

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RICARDO BARROS SILVA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL NA FASE INICIAL DE  
CRESCIMENTO DA CULTURA DA LARANJA LIMA**

RIO LARGO – AL

2018

RICARDO BARROS SILVA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL NA FASE INICIAL DE  
CRESCIMENTO DA CULTURA DA LARANJA LIMA**

Dissertação apresentada ao colegiado do curso de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Leonaldo de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Júnior

RIO LARGO – AL

2018

Catálogo na fonte  
Universidade Federal de Alagoas  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

S586e Silva, Ricardo Barros

Evapotranspiração real na fase inicial de crescimento da cultura da laranja lima. Rio Largo-AL – 2018.

55 f.; il; 33 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientador: Prof. Dr. José Leonaldo de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo arujo Fereira Junior.

1. Citrus sinensis L. Osbeck 2. Ecofisiologia vegetal 3. Eficiência no uso da água. I. Título.

CDU: 634.3

## TERMO DE APROVAÇÃO

**RICARDO BARROS SILVA**

**(Matrícula 16130092)**

### **EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL NA FASE INICIAL DE CRESCIMENTO DA CULTURA DA LARANJA LIMA**

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em 23 de fevereiro de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOSÉ LEONALDO DE SOUZA  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. GUILHERME BASTOS LYRA  
Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOSÉ VIEIRA SILVA  
Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. MARCOS ALEX DOS SANTOS  
Membro

RIO LARGO – AL

2018

A Deus, que sempre me deu forças para vencer na vida;  
A toda minha família e amigos, em especial aos meus pais  
(Elizabeth Barros e Milton Alves), à minhas irmãs (Elaine Barros,  
Liliane Barros e Mariana Barros) e à minha namorada (Tathiane  
Queiroz) que sempre me apoiaram em todos os momentos.

**DEDICO!**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores Professores Drs. José Leonaldo de Souza e Ricardo Araújo Ferreira Júnior, pelos ensinamentos científicos, instruções e a amizade criada;

Ao Professor Dr. Renan Cantalice de Souza pelas inestimáveis contribuições nesse trabalho;

Ao coordenador da Pós-graduação em Agronomia, Professor Dr. Iêdo Teodoro, pelo empenho para melhorar o curso de mestrado e ofertar o melhor ensino possível;

Aos demais Professores da Pós-graduação em Agronomia, por ter contribuído na minha formação acadêmica em mestre: Eurico Eduardo, Vilma Marques, Laurício Endres, José Vieira, Paulo Wanderley, Guilherme Bastos, Leila de Paula e outros.

Ao meu amigo Wellington Manoel dos Santos pela grande ajuda na condução desse trabalho;

Aos colegas de turma: José Dailson, Renato Vieira, Antônio Barbosa, Lekson Rodrigues, pelo convívio;

Ao programa de pós-graduação em Agronomia (produção vegetal) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

Muito obrigado!

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Participação percentual das regiões brasileiras na produção de laranja na safra 2016. ....	16
<b>Figura 2.</b> Participação percentual dos estados brasileiros na produção de laranja na safra 2016. ....	16
<b>Figura 3.</b> Localização da área experimental no estado de Alagoas e vista aérea do centro de ciências agrárias, local onde o experimento foi conduzido. ....	22
<b>Figura 4.</b> Croqui do experimento com plantas avaliadas em destaque.....	23
<b>Figura 5.</b> Obtenção do índice de área foliar das plantas de laranja lima através do uso do aparelho LAI 2000.....	26
<b>Figure 6.</b> Índice de área foliar (IAF) e graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental de agosto de 2016 a março de 2017, com indicação da poda de formação realizada no pomar. ....	30
<b>Figure 7.</b> Altura de plantas (m) e graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental de agosto de 2016 a março de 2017.....	31
<b>Figura 8.</b> Diâmetro do dossel (cm) e graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental de agosto de 2016 a março de 2017.....	32
<b>Figura 9.</b> Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).....	34
<b>Figura 10.</b> Conteúdo de água do solo (W) estimado (mm) para todo o período experimental, juntamente com a precipitação pluvial (mm) e irrigação (mm). ....	35
<b>Figura 11.</b> Variação diária da evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) (mm dia <sup>-1</sup> ), evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ) (mm dia <sup>-1</sup> ), evapotranspiração real estimada (ET <sub>r</sub> ) (mm dia <sup>-1</sup> ) e irrigação mais drenagem (mm), durante o período de avaliação do experimento. ....	35
<b>Figura 12.</b> Relação entre a análise de crescimento (diâmetro do dossel (cm), altura de plantas (m) e IAF) e o coeficiente da cultura (K <sub>c</sub> ), durante o período de avaliação experimental (agosto de 2016 a março de 2017).....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores médios mensais dos elementos meteorológicos durante o período de execução do experimento (abril de 2016 a março de 2017). .....	25
<b>Tabela 2.</b> Índices estatísticos da ETr estimada pelo método de Poulouvasilis et al. (2001) em relação a ETR obtida no campo, com variação nos valores do coeficiente de ajuste (ca). .....	33
<b>Tabela 3.</b> Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial, durante o período de avaliação experimental. ....	36
<b>Tabela 4.</b> Valores mensais e média final do coeficiente da cultura (Kc) durante o período de avaliação experimental. ....	38



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xx
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
3.1. Cultura da Laranja.....	15
3.2. Exigências Bioclimáticas .....	17
3.3. Balanço Hídrico do Solo e Evapotranspiração .....	18
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
4.1. Características e Localização da Área Experimental .....	22
4.2. Implantação e Condução do Experimento .....	22
4.3. Variáveis Analisadas.....	26
4.3.1. Análise de Crescimento e Graus-Dia Acumulados.....	26
4.3.2. Balanço Hídrico, Evapotranspiração Real e Coeficiente da Cultura .....	27
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
5.1. Análise de Crescimento e Graus-Dia Acumulados.....	30
5.2. Análise Hídrica .....	33
5.2.1. Balanço Hídrico e Estimativa da Evapotranspiração Real .....	33
5.2.2. Coeficiente da Cultura e Análise de Crescimento .....	37
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	41
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42
<b>8. APÊNDICE</b> .....	47

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas, graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Martin Luther King)

## RESUMO

SILVA, R.B. **Evapotranspiração Real na Fase Inicial de Crescimento da Cultura da Laranja Lima**. 2018. 55 p. Dissertação de mestrado em produção vegetal – Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias.

