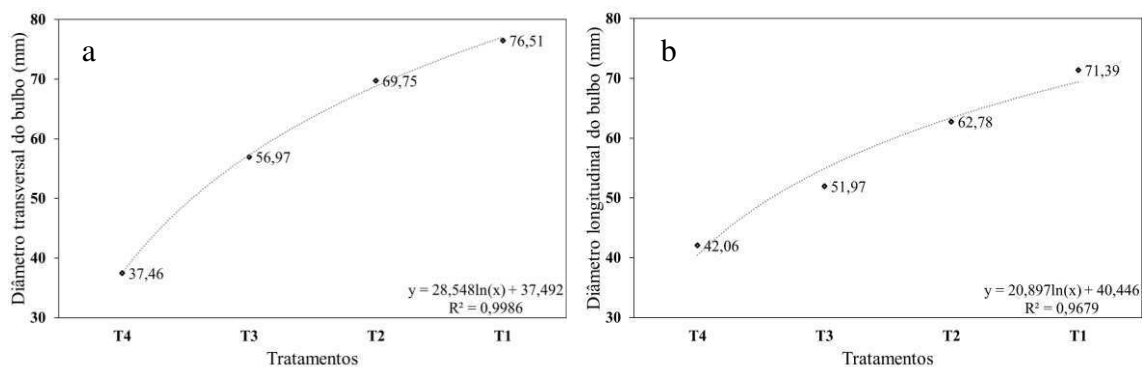


Figura 13. Diâmetro do bulbo, a) diâmetro transversal e b) diâmetro longitudinal.

4.1.1.4. Variáveis da produção e sólidos solúveis totais

A Figura 14 exibe os valores de peso médio por bulbo, produtividade e sólidos solúveis totais para todos os tratamentos. À medida que a água aplicada aumenta de T4 a T1, os resultados são mais satisfatórios, sendo que T1 e T2 exibiram os melhores desempenho. Os ajustes logarítmicos explicam cerca de 97% a influência das lâminas de irrigação em função das variáveis analisadas.

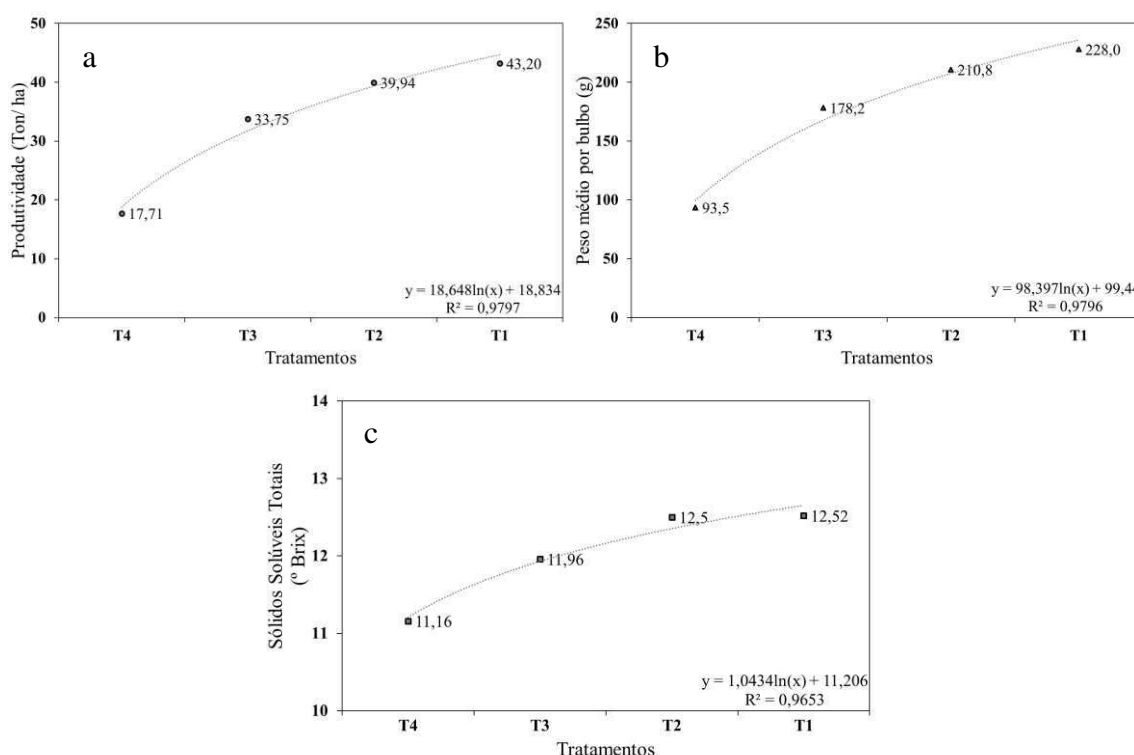


Figura 14. a) produtividade (ton ha⁻¹), b) peso médio por bulbo (g) e (c) sólidos solúveis totais (°Brix).

A escala Brix é calibrada pelo número de gramas de açúcar contidos a cada 100g de solução, portanto o teor indica a maturação fisiológica do fruto. Para Carvalho (1980), os valores dos sólidos solúveis totais em cebolas podem oscilar de 5 a 20% e conforme a Figura 14c ilustra, todos os tratamentos se encaixaram dentro dessa faixa, com teores de 11,16 a 12,52%.

4.1.2. Segundo ciclo

O segundo experimento foi conduzido em condição de campo durante os meses

de agosto a novembro por 83 dias (29/09/2018 a 19/11/2018), em condições de tempo característicos do período seco da região. Os períodos de germinação e inicial duraram 45 dias (em casa de aclimação).

O Figura 15 gerada pelo software R exibe os valores máximo e mínimo da água total aplicada e distribuída ao longo do ciclo. Durante o experimento em campo, a precipitação não influenciou com reposição hídrica em excesso além da necessidade diária para cada tratamento. A água aplicada predominantemente foi oriunda da irrigação, portanto seguiu uma tendência inicial de acréscimo, devido a necessidade hídrica da cultura da fase vegetativa e posteriormente reprodutiva, que decaiu a partir da senescência a paralisação total da irrigação em 73 DAT, entre os D80 e D90).