Determinar a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) é fator importante para o manejo da irrigação, visando suprir a necessidade das culturas agrícolas. Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar a acurácia de um modelo para estimativa da evapotranspiração real na região metropolitana de Maceió, além de analisar a fase de crescimento inicial da laranja lima e obter o coeficiente da cultura. O experimento foi realizado entre abril de 2016 e março de 2017, sendo o período de avaliação da pesquisa correspondente a 8 meses (agosto de 2016 a março de 2017). O mesmo foi conduzido em um pomar na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. A área do pomar possuía as dimensões de 68 m de comprimento por 28 m de largura, totalizando 1.904 m<sup>2</sup>, havendo 7 linhas de cultivo, com 16 plantas cada, num espaçamento de 4,0 x 4,0 m, totalizando assim uma população de 112 plantas na área, onde avaliou-se 4 plantas por linha de cultivo. Verificou-se durante o período da pesquisa uma precipitação pluvial total acumulada de 850 mm, além de uma ET<sub>o</sub> total acumulada e média de, 1555 mm e 4,43 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, temperatura média de 25,36 °C e umidade relativa do ar média de 71,08%. Foram avaliados os seguintes parâmetros durante a pesquisa: índice de área foliar, diâmetro do dossel, altura de plantas, graus-dia acumulados, balanço hídrico diário, coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) e evapotranspiração real com seis coeficientes de ajuste (*ca*): 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5. Os dados referentes a umidade do solo foram obtidos com auxílio de sensores, através da reflectometria no domínio do tempo (TDR). A análise estatística foi realizada através dos índices estatísticos: coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d) e raiz do quadrado médio do erro (RMSE). Dado o exposto, referente a morfologia das plantas, o índice de área foliar máximo apresentado pela cultura foi de 0,79, o diâmetro do dossel equivalentes a 52,31 cm, as plantas atingiram uma altura máxima de 0,93 m. Obteve-se um K<sub>c</sub> de 0,84 para o estágio inicial de crescimento da laranja lima. A ET<sub>r</sub> estimada utilizando um coeficiente de 0,05 pelo método de Poulouvasilis, apresentou maior concordância com a ET<sub>r</sub> obtida no campo, onde foram verificados valores médios de 4,20 e 4,83 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Citrus sinensis* L. Osbeck, ecofisiologia vegetal, eficiência no uso da água.

## ABSTRACT

Silva, R.B. **Actual Evapotranspiration in early stage growth of culture of orange lime.** 2018. 55 p. Master's Dissertation in Plant Production – Federal University of Alagoas – Agrarian Sciences Center.

Determine the actual evapotranspiration (ET<sub>r</sub>) is an important factor for the management of irrigation, in order to meet the need of agricultural crops. The objective of this research was to analyze the accuracy of a model to estimate actual evapotranspiration in the metropolitan area of Maceió, in addition to analyzing the initial growth phase of orange file and get the crop coefficient. The experiment was carried out between April 2016 and March 2017, and the trial period of the corresponding search to eight months (August 2016 to March 2017). The same was conducted in an orchard in the experimental area of Agricultural Sciences Center of the Federal University of Alagoas. Orchard area possessed dimensions of 68 meters long by 28 meters wide, totaling 1,904 m<sup>2</sup>, with 7 lines of cultivation, with 16 plants each, in a spaced 4.0 x 4.0 m, thus totaling a population of 112 plants in the area where it was evaluated 4 plants per row crops. It was found during the search of total cumulative rainfall of 850 mm, and a total accumulated ETo and average of 1555 mm and 4.43 mm day<sup>-1</sup>, respectively, an average temperature of 25.36 °C and humidity on average 71.08% of air. We evaluated the following parameters during the search leaf area index, canopy diameter, plant height, degree-days, water balance, cropping coefficient (K<sub>c</sub>) and evapotranspiration six adjustment coefficients (C<sub>a</sub>), 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5. The data from soil moisture were obtained with the aid of sensors, by time domain reflectometry (TDR). Statistical analysis was performed using the statistical indices: correlation coefficient (r) Willmott agreement index (d) and root mean square error (RMSE). On this basis, concerning the morphology of plants, maximum leaf area index shown in culture was 0.79, the diameter of the canopy equivalent to 52.31 cm, the plants reached a maximum height of 0.93 m. We obtained a K<sub>c</sub> of 0.84 for the initial stage of file orange growth. ETR estimated using a coefficient of 0.05 by Poulouvasilis method showed higher agreement with ETR obtained in the field where average amounts were 4.20 mm and 4.83 day<sup>-1</sup>, respectively.

**Key words:** *Citrus sinensis* L. Osbeck, plant ecophysiology, water use efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

A laranja é uma das frutas mais produzidas e consumidas no mundo, seja ela “in natura” ou através de seus derivados, gerando emprego e renda nas regiões produtoras. No Brasil, a cultura é a frutífera mais cultivada, ocupando posição de destaque na fruticultura nacional. Na região metropolitana de Maceió, há boas condições climáticas disponíveis que favorecem o cultivo da laranja, ao contrário de outras microrregiões do Nordeste. A mesma apresenta disponibilidade térmica adequada e um índice pluviométrico anual de 1800 mm, porém, distribuído de forma irregular, apresentando uma estação seca em parte do ano, tornando necessário a adoção da irrigação em cultivos na região (SOUZA *et al.* 2005)

Em cultivos de espécies cítricas, onde há necessidade de irrigação para garantir crescimento, desenvolvimento e produção satisfatória, o manejo adequado da mesma é fundamental. Dentre os fatores que influenciam de forma direto o manejo da irrigação, está o processo evapotranspiratório, que consiste na transferência de água líquida do solo para atmosfera na forma de vapor, através da evaporação e transpiração vegetal. Este processo é classificado em diversos tipos, sendo um dos principais tipos a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>).

A obtenção da ET<sub>r</sub> não é simples e requer uma série de dados que raramente estão disponíveis na literatura, dificultando assim um manejo preciso da irrigação e o fornecimento de lâminas de água que atendam a demanda hídrica da cultura, sem que haja desperdício. Desta forma, a utilização de modelos de estimativa para obtenção da ET<sub>r</sub> tem assumido grande importância, visando otimizar a irrigação. Outro fator importante nesta tocante, é o coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>), onde este deve ser preferencialmente obtido para a região onde o cultivo esteja inserido, aumentando assim, sua confiabilidade em relação as condições locais. Este coeficiente visa inserir características do cultivo na determinação da evapotranspiração, assumindo assim significativa importância na irrigação.

Outro fator importante nos cultivos cítricos, está voltado para os tratamentos culturais realizados nos pomares, onde conhecer o hábito de crescimento da cultura e adequá-lo de acordo com o grau de desenvolvimento da mesma torna-se importante, principalmente na fase inicial de crescimento da cultura. Verifica-se grande disponibilidade de matérias literárias referentes a fase reprodutiva da cultura, já que esta fase é a mais relevante do ponto de vista econômico. Porém, dados referentes a fase inicial de crescimento de espécies cítricas ainda são escassos na literatura, logo, estudos voltados para obtenção destes são importantes.

A obtenção de todo esse conjunto de dados torna-se importante, objetivando auxiliar no manejo da irrigação e adoção de práticas adequadas nos cultivos cítricos.

## 2. OBJETIVOS

**Geral:** Avaliar fatores ecofisiológicos na fase inicial de crescimento da laranja lima, sob as condições meteorológicas da região metropolitana de Maceió.

**Específicos:**

- a) Realizar análise de crescimento da cultura e relacionar a mesma com os graus-dia acumulados e o coeficiente da cultura ( $K_c$ );
- b) Determinar o coeficiente da cultura que melhor se ajuste para fase inicial de crescimento da mesma;
- c) Verificar a aplicabilidade do método de Poulouvasilis *et al.* (2001) na determinação da evapotranspiração real ( $E_{Tr}$ ) da cultura.

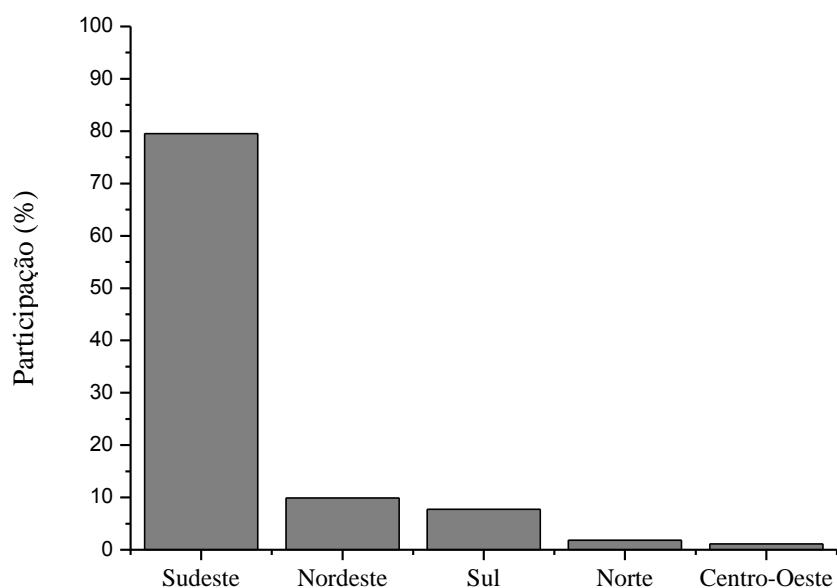
### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Cultura da Laranja

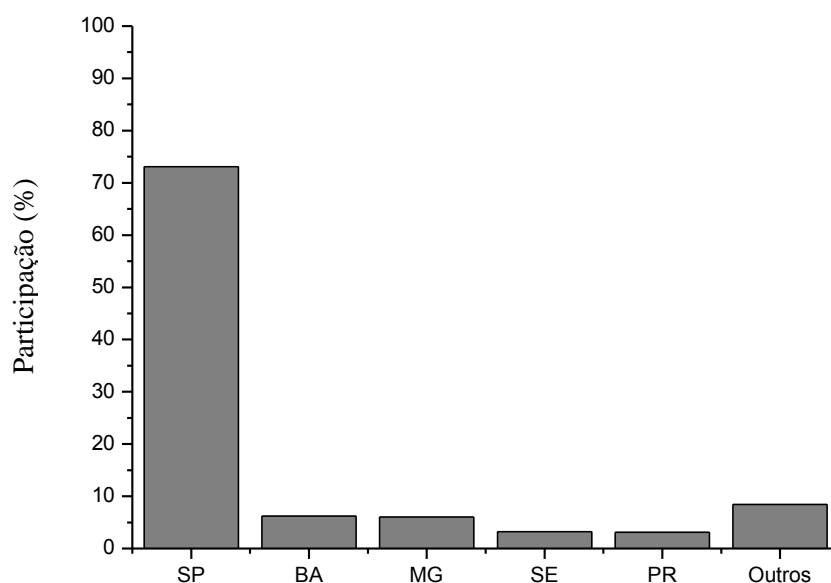
A laranja Lima (*Citrus Sinensis* L. Osbeck) é uma planta pertencente à família Rutáceas, tendo como provável centro de origem o Leste asiático, onde encontram-se países como a China e Malásia. Acredita-se que sua disseminação pelo planeta ocorreu no período das grandes navegações, difundindo-se para outros continentes, como, África, Europa e posteriormente o continente americano. Há relatos históricos que sua chegada às Américas ocorreu na região sul da América do Norte, sendo implantado o primeiro pomar onde hoje encontra-se o estado Flórida. No Brasil, acredita-se que a cultura da laranja chegou no período colonial, apresentando boa adaptabilidade às condições climáticas da zona costeira, favorecendo assim ao cultivo da mesma em escala comercial (PINAZZA & ALIMANDRO, 1999).