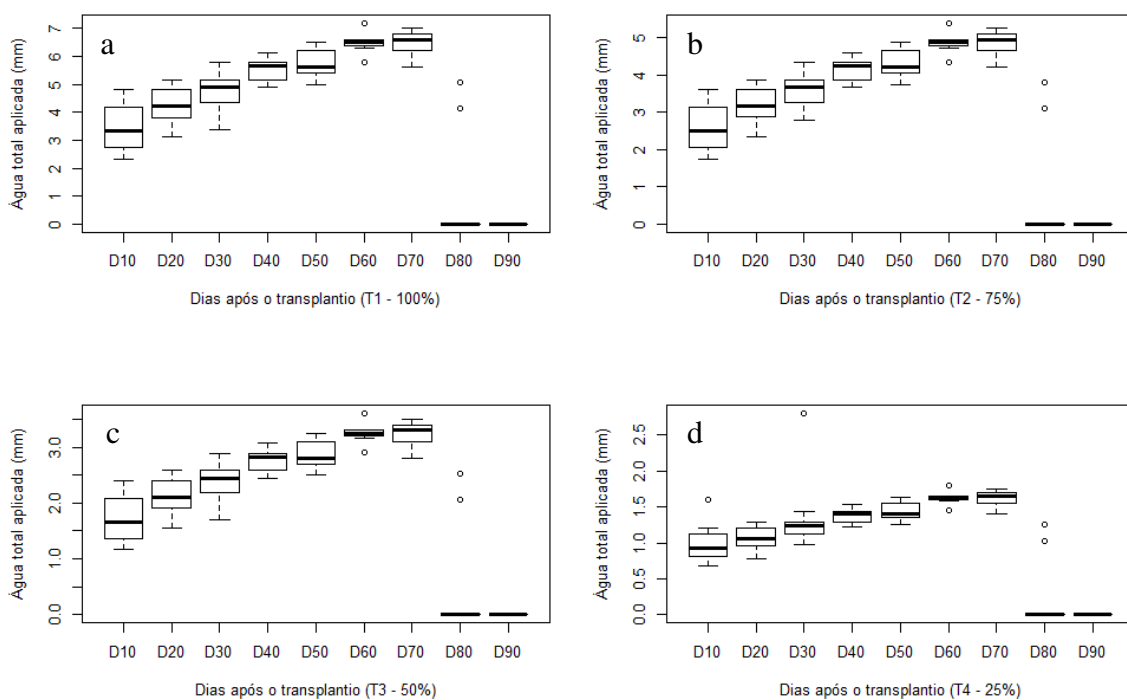


Figura 15. Água total aplicada por tratamento no 2º ciclo para os tratamentos: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

O consumo de água por irrigação dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 foi de 379,56; 284,67; 189,78 e 94,89mm, respectivamente. Com o acréscimo da precipitação, a água total aplicada totalizou 388,16; 293,27; 198,38 e 103,49 mm, respectivamente.

4.1.2.1. Umidade do solo

A Figura 16 apresenta os valores médios da umidade do solo entre 0 – 0,4m para todos os tratamentos de irrigação durante o segundo ciclo. O comportamento dessa variável não foi influenciado pela precipitação ocorrida; por outro lado, a diminuição da umidade do solo apresentou uma relação inversa ao aumento da evapotranspiração diária.

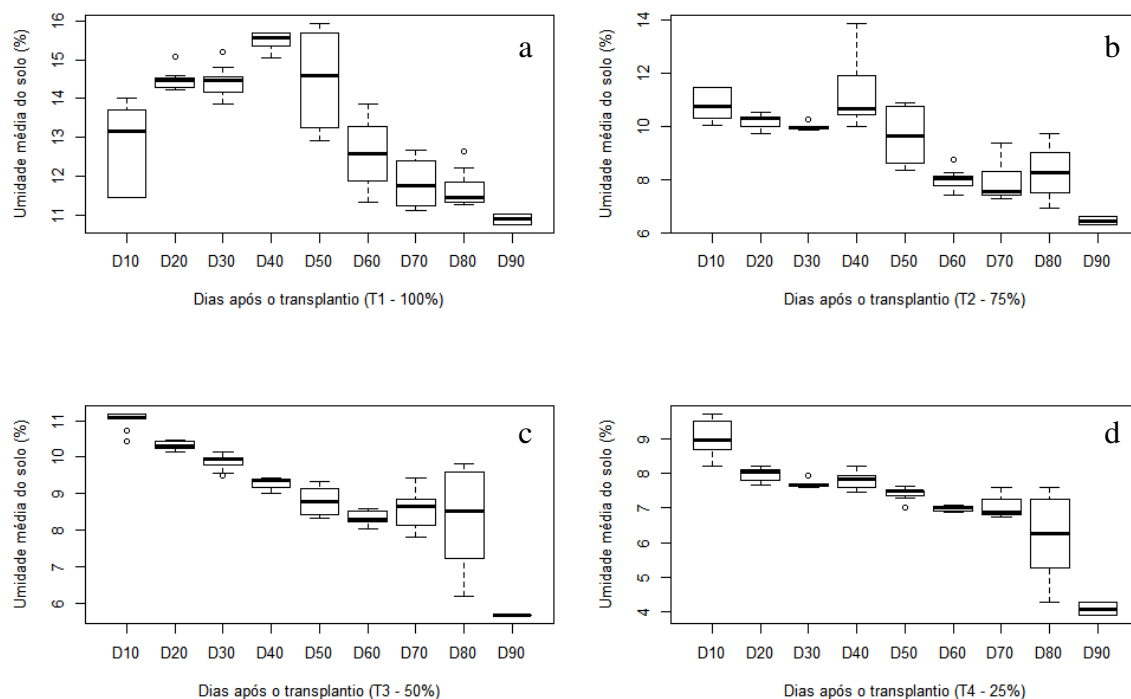


Figura 16. Umidade média do solo (%) por tratamento de irrigação: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

4.1.2.2. Variáveis meteorológicas

As variáveis meteorológicas durante a realização do experimento são apresentados na Figura 17. A precipitação (Figura 17e) durante o período experimental totalizou 8,6mm enquanto a temperatura do ar máxima e mínima e umidade relativa do ar máximas e mínimas (Figura 17a e 17b) apresentaram valores médios de 30,4°C, 20,1°C, 92,8% e 40,8%, respectivamente.

Para as variáveis médias de velocidade do vento (Figura 17c), radiação solar (Figura 17d) e evapotranspiração de referência (Figura 17f) apresentaram os valores de 4,2 m/s, 255,6 W/m² e 5,8 mm/dia, respectivamente.