No âmbito econômico, a cultura da laranja destaca-se como uma das espécies frutíferas mais cultivadas no mundo. O Brasil ocupa posição de destaque no mercado mundial, sendo o maior produtor, correspondendo a cerca de 40% da produção mundial de laranja. A variedade de laranja Pêra é a mais cultivada no território brasileiro, tendo sua produção voltada principalmente para o mercado de frutas frescas. No campo das exportações, destacam-se variedades, como, Lima, Tangerina e o Pomelo (FAO, 2014; IBGE 2016).

De acordo com levantamento realizado pelo IBGE (2016), referente a safra brasileira de laranja no ano de 2016, a região Sudeste é a maior produtora nacional, responsabilizando-se por 79,5% da produção, sendo seguida pelas regiões Nordeste e Sul, com 9,9 e 7,7%, respectivamente (Figura 1). Já em relação a produção por estado, São Paulo é o maior produtor nacional, com cerca de 73,1%, seguido dos estados da Bahia e Minas Gerais, com 6,2 e 6,0%, respectivamente (Figura 2), notabilizando assim o bom potencial produtivo das regiões Sudeste e Nordeste. Estima-se que a produção nacional de laranja na safra 2016, foi de 14 milhões de toneladas, resultando em um rendimento médio de 24 ton ha<sup>-1</sup>, gerando uma receita de 10 bilhões de reais.

**Figura 1.** Participação percentual das regiões brasileiras na produção de laranja na safra 2016.

Fonte: IBGE, (2016).

**Figura 2.** Participação percentual dos estados brasileiros na produção de laranja na safra 2016.

Fonte: IBGE, (2016).

Referente as características morfológicas da laranjeira, a raiz da mesma possui boa capacidade exploratória de camadas mais profundas do solo, principalmente na sua fase adulta. De acordo com o porta-enxerto utilizado, o sistema radicular pode apresentar raízes mais vigorosas, porém, isto também está relacionado ao enxerto e ao tipo de solo em que a cultura é implantada. Em relação ao dossel da planta, este pode ser de maior ou menor densidade, isso



de acordo com a variedade adotada. Normalmente a laranjeira apresenta folhas verdes, coriáceas, alternadas e persistentes, durando longos períodos na planta. Em sua fase reprodutiva, apresenta flores geralmente brancas, os frutos variam em tamanho e forma de acordo com a variedade adotada no pomar (SPIEGEL-ROY & GOLDSCHIMIDT, 1996).

### **3.2. Exigências Bioclimáticas**

As exigências bioclimáticas de uma cultura agrícola, são descritas como as necessidades que uma determinada espécie vegetal possui em relação a fatores do ambiente, como clima, solo e disponibilidade hídrica (GONÇALVES, 2006). Um fator das culturas, como a laranja lima, que está atrelado à exigência bioclimática, é a fenologia. A fenologia é caracterizada como um processo evolutivo no desenvolvimento da cultura dentro de seu ciclo de vida. Na cultura da laranja, a fenologia divide-se em três fases visando facilitar o manejo da mesma, sendo elas: desenvolvimento vegetativo, florescimento e frutificação. Exigências de elementos e fatores climáticos requeridos pela cultura, como chuva e temperatura, sendo este último elemento ligado a disponibilidade luminosa do ambiente e seu fotoperíodo, influenciam de forma crucial tanto no crescimento, como o desenvolvimento da mesma (RODRIGUEZ, 1991; SENTELHAS, 2005)

A medida que o ciclo fenológico avança, o porte da planta tende a aumentar, resultando em características morfológicas como, índice de área foliar, altura de plantas, volume do dossel, mais elevadas. Características morfológicas, como o índice de área foliar, são importantes, este índice representa a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo. Através dele torna-se possível obter dados referentes ao hábito de crescimento da planta e melhorias em relação ao manejo da cultura (LUCENA, 2011).

Buscando entender de forma mais precisa e confiável o crescimento e desenvolvimento vegetal e correlacioná-lo com o ambiente, criou-se o método dos graus-dia acumulados. O mesmo parte da premissa, que as culturas agrícolas necessitam de uma determinada quantidade de energia térmica para completar seu ciclo de vida total, passando por todas suas fases fenológicas. Este método correlaciona a temperatura do ambiente em que a cultura está inserida e seu crescimento e desenvolvimento, na qual a medida que a soma térmica do ambiente aumenta, a mesma apresenta um maior crescimento e posteriormente evolui dentro do seu ciclo fenológico. Para obter-se o valor referente aos graus-dia acumulados, é utilizada a temperatura máxima e mínima do dia, além da temperatura basal, sendo esta última, uma temperatura em que a cultura entra em um estado de estagnação quando submetida a valores abaixo dela, não apresentando taxa de crescimento significativa e desenvolvimento dentro do

seu ciclo fenológico (VOLPE, 2002). Segundo Reuther (1973), estima-se que a temperatura basal para citros é de 13 °C. A temperatura superior limite fica em torno de 35 °C, no qual acima dela, espécies cítricas passam a sofrer estresse e ter seu metabolismo fisiológico afetado (BEM MECHLIA & CARROLL, 1989).

Além da fase vegetativa dos citros, no qual o acúmulo de graus-dia é importante, durante a fase de frutificação, tal soma térmica também é relevante, uma vez que a disponibilidade térmica do ambiente resulta numa produção maior de carboidratos, aumentando do teor de brix dos frutos e conseqüentemente, gerando uma produção de frutos de maior qualidade (CHEN, 1990).

Outro ponto importante relacionado ao crescimento e desenvolvimento dos citros, está voltado para a precipitação pluvial do ambiente onde o pomar esteja inserido. Verifica-se que nas diversas regiões produtoras de laranja por todo o mundo, as chuvas anuais ocorrem de forma sazonal. Salienta-se também que os índices pluviométricos dessas regiões estão entre 1000 e 2000 mm anuais e a evapotranspiração anual acumulada fica em torno de 600 e 1300 mm (ORTOLANI *et al.*, 1991).