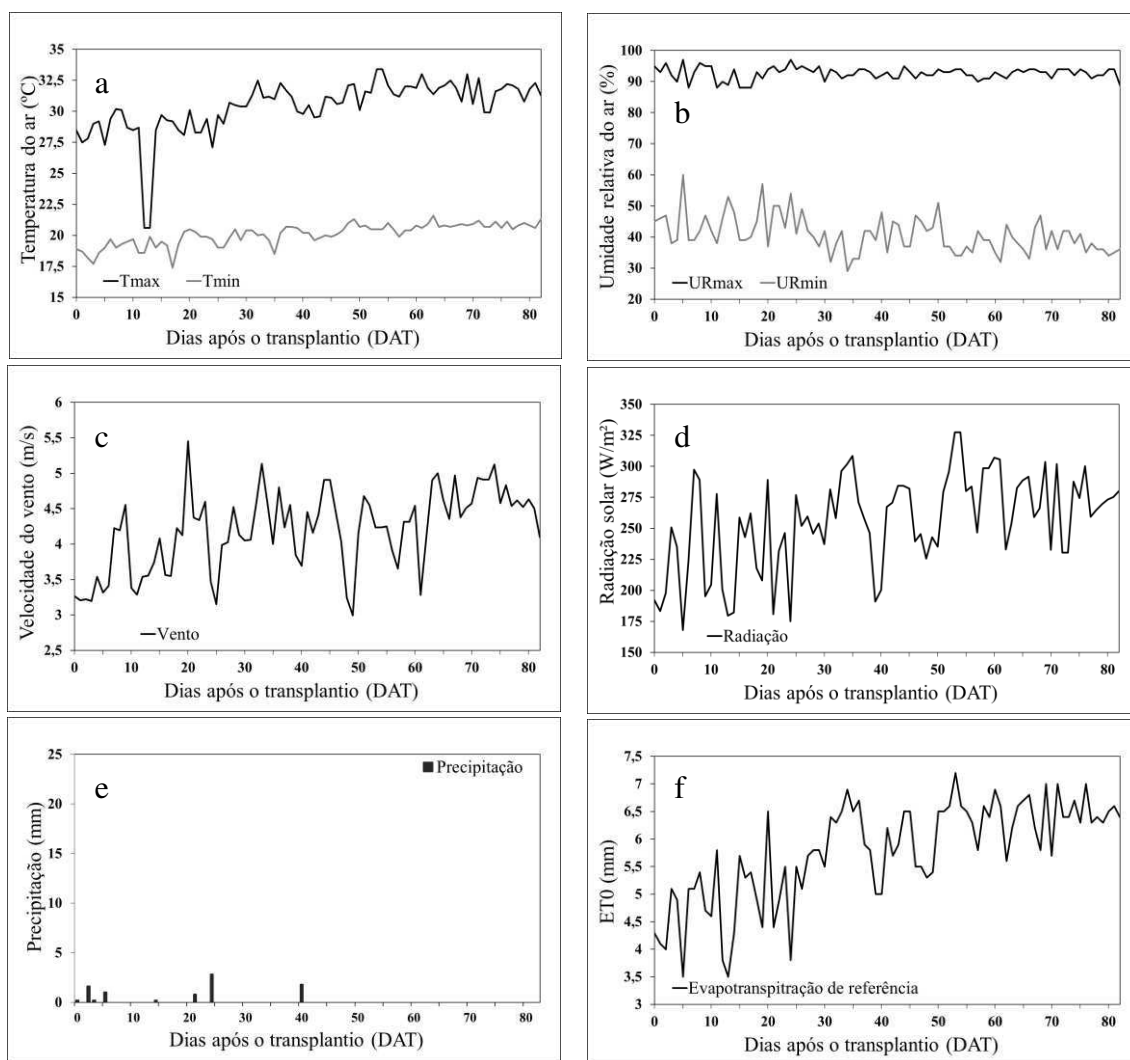


Figura 17. Dados meteorológicos observados: a) temperaturas do ar máxima e mínima, b) umidades relativas do ar (%) máxima e mínima, c) radiação solar), d) velocidade do vento (m/s), e) precipitação (mm/dia) e f) evapotranspiração de referência (mm/dia).

É importante ressaltar que as variáveis meteorológicas entre os dois ciclos são distintas. O primeiro experimento é marcado por temperaturas, radiação e ventos amenos e umidade relativa do ar elevada e altas taxas de precipitação. O segundo ciclo foi marcado pela tendência do aumento das temperaturas máxima e mínima, vento, radiação solar e evapotranspiração, além de baixa umidade relativa mínima e pouca precipitação. Apesar disso, não houve diferença no tratamento fitossanitário entre os ciclos, com ocorrência de lagartas, formigas e fungo na fase inicial das plantas nos dois ciclos do experimento.

A Tabela 9 apresenta os valores máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa máxima, velocidade do de vento, radiação solar, evapotranspiração de referência

e a precipitação total registrados em cada ciclo.

Tabela 9. Valores máximos de temperatura e umidade máxima, vento, radiação e evapotranspiração; valores mínimos de temperatura e umidade mínima e precipitação total registrados nos dois ciclos do experimento.

	Tmax	Tmin	URmax	URmin	Vento (m/s)	Radiação (W/m ²)	PRP total	ETo (mm)
1º ciclo	28,9	16,4	98,0	36,0	3,5	250,7	86,4	4,6
2º ciclo	33	17	97,0	29,0	5,4	327,5	8,6	7,2

4.1.2.3. Variáveis fenométricas

A Figura 18 exibe a altura da planta para os quatro tratamentos. Nota-se que T1 foi único tratamento que alcançou a altura máxima de 60cm, considerada normal para a cebola, os demais não conseguiram se desenvolver normalmente devido ao estresse hídrico. A altura máxima registrada alcançou o seu valor máximo em D50, diferentemente do registrado para o primeiro ciclo.

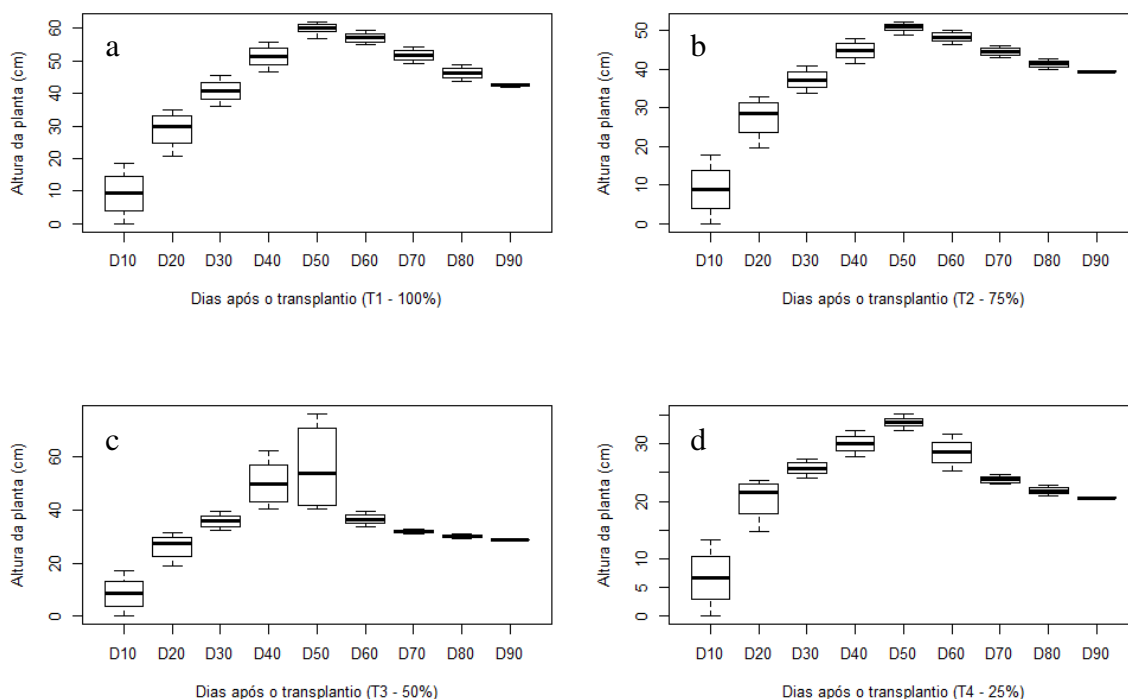


Figura 18. Altura média da cebola para os tratamentos: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

Notou-se o início da bulbificação em 40 DAT, último dia do período D40 (Figura

19). A antecipação o desenvolvimento da planta, em crescimento, bulbificação e tamanho do ciclo pode ser justificável através das condições meteorológicas observadas.

A Embrapa (2007) afirma que após satisfeitas as necessidades de fotoperíodo, somente haverá boa formação de bulbos se a temperatura for favorável a cultivar plantada. Temperaturas baixas predispõem as plantas de cebola ao florescimento precoce, sem formação de bulbos, enquanto sob temperaturas elevadas o tamanho dos bulbos será reduzido e a maturação mais rápida.

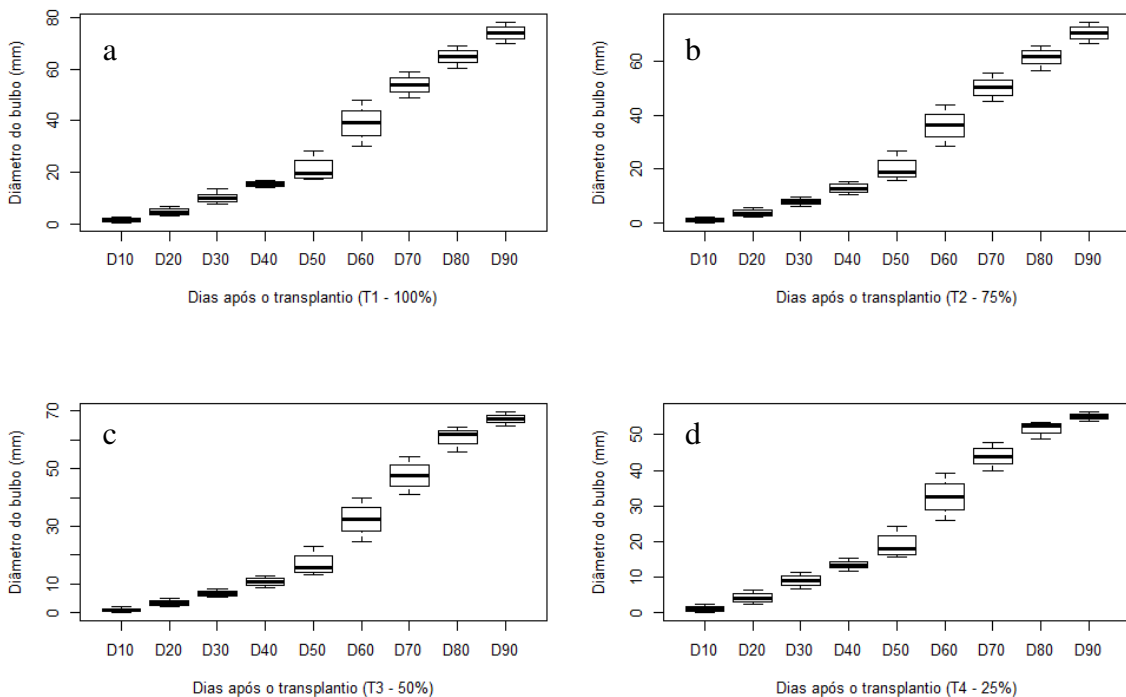


Figura 19. Diâmetro médio da cebola por tratamento, a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.

A linha de tendência (Figura 20) expressa por uma função linear, explica cerca de 95% e 99% o crescimento do diâmetro transversal e longitudinal em função ao aumento da irrigação, novamente, T1 foi o tratamento que obteve maiores valores de diâmetro de bulbo.

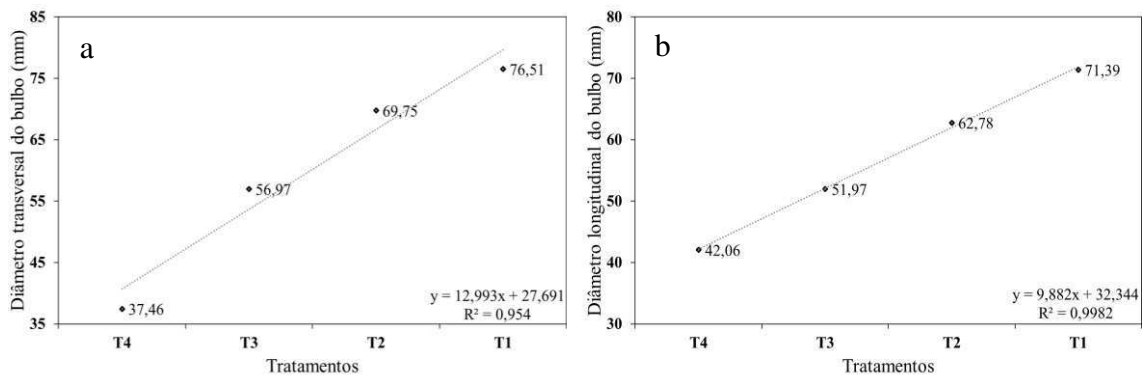


Figura 20. Diâmetro do bulbo nos sentidos a) transversal e b) longitudinal.

4.1.2.4. Variáveis da produção e sólidos solúveis totais

A Figura 21 exibe que as variáveis de produtividade e peso por bulbo estão diretamente ligadas a irrigação, assim como o ciclo anterior à medida que a irrigação diminui, menor é a produtividade dos tratamentos. O ajuste linear explica a influência em 99% desta relação. Entretanto, houve discordância entre os resultados apresentados para o ° brix durante o segundo ciclo, cujo a correlação entre as lâminas de irrigação foi baixíssima.

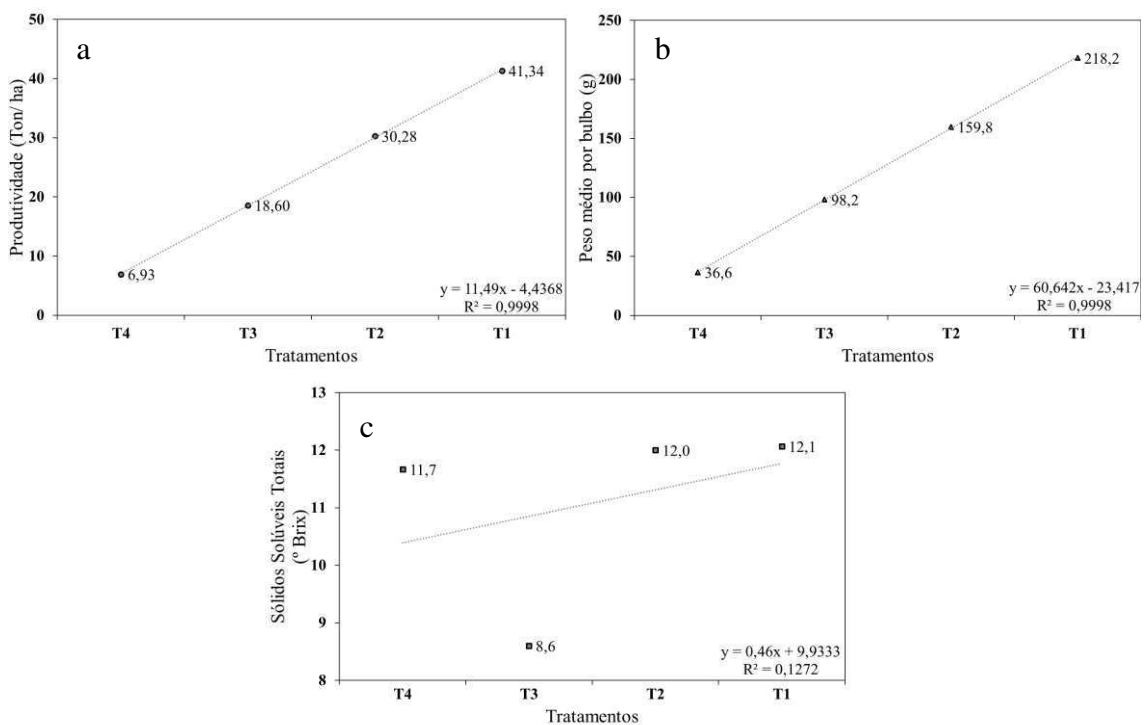


Figura 21. a) produtividade (ton ha¹), b) peso médio por bulbo (g) e c) sólidos solúveis totais (°Brix).