### **3.3. Balanço Hídrico do Solo e Evapotranspiração**

O termo evapotranspiração é definido como a junção do processo evaporatório de água líquida do solo mais a transpiração vegetal na forma de vapor, fazendo com que a água passe da superfície terrestre para atmosfera (THORNTHWAITE & WILM, 1944). A velocidade com que este processo ocorre está diretamente relacionado a fatores, como: radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e armazenada de água no solo (DE BRUIN *et al.*, 2005). Além de tais fatores, salienta-se que características de uma superfície vegetada, como: índice de área foliar, altura de plantas, formato e albedo do dossel, também atuam sobre o processo evapotranspiratório (ALLEN *et al.*, 1998).

De acordo com o Boletim FAO 56 (Allen *et al.*, 1998) os principais tipos de evapotranspiração são: evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>).

A ET<sub>o</sub> é definida como a evapotranspiração de uma superfície vegetada por uma espécie de pequeno porte, com crescimento regular e apresentando uma altura média de 12 cm, sem restrições hídricas, com um albedo em torno de 0,23. Tais condições são comuns em estações meteorológicas para obter o valor da ET<sub>o</sub> diária. Esta evapotranspiração está ligada principalmente ao clima, onde, elementos meteorológicos, como: temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, são levados em consideração na sua

estimativa. Salienta-se que a  $ET_o$  serve como base para obtenção da  $ET_c$  e  $ET_r$  (ALLEN *et al.*, 1998).

A  $ET_c$  é definida como a evapotranspiração que ocorre em condições de cultivo, sem restrição de umidade do solo e com boa fertilidade do mesmo, livre do ataque de pragas e doenças e desenvolvimento satisfatório da cultura sob as condições meteorológicas locais, ou seja, é a evapotranspiração potencial da cultura (ALLEN *et al.* 1998). A  $ET_c$  é obtida geralmente através do coeficiente da cultura ( $K_c$ ) e a  $ET_o$ . O  $K_c$  consiste em um coeficiente que visa inserir aspectos de um cultivo, como, resistência aerodinâmica e índice de área foliar das plantas, na determinação da evapotranspiração, assim, a junção do  $K_c$  e a  $ET_o$ , ligam fatores do cultivo e do clima em que o mesmo está inserido. O  $K_c$  varia de acordo com a fenologia da cultura, assumindo assim valores correspondentes para cada fase fenológica. (PEREIRA & ALLEN, 1997; ALLEN, 2011).

A  $ET_r$  é tida como a evapotranspiração que ocorre em um cultivo, porém, ao contrário da  $ET_c$ , não há exigências quanto a ausência de déficit hídrico e um desenvolvimento satisfatório da cultura. Logo,  $ET_r$  é verificada com ou sem déficit hídrico, o que a torna mais próxima da realidade evapotranspiratória de um cultivo (ALLEN *et al.*, 1998). Determinar a  $ET_r$  geralmente não é simples, devido a exigência de dados que raramente estão disponíveis, referentes a morfologia da cultura, elementos meteorológicos e monitoramento frequente da umidade do solo. Diante da dificuldade na obtenção destes dados, a utilização da modelagem computacional vem crescendo, criando métodos que estimam a  $ET_r$  de forma simplificada e precisa (POULOVASSILIS *et al.*, 2001).

Na obtenção da  $ET_r$ , além da  $ET_o$ , é levado em consideração fatores como o  $K_c$  e um coeficiente de ajuste ( $ca$ ), onde o  $ca$  está diretamente relacionado a disponibilidade hídrica do solo. Quando há disponibilidade de água no solo para atender a demanda da cultura sem que haja restrição hídrica, a evapotranspiração verificada é a  $ET_c$  ou evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_m$ ), sendo a  $ET_r$  equivalente a mesma ( $ET_m = ET_r$ ). Porém, quando há restrição de água no solo, a evapotranspiração predominante em um cultivo é a  $ET_r$ , sendo esta menor que a  $ET_m$  ( $ET_r < ET_m$ ). Logo, o coeficiente de ajuste ( $ca$ ) representa a diminuição da razão entre a evapotranspiração real e evapotranspiração máxima ( $ET_r/ET_m$ ), estando ligado ao conteúdo de água do solo na zona radicular da cultura (POULOVASSILIS *et al.*, 2001; REICHARDT, 1990).

Salienta-se que a  $ET_r$  pode ser obtida no campo ou estimada a partir de vários métodos. Métodos de medições geralmente estão relacionados com parâmetros, como: balanço hídrico do solo, lisímetros, Eddy covariance e fluxo de seiva. Métodos de estimativa estão geralmente

ligados a parâmetros, como: abordagens empíricas do modelo Penman–Monteith, coeficiente da cultura ( $K_c$ ) e modelagem do balanço hídrico do solo (RANA & KATERJI, 2000; SASSENDRAN, 2016).

Uma forma comumente utilizada para determinar a  $E_{Tr}$  e o conteúdo de água do solo na zona radicular, é o método do balanço hídrico (BH). Este consiste em contabilizar, durante um certo período, as formas de entrada e saída de água do solo, obtendo-se assim a variação no conteúdo de água do mesmo. Considera-se como fontes de entrada de água no solo, a precipitação juntamente com a irrigação e ascensão capilar, já como formas de saída de água, a evapotranspiração, drenagem e escoamento superficial (BONACHELA *et al.*, 2001). Assim, torna-se possível formar a equação base para realizar o BH:

$$\Delta W = P + I + AC - ET - ES - D \quad (1)$$

em que:  $\Delta W$  é variação no conteúdo de água do solo na zona radicular;  $P$  é precipitação pluvial;  $I$  é irrigação;  $AC$  é ascensão capilar;  $ET$  é evapotranspiração;  $ES$  é escoamento superficial;  $D$  é drenagem.