4.2. Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo

Mediante as variáveis observadas em campo durante o primeiro e segundo ciclo do experimento, determinou-se o balanço hídrico do solo pela equação proposta por Libardi (1995). A Figura 22 exibe a evapotranspiração da cultura na região estudada, separados por períodos com 10 dias cada até o momento da paralização da irrigação. A evapotranspiração da cultura formou uma parábola, na qual, o período inicial variou de 1,53 a 4,9 mm dia⁻¹, alcançou valores máximos durante o período de bulbificação com máxima do ciclo em 51 DAT com 6,31mm dia⁻¹ e decaindo com a maturação e senescência variando entre 2,42 e 4,16 mm dia⁻¹, respectivamente. Desta forma, a evapotranspiração totalizou 311,52mm para o primeiro ciclo e 353,97mm no segundo ciclo do experimento.

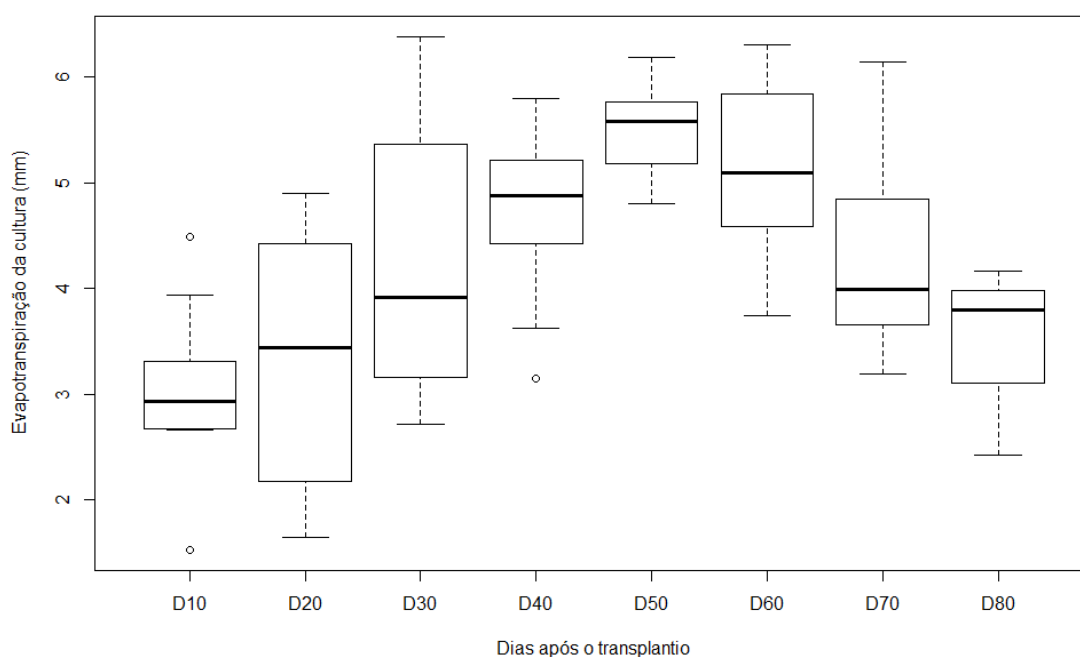


Figura 22. Evapotranspiração da cultura da cebola para a região de estudo.

Carvalho et al. (2017) encontraram valores próximos ao deste estudo com consumo hídrico da cultura da cebola, que variaram de 3,9 mm dia⁻¹ para o estágio inicial da cultura a 5,8 mm dia⁻¹ para o estágio de máximo desenvolvimento e formação de bulbos, atingindo valores máximos diários de até 7,2 mm dia⁻¹.

A Tabela 10 apresenta valores do coeficiente de cultivo (Kc) encontrados por Marouelli (2005) e valores encontrados neste experimento para a região da área estudada

de irrigação por gotejamento. Os resultados encontrados permitem observar a diferença entre os valores dada pelo clima e localização dos respectivos estudos, porém os coeficientes mantiveram-se valores muito aproximados.

Tabela 10. Coeficiente de cultivo para a região de estudo.

Estádio	Kc (Marouelli, 2005)	Kc (Experimento)
Inicial	0,60	0,68
Vegetativo	0,80	0,89
Bulbificação	0,95	0,99
Maturação	0,65	0,73

4.3. Modelagem com o AquaCrop

O estudo busca avaliar o desempenho do modelo através da calibração feita com os dados coletados sobre T1, com 100% da reposição hídrica da cultura e validação para os tratamentos T2, T3 e T4 para o primeiro ciclo (período chuvoso) e repetição (período seco), sempre buscando uma boa aproximação entre os valores obtidos em campo com as simulações do modelo.

4.3.1. Primeiro ciclo

4.3.1.1. Calibração do modelo

A Figura 23 apresenta os valores de biomassa (B) e produtividade (Y) para o tratamento de 100% de reposição hídrica. No estudo, o tratamento T1 é considerado como referência para validação com os tratamentos T2, T3 e T4. Os resultados abaixo foram obtidos em campo e posteriormente estimados pelo AquaCrop, através da calibração do modelo com dados coletados durante o experimento do primeiro ciclo, referentes ao período chuvoso. Demonstrando uma excelente aproximação entre os valores reais e estimados devido a diferença mínima na subestimação do modelo.

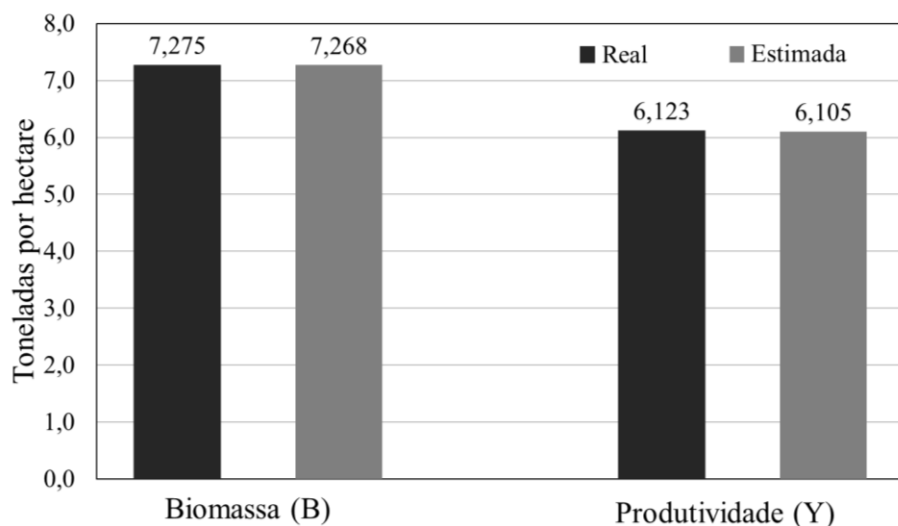


Figura 23. Biomassa (B) e produtividade (Y) real e estimada de T1 para o 1º ciclo.

A calibração para a cultura no AquaCrop foi feita através de um conjunto de parâmetros considerados conservativos e não conservativos, que são exibidos na Tabela 11 abaixo:

Tabela 11. Parâmetros conservativos e não conservativos da cebola utilizados na parametrização do AquaCrop.

Parâmetros conservativos	Todos os tratamentos
Temperatura mínima basal (°C)	15
Temperatura máxima basal (°C)	30,0
Densidade de planta (planta ha ⁻¹)	189 400
Recuperação do transplântio (dias)	7
Tempo do transplântio até a senescência (DAT)	90
Não conservativos	T1 (100% ETo)
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	85
Profundidade efetiva máxima das raízes (m)	0,25
Profundidade máxima de enraizamento (DAT)	40
Índice de colheita (%)	84

4.3.1.2. Validação do modelo

A validação do modelo foi possível através dos dados obtidos em campo com os tratamentos de menor reposição hídrica: T2 – 75%, T3 – 50%, T4 – 25%. Comparando-os com os valores simulados, notou-se a boa aproximação entre os a biomassa e produtividade estimadas para a cebola cultivada em condições do clima local, conforme a Tabela 12.

Tabela 12. Valores de biomassa e produtividade obtidos em em campo e estimados pelo modelo AquaCrop para os tratamentos T2, T3 e T4.

Tratamentos	Biomassa (ton ha ⁻¹)		Produtividade (ton ha ⁻¹)	
	Real	Simulado	Real	Simulado
T2	6,438	6,463	4,957	4,977
T3	5,0647	5,131	4,107	4,156
T4	2,060	2,175	1,315	1,370

Os resultados apresentados indicam que o modelo o ótimo desempenho para a cultura da cebola, porém a medida que os tratamentos recebem menos água a diferença entre os valores observados e estimados aumenta, indicando que a disponibilidade de água influência na melhora de desempenho do modelo, considerado pela FAO como ‘*Water Driven*’, além disso a cebola possui sensibilidade ao déficit hídrico. O tratamento T4 apresentou a maior discordância entre a biomassa e produtividade observadas e estimadas, superestimando 5,5% e 4,18%, respectivamente, conforme a Tabela 13.

Tabela 13. Diferença entre os valores de biomassa e produtividade reais e estimadas.

Tratamentos	Biomassa		Produtividade	
	Diferença (Ton ha ⁻¹)	Diferença (%)	Diferença (Ton ha ⁻¹)	Diferença (%)
T2	-0,025	-0,388	-0,020	-0,403
T3	-0,0663	-1,309	-0,049	-1,193
T4	-0,115	-5,583	-0,055	-4,183

Para comprovar o desempenho do modelo para a cultura estudada, aplicou-se

estatísticas para T1 e T2, exibidas na Tabela 14.

Tabela 14. Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop.

Estatísticas	Biomassa (B)	Produtividade (Y)
RMSE	0,02	0,018
NRMSE (%)	0,27	2,62
Pe	0,131	0,009
EF	0,998	0,999
D	0,999	0,999

A raiz do erro quadrado médio (RMSE) e erro de previsão (Pe) apresentaram valores de 0,02 e 0,131 para biomassa e 0,018; e 0,009 para a produtividade, respectivamente. Os resultados indicam que o modelo obteve um excelente desempenho para a cultura, devido a aproximação entre os valores observados e estimados. Já para raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE), os valores de biomassa total e produtividade foram de 0,27 e 2,62%, respectivamente, considerando a simulação excelente já que os valores estão abaixo de 10%.

. O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (EF) e o índice de Willmont (d), avaliaram o desempenho positivo do modelo como excelente, pois ambos mostraram valores de 0,99 para biomassa e produtividade, na qual quanto mais próximo à um melhor é resultado dos índices.

4.3.2. Segundo ciclo

4.3.2.1. Calibração do modelo

Em virtude do segundo ciclo ser a repetição do primeiro ciclo, a mesma metodologia aplicada no experimento anterior foi utilizada, em que T1 foi o tratamento de referência para calibração para os demais tratamentos da cultura. Portanto, a Figura 24 exhibe valores de biomassa e produtividade reais e estimados de T1 referentes a o período seco da região. Os resultados obtidos através do modelo mostraram-se satisfatórios visto que a diferença entre os valores reais e estimados foi mínimo.

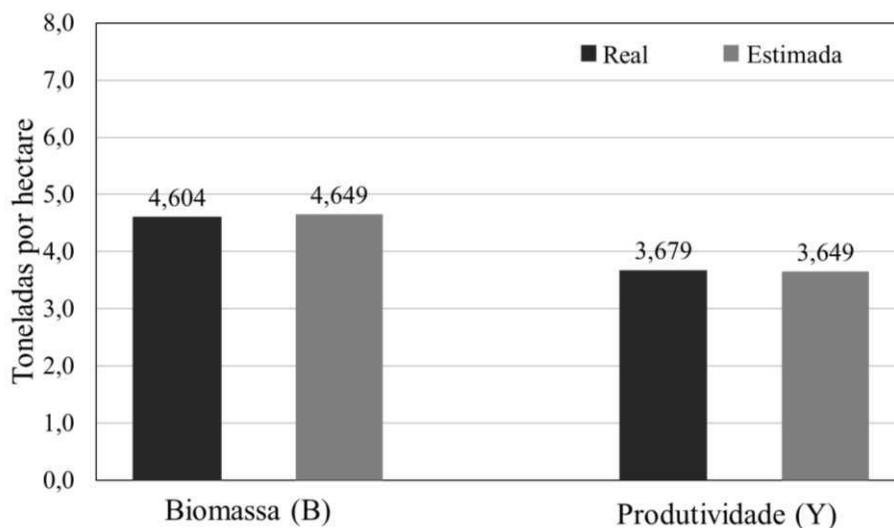


Figura 24. Biomassa (B) e produtividade (Y) real e estimada de T1 para o 2º ciclo.

Assim como no ciclo anterior, a calibração para a cultura no AquaCrop utilizou um conjunto de parâmetros considerados conservativos e não conservativos, conforme a Tabela 15 exibe:

Tabela 15. Parâmetros conservativos e não conservativos da cebola utilizados na parametrização do AquaCrop.

Parâmetros conservativos	Todos os tratamentos
Temperatura mínima basal (°C)	15
Temperatura máxima basal (°C)	30,0
Densidade de planta (planta ha ⁻¹)	189 400
Recuperação do transplântio (dias)	10
Tempo do transplântio até a senescência (DAT)	83
Não conservativos	T1 (100% ETo)
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	77
Profundidade efetiva máxima das raízes (m)	0,25
Profundidade máxima de enraizamento (DAT)	40
Índice de colheita (%)	80

4.3.2.2. Validação do modelo

Os dados obtidos em campo com os tratamentos de menor reposição hídrica foram utilizados para a validação do modelo, comparando-os com os valores simulados. Os resultados obtidos geraram novamente uma boa aproximação entre os valores da biomassa e produtividade estimadas para a cebola, conforme a Tabela 16 mostra:

Tabela 16. Valores reais obtidos em campo e estimados pelo AquaCrop para T2, T3 e T4.