Através de uma estação meteorológica instalada próxima as áreas experimentais, torna-se mais simples obter os valores dos componentes do BH. Porém, componentes como a  $E_{Tr}$  e a drenagem, requerem maior esforço para sua obtenção, sendo quase sempre obtidos através de medições da umidade do solo e uso de métodos de estimativas. A medição da umidade do solo pode ser realizada através de métodos diretos e indiretos. Apesar de exigir custos menores para sua execução, os métodos diretos requerem maior tempo e esforço para sua obtenção, tornando estes quase sempre inviáveis. Já os métodos indiretos, têm a vantagem de serem rápidos na obtenção dos dados e exigirem menos esforço e tempo por parte do pesquisador, porém, requerem equipamentos de custos mais elevados para sua execução (GILBERTO JÚNIOR, 2003).

Dentre os métodos diretos, o método gravimétrico é tido como o método padrão, sendo amplamente utilizado para determinar o conteúdo de água de solos. Este método consiste na coleta de amostras de solo, pesando-as antes e após um processo de secagem, obtendo como resultado o conteúdo de água. Este método, apesar de ser o mais antigo na obtenção da umidade do solo, ainda é um dos mais utilizados (JOHNSON, 1962).

Já como métodos indiretos, destacam-se: reflectometria no domínio do tempo (TDR), bouyoucos e sonda de nêutrons. Dentre estes, a TDR surge como uma técnica precisa e

adequada no monitoramento e obtenção de dados de umidade do solo por um longo período, apresentando boa praticidade (TOPP *et al.*, 1980).

Segundo TOPP *et al.* (1980), a TDR é definida como uma técnica que mede a velocidade de propagação, em que um pulso eletromagnético emitido pelo aparelho leva entre a emissão e recepção do pulso ressoante, sendo em seguida estimada a constante dielétrica do solo. Propriedades do solo onde as sondas do aparelho estão inseridas, podem interferir diretamente na precisão do mesmo, como: conteúdo de argila e matéria orgânica, densidade aparente e concentração de íons. Estes fatores podem agir sobre as propriedades dielétricas do solo, gerando erros na determinação da umidade (STANGL *et al.*, 2009).

Mediante tais fatores, realiza-se a calibração dos dados do TDR, através de coleta de amostras do solo e determinação da umidade pelo método gravimétrico, tornando possível relacionar as leituras realizadas pelo aparelho e a umidade verificada no solo em dado momento, gerando uma curva e equação de calibração dos dados do TDR. Salienta-se também, que esta calibração pode ser realizada em ambiente laboratorial (SOUZA & MATSURA, 2003; SOUZA *et al.*, 2006).

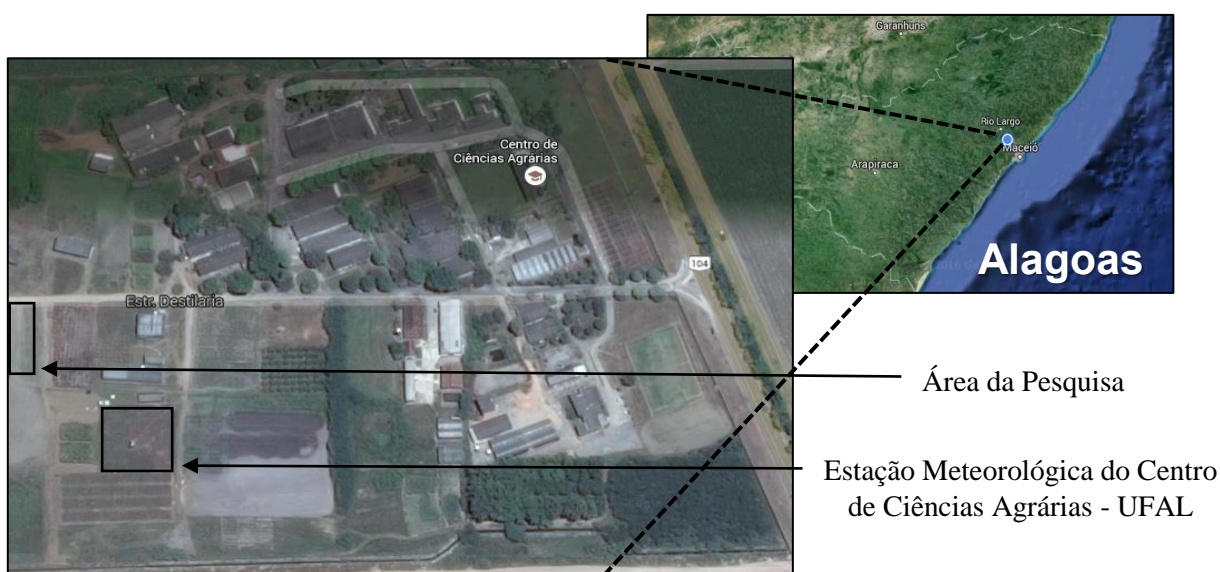
O monitoramento contínuo da umidade do solo através da TDR, além de auxiliar na obtenção da evapotranspiração, vem sendo cada vez mais utilizado em perímetros irrigados, visando um manejo adequado da irrigação e adoção de turnos de rega de acordo com a umidade verificada no solo, otimizando a mesma e evitando desperdícios de água e lixiviação de minerais do solo (SHARMA *et al.*, 2017).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Características e Localização da Área Experimental

A pesquisa foi realizada em um pomar, instalado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizado no *Campus Delza Gitaí*, BR 104 Norte, km 85, região metropolitana de Maceió, município de Rio Largo – Alagoas (Figura 3). As coordenadas geodésicas são: 9°27'58.7" de latitude sul e 35°49'47.2" de longitude oeste, 127 m de altitude. Segundo a classificação de Thornthwaite & Mather, o clima da região é caracterizado como úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial média anual é 1.800 mm. A temperatura do ar varia de 19,3 °C em agosto a 31,7 °C em janeiro, com média anual de 25,4 °C e umidade relativa do ar média mensal acima de 70% (SOUZA *et al.*, 2005). O solo da área é classificado como Latossolo amarelo coeso argisólico de textura médio-argilosa (CARVALHO, 2003).

**Figura 3.** Localização da área experimental no estado de Alagoas e vista aérea do centro de ciências agrárias, local onde o experimento foi conduzido.



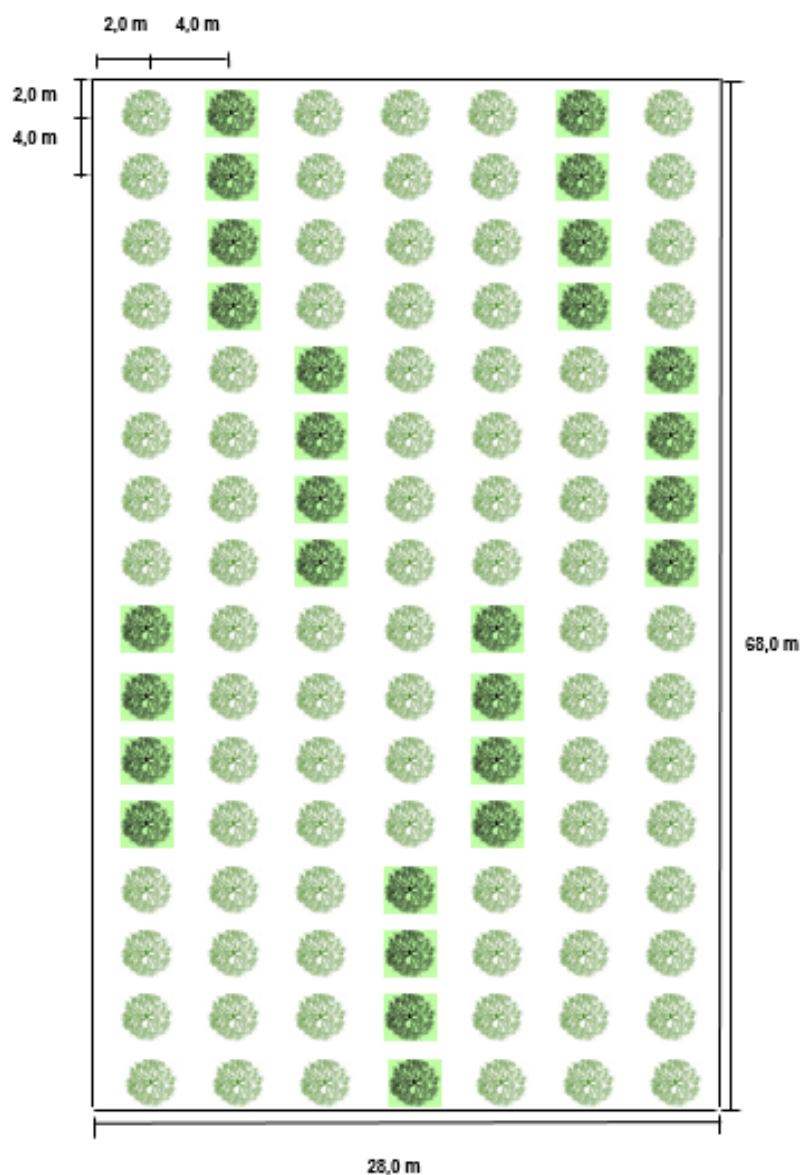
Fonte: GOOGLE EARTH, (2017).

### 4.2. Implantação e Condução do Experimento

O experimento foi conduzido entre abril de 2016 e março de 2017. O pomar foi constituído por mudas de laranja lima enxertadas em porta-enxertos provenientes de limoeiro, o plantio das mudas foi realizado no dia 8 de abril de 2016. A área do pomar possui as dimensões de 68 m de comprimento por 28 m de largura, totalizando 1.904 m<sup>2</sup>, com 7 linhas

de plantas, cada linha possuindo 16 plantas, num espaçamento de 4,0 x 4,0 m, totalizando assim 112 plantas na área, nas quais foram avaliadas 28 plantas mensalmente ao longo do período de avaliação experimental (Figuras 4). A área do pomar foi compartilhada com outro pesquisador, logo, as plantas utilizadas neste trabalho foram as testemunhas do experimento do mesmo, justificando assim a disposição das plantas avaliadas no pomar.

**Figura 4.** Croqui do experimento com plantas avaliadas em destaque.



Fonte: Autor, (2016).

O preparo do solo foi realizado com duas gradagens, sendo a primeira realizada 30 dias e a segunda 10 dias antes do plantio. Foram utilizados 500g de calcário por cova, 15 dias antes do plantio. Durante o período em que o experimento foi desenvolvido, como adubação de

cobertura aplicou-se, 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, parcelada em duas aplicações, segundo o manual técnico de Pernambuco (CAVALCANTI, 2008).

O controle de plantas daninhas foi realizado através de capinas manuais e aplicação do herbicida Glifosato 360 g L<sup>-1</sup>. Também realizou-se o plantio de uma gramínea nas entrelinhas, com o objetivo de reduzir o número de plantas daninhas. A cultura foi afetada por lagartas e moscas minadora, assim adotou-se o controle químico, utilizando os inseticidas Cipermetrina 250 g L<sup>-1</sup> e Imidacloprido 700 g kg<sup>-1</sup>, logo após ser observado os primeiros danos na área. Ambas as pulverizações de inseticidas e herbicida foram realizadas com um pulverizador costal com capacidade de 20 L.

Realizou-se o tutoramento das plantas, visando minimizar danos a cultura devido as fortes rajadas de vento na área do pomar. Foi feita uma poda de formação no pomar, objetivando adequar o crescimento das plantas.

Os dados referentes aos elementos meteorológicos durante o período experimental, foram obtidos através da estação agrometeorológica automática do Centro de Ciências Agrárias (CECA – UFAL), instalada próxima a área onde o experimento foi conduzido (Tabela 1). A temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas através de um termohigrômetro (HMP45C, Campbell Scientific, Logan, Utah), precipitação pluvial foi acompanhada com um pluviômetro (TB3, Hydrological Services PTY. LTD., Sydney, Austrália) e a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi obtida pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 2).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left( \gamma \frac{900}{\bar{T} + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma (1 + 0,34 u_2)]} \quad (2)$$

em que: R<sub>n</sub> é saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); G é fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); u<sub>2</sub> é velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub> é pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa), e é pressão do vapor d'água do ar (kPa), Δ é inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura (kPa °C<sup>-1</sup>), γ é coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>) e T é temperatura média do ar (°C).