Tratamentos	Biomassa (ton ha ⁻¹)		Produtividade (ton ha ⁻¹)	
	Real	Simulado	Real	Simulado
T2	3,703	3,704	2,856	2,852
T3	1,978	1,977	1,610	1,621
T4	0,869	0,891	0,665	0,677

A Tabela 17 exibe a diferença entre valores de biomassa e produtividade encontrados em campo e os valores estimados pelo modelo. O segundo ciclo apresentou menores diferenças ao se comparar com o ciclo anterior, porém novamente o tratamento com menor reposição hídrica apresentou a maior discordância comparado aos demais tratamentos, superestimando em 2,5% e 1,8% do valor da biomassa e produtividade, respectivamente. A melhor aproximação do modelo no segundo ciclo do experimento pode ser atribuída à não interferência da precipitação nos tratamentos de reposição deficitária (T2, T3 e T4), diferentemente do ocorrido durante o primeiro experimento.

Tabela 17. Diferença entre os valores de biomassa e produtividade reais e estimadas.

Tratamentos	Biomassa		Produtividade	
	Diferença (Ton ha ⁻¹)	Diferença (%)	Diferença (Ton ha ⁻¹)	Diferença (%)
T2	-0,001	-0,027	0,004	0,140
T3	0,001	0,050	-0,011	-0,683
T4	-0,022	-2,531	-0,012	-1,804

Desse modo, para comprovar novamente a acurácia do modelo AquaCrop foi

empregado o uso de estatísticas para T2 e T3, informadas na Tabela 18.

Tabela 18. Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop.

Estatísticas	Biomassa (B)	Produtividade (Y)
RMSE	0,001	0,008
NRMSE (%)	0,035	0,370
Pe	0,0	0,0
EF	1,0	0,999
d	1,0	1,0

A raiz do erro quadrado médio (RMSE) e erro de previsão (Pe) apresentaram valores de 0,001 e 0,0 para biomassa e 0,008 e 0,0 para produtividade, respectivamente. As variáveis avaliadas apresentaram valores extremamente baixos, indicando que o modelo obteve um excelente desempenho para a cultura, cuja diferença entre observado e estimado chegando à zero.

A raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE) apresenta valores de biomassa e produtividade de 0,035% e 0,37%, respectivamente, considerado como uma simulação de excelente desempenho pois os valores estão abaixo de 10%. O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (EF) e o índice de Willmont (d), avaliaram o desempenho positivo do modelo como excelente, pois ambos mostraram valores de 1 para biomassa e 0,9 e 1 para produtividade. Por meio da calibração, validação, o desempenho do modelo AquaCrop para a cebola foi avaliado com um arranjo de dados consideravelmente fáceis de se obter; neste estudo. Utilizou-se o default do modelo para a concentração de CO₂, os demais ajustes foram obtidos através das características locais de clima, solo, água e cultura. Como já mencionado anteriormente, as estatísticas aplicadas avaliaram a aplicabilidade do software AquaCrop como uma ótima ferramenta no auxílio da previsão agrometeorológica para o campo.

Por trabalhar com um experimento de campo, onde as variáveis meteorológicas e ambientais não são controladas ocorreram algumas problemáticas como perda de algumas plantas por formigas e fungos, além de perda por roubo no tratamento de 100% de ETo no final primeiro ciclo do experimento, porém nada que comprometesse o experimento de modo geral.

5. CONCLUSÕES

i) A lâmina de irrigação recomendada para a cultura da cebola 'IPA 11' para melhor produtividade na região é a de 100% da evapotranspiração de referência, porém a lâmina de 75% ETo também mostrou um desempenho próximo ao T1 para os períodos chuvoso e seco.

ii) O coeficiente de cultivo (Kc) para a cebola através da irrigação por gotejamentos foram 0,68, 0,89, 0,99 e 0,73 para os estágios inicial, vegetativo, bubificação e maturação, nesta ordem.

iii) A evapotranspiração média da cultura da cebola cultivada nas condições climáticas semiáridas foi de 332,7mm .

iv) A calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cebola, variedade IPA 11 e clima específicos do semiárido, apresentou resultados satisfatórios para ambos os ciclos.

v) O modelo AquaCrop superestima a biomassa e produtividade em caso de estresse hídrico extremo, como no que ocorreu no tratamento T4 (25% ETo).

vi) Todas as estatísticas utilizadas no estudo mostraram ótimo desempenho do modelo AquaCrop, com erros próximos a zero e índices de concordância em torno de um.

6. REFERÊNCIAS

- Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Ball, S., & Smeal, D. Computing the crop water production function for onion. *Agricultural Water Management*, v. 46, p. 29–41, 2000.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Chapter 6, single crop coefficient (Kc). Rome: FAO, 1998.
- Allen, R.G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. *Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 2006.
- Araújo, E.A; Ker, J.C; Neves, J.C.L; Lani, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR*, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- Arshad, M. A.; Lower, B.; Grossman, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J. W.; Jones, A. J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, p.123- 141, 1996.
- Bosch Serra, A.D.; Currah, L. *Agronomy Of Onions*. In: Rabinowitch, H. D.; Currah, L. (Ed.). *Allium crop science: recent advances*. Wallingford: CABI Publishing p. 187-232, 2002.
- Brewster, J. L. *Onions and other vegetable alliums*. Wallingford: CAB International, p. 236, 1997.
- Carvalho, V.D. Características nutricionais, industriais e terapêuticas da cebola. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, v. 6, p. 71-78, 1980.
- Carvalho, A.R.P. de; Leitão, M. de M.V.B.R.; Oliveira, G.M. de; Santos, I.M.S.; Araújo J.F. Consumo hídrico, produtividade e qualidade da cebola sob diferentes manejos de irrigação em cultivo orgânico. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal/PB*, v. 12-3, p. 501-507, 2017.
- Campos, M. de S. Balanço de água e sais no solo cultivado com o quiabeiro irrigado sob diferentes lâminas de água salobra. *Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA*, 2013.
- Costa, N. D.; Yuri, J. E.; Pinto, J. M.; Correia, R. C.; Bandeira, G. R. L. *Cultivo da Cebola no Vale do São Francisco. Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido*, ISSN 1809-0001. 2013.
- Doran, J. W.; Parkin, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W. et al.

- (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSA, p. 1-20, 1994.
- Dudhat, M.S; Chovatia, P.K; Sheta, B.T., Rank, H.D. e Parmar, H.V. Effect of nitrogen, phosphorous and potash on growth and bulb yield of onion (*Allium cepa* L.), an Asian Journal of Soil Science, v. 5, p. 189-191, 2010.
- EMBRAPA, Cultivo da Cebola no Nordeste. Sistemas de Produção. ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica, (acessado em 15/05/2018, link: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/162405/1/Cultivodac_ebola.pdf), 2007.
- EMBRAPA. Análise de Solos: Finalidade e Procedimentos de Amostragem, ISSN 1981-7231. Corumbá/MS, 2009.
- EPAGRI. Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina . Florianópolis: v. 4, p. 106 (Epagri. Sistemas de Produção, 46). 2013.
- FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. English, M. and Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. Agricultural Water Management. V. 32, n.1, p. 1–14, 2012.
- FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. FAO Statistical Yearbook 2013 World, Food and Agriculture. (Acessado em: 06/05/2018), 2013.
- Filgueira, F.A.R., Manual de olericultura: Cultura e comercialização de hortaliças. 2. Ed. v. 2., p. 357. São Paulo: Ed. Agmômica. Ceres, 1982.
- Filgueira, F.A.R. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, p. 402, 2000.
- Filgueira, F.A. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna para a produção de hortaliças. V. 3 p. 421. Viçosa, MG: UFV, 2008.
- Furtini Neto, A.E.; Vale, F.R.; Resende, A.V.; Guilherme, L.R.G.; Guedes, G.A.A. Fertilidade do solo. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, 2001.
- Grangeiro, I.C.; souza, J.O.; aroucha, e. M.M.; nunes, g. H.S.; santos, G.M. Características qualitativas de genótipos de cebola. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 4, p. 1087-1091, 2008.
- Greenwood, D.J. Root development of vegetable crops. Plant and Soil, The Hague, v. 68, p. 75-96, 1982.

- Guandique, M.E.G. & Libardi, P.L. Balanço 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.
- Halvorson, A.D., Bartolo, M.E., Reule, C.A., & Berrada., A. Nitrogen Effects on Onion Yield Under Drip and Furrow Irrigation. *Agronomy Journal*, 100(4): p. 1062-1069, 2008.
- Hsiao, T.C. The soil-plant-atmosphere continuum in relation to drought and crop production. In *Drought resistance in crops, with emphasis on rice*. IRRI, Los Banos, the Philippines. P. 39–52, 1982.
- INMET. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola / organizador José Eduardo B. A Monteiro. - Brasília, DF, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro De Estatística e Geografia. Produção Agrícola Municipal, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro De Estatística e Geografia. Indicadores IBGE: Estatística de produção agrícola, 2014.
- Ittersum, M.K. van; Leffelaar, P.A.; Keulen, H. van; Kropff, M.J.; Bastiaans, L.; Gourdiaan, J. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v. 18, p. 201-234, 2003.
- Jaymohanrao, V. Effect of copper and boron on the mineral composition of onion (*Allium cepa* L), *Andhra Agric. J.*, v. 17, p. 170-172, 1974.
- Kumar, S., Imtiyaz, M. and Kumar, A. Effect of differential soil moisture and nutrient regimes on postharvest attributes of onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, v. 112(2), p.121–129, 2007.
- Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP), v. 1, p. 497, 1995.
- Littell, J., Mckenzie, D., Kerns, B. K., Cushman, S., And Shaw, C. G. Managing uncertainty in climate-driven ecological models to inform adaptation to climate change. *Ecosphere*. V. 360, p.1–19. 2011.
- Marouelli, W.A.; Costa, E. L.; Silva, H.R. Irrigação da cultura da cebola. Brasília: Embrapa Hortaliças. Circular técnica, 37, p. 17, 2005.
- Marouelli, W.A.; Vidigal, S.M.; Costa, E.L. Irrigação e fertirrigação na cultura da cebola. In: Sousa, V.F.; Marouelli, W.A.; Coelho, E.F.; Pinto, J.M.; Coelho Filho, M.A. (Ed.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 585-608, 2011.

- Mendes, A.M.S; Faria, C.M.B. De, Silva, D.J; Resende, G.M. de; Oliveira Neto, M.B. de; Silva, M.S.L. da. *Nutrição Mineral e Adubação da Cultura da Cebola no Submédio do Vale do São Francisco*, Embrapa ISSN: 1808-9976, versão eletrônica (acessado em 05/06/2018, link: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/161505>), 2008.
- Menezes, H. E. A.; Brito, J. I. B.; Santos, C. A. C.; Silva, L. L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de meteorologia*, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008.
- Mohammadi, J., Lamei, J., Khasmakhi-Sabet, A., Olfati, J.A., & Peyvast, G. Effect of irrigation methods and transplant size on onion cultivars yield and quality. *Journal of Food Agriculture & Environment*, v. 8, p. 158–160, 2010.
- 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.
- Nazeer, M. Simulation of maize crop under irrigated and rainfed conditions with CropWat model. *J. of Agri. and Bio. Sci.* V. 4, p. 68-73, 2009.
- Oliveira, G.M. de; Leitão, M.V.B.R.; Bispo, R. de C; Santos, I.M.S; Lima, C.B. de A; Carvalho, A.R.P. de. Coeficiente de cultura e produtividade da cebola submetida a diferentes lâminas de irrigação, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.9, p.969–974, 2013.
- Oliveira Neto, D.H; Carvalho, D.F; Silva, L.D.B; Guerra, J.G.M; Ceddia, M.B. 2011. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. *Horticultura Brasileira* v. 29, p 330-334, 2011.
- Oliveira, V.R; Marouelli, W.A; Madeira, N.R., *Influência De Fatores Climáticos Na Produção Da Cebola*. EMBRAPA ISSN: 2177-2959, versão eletrônica (acessado em 13/06/2018, link: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/991130>), 2014.
- Pejic, B., Gvozdanovic-Varga, J., Milic, S., Ignjatovic-Cupina, A., Krstic,D., & Cupina, B. Effect of irrigation schedules on yield and water use of onion (*Allium cepa* L.). *African Journal of Biotechnology*, v. 10(14): p 2644– 2652, 2011.
- Pereira, M. da C.R.V. *Cura e Conservação Pós-Colheita de Bulbos de Cebola*. Dissertação de mestrado, UNICAMP, São Paulo, 1999.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. *Agron. J.* v. 101, p. 438–447. 2009.
- Reichardt, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta atmosfera*. São Paulo:

- Fundação Cargill, v. 4, p. 445, 1985.
- Resende, G.M. de; Costa, N.D.; Yuri, J.E., Características das cultivares de cebola recomendadas para o Submédio do Vale do São Francisco. EMBRAPA Semiárido, 2015.
- Ribeiro, P. A. A.; Coelho, R. D.; Teixeira M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de Cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de Água. Engenharia. Agrícola. Jaboticabal, v.30, n.2, p.279-287, 2010.
- Rose, C.W. Agricultural physics. London, Pergamon Press, v. 1, p.230, 1966.
- Sampaio, H.R.A.; Coelho Filho, M.A.; Coelho, E.F.; Rossini, D.; Machado, V.V.; Carvalho, G.C.; Santana Júnior, E. B. S. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. Pesquisa Agropecuária. Brasileira, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1141-1148, 2010.
- Santos, M. A.; Camargo, M. B. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. Bragantia, v. 65, p. 173-173, 2006.
- SBCS. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. – V. 10., p. 57 – Porto Alegre, 2004.
- 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 24/07/2018, link: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p411-417>) v.19, n.5, p.411–417, 2015.
- Slatier, R.O. Plant-water relationships. New York, Academic Press, p. 366, 1967.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, p. 739-774, 2010.
- Tosta, A.L. tolerância ao déficit hídrico e eficiência do uso de água em genótipos de cebola, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, 2014.
- Trani, P.E; Breda Júnior, J. M; Factor, T. L. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.). Instituto Agronômico, Centro de Horticultura, 2014.
- Willmott, C. J.; Ackelson, S. G.; Davis, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v. 90, n. C5, 1982

Whisler, F.D.; Acock, B.; Baker, D.N.; Fye, R.E.; Hodges, H.F.; Lambert, J.R.; Lemmon, H.E.; Mckinion, J.M.; Reddy, V.R. Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.*, 40:141–208. 1986.