**Tabela 1.** Valores médios mensais dos elementos meteorológicos durante o período de execução do experimento (abril de 2016 a março de 2017).

	<b>Precipitação</b>	<b>T<sub>MIN</sub></b>	<b>T<sub>MAX</sub></b>	<b>UR<sub>m</sub></b>	<b>ET<sub>o</sub></b>
<b>Abr</b>	178,06	21,79	29,43	74,46	3,91
<b>Mai</b>	229,87	21,32	28,56	75,83	3,34
<b>Jun</b>	87,63	20,27	28,57	72,80	3,55
<b>Jul</b>	93,22	19,18	27,45	77,01	3,34
<b>Ago*</b>	55,88	18,62	27,95	76,93	3,84
<b>Set</b>	46,99	19,32	28,71	74,32	4,33
<b>Out</b>	21,59	20,48	30,54	68,42	5,22
<b>Nov</b>	15,24	21,16	30,82	66,45	5,26
<b>Dez</b>	21,34	21,90	31,29	63,99	5,36
<b>Jan</b>	41,91	21,88	31,07	67,75	4,94
<b>Fev</b>	12,19	22,54	31,40	66,53	5,22
<b>Mar</b>	46,09	22,69	31,58	68,47	4,86

em que: Precipitação é precipitação pluvial mensal (mm); T<sub>MIN</sub> é temperatura mínima média mensal (°C); T<sub>MAX</sub> é temperatura máxima média mensal (°C); UR<sub>m</sub> é umidade relativa do ar média mensal (%); ET<sub>o</sub> é evapotranspiração de referência média mensal (mm dia<sup>-1</sup>);

\*Início do período de avaliação do experimento.

Fonte: Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia - LIA/CECA/UFAL (2016/2017).

Adotou-se o método de irrigação por gotejamento no pomar, utilizando gotejadores autocompensantes com vazão de 8 L/h. Utilizou-se um turno de rega fixo, onde as plantas do pomar eram irrigadas as segundas, quartas e sextas-feiras, de acordo com a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Através de modelagem do balanço hídrica, testando valores para o tamanho do bulbo úmido condizentes com as leituras de umidade registradas pelo TDR, adotou-se o tamanho de 0,65 m<sup>2</sup> para o mesmo.

O monitoramento da umidade do solo foi realizado com auxílio de um aparelho TDR (Modelo CS616 Water Content Reflectometers, Campbell Scientific), instalou-se sondas na camada de 0 a 30 cm, adotando esta, como a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, tendo em vista que as plantas encontravam-se em sua fase inicial de crescimento. Os dados coletados pelo aparelho TDR, foram ajustados através da calibração descrita por Sarmento (2015), onde foi gerada uma equação polinomial de segundo grau, com N igual a 21 e R<sup>2</sup> de 0,939 (Equação 3). Adotou-se como capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), 0,232 e 0,139 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente, resultando em um conteúdo de água

na CC e PMP de 69,60 e 41,70 mm, respectivamente. Tais valores foram determinados por Costa (2003) em pesquisa realizada próxima a área do pomar.

$$\theta = -2.16409 + 0.16643P - 0.00284P^2 \quad (3)$$

### 4.3. Variáveis Analisadas

#### 4.3.1. Análise de Crescimento e Graus-Dia Acumulados

A análise de crescimento das plantas foi realizada mensalmente durante oito meses, tendo início a partir do quinto mês de cultivo, quando as plantas do pomar apresentaram um dossel definido. Foram avaliados os seguintes parâmetros: índice de área foliar (IAF), diâmetro do dossel e altura de plantas.

Obteve-se o IAF através do uso do aparelho LAI 2000 (Modelo Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA), onde era realizada uma leitura sobre o dossel de cada planta e outras cinco abaixo do mesmo, a uma distância de cerca de 10 cm em relação ao caule das plantas (Figura 5). As leituras foram realizadas no final da tarde, período este em que há menor interferência da radiação solar na precisão do aparelho.

**Figura 5.** Obtenção do índice de área foliar das plantas de laranja lima através do uso do aparelho LAI 2000.



Fonte: Autor, (2016).

A determinação da altura de plantas e diâmetro do dossel, foi realizada com auxílio de uma trena métrica. A altura de plantas foi obtida através de medição do nível do solo a região

apical das plantas. As medições referentes ao diâmetro do dossel, foram realizadas em quatro ângulos diferentes (0°, 90°, 180° e 270°), onde colocou-se um pedaço de madeira no centro do dossel de forma perpendicular ao caule de planta, em seguida mediu-se em cada ângulo até a extremidade do dossel.

A análise de crescimento da cultura foi relacionada com os graus-dia acumulados (GDA) (Equação 5). Considerou-se 13 °C como temperatura basal (REUTHER, 1973).

$$GD = (T_{\max} + T_{\min}/2) - T_b \quad (4)$$

$$GDA = \sum_{i=1}^n GDi \quad (5)$$

em que: GD é graus-dia; GDA é graus-dia acumulados; T<sub>MAX</sub> é temperatura máxima ocorrida no dia (°C); T<sub>MIN</sub> é temperatura mínima ocorrida no dia (°C); T<sub>b</sub> é temperatura basal (°C); n é número de dias acumulados; i é i-ésimo dia de contagem de graus dia.

#### 4.3.2. Balanço Hídrico, Evapotranspiração Real e Coeficiente da Cultura

A princípio, obteve-se a ETr no campo de acordo com a metodologia de Rana & Katerji (2000). Selecionou-se 40 dias sem irrigação e precipitação pluvial, para determinação da mesma. Através do TDR, obteve-se a variação do conteúdo de água do solo entre dias consecutivos, sendo esta variação considerada como a ETr (Equação 6). Dias em que o conteúdo de água do solo encontrava-se próximo ou na CC, considerou-se a ETr igual a ETc, sendo está posteriormente utilizada na obtenção do Kc.

$$ETr \text{ e/ou } ETc = \Delta W \quad (6)$$

O Kc foi determinado de forma mensal durante o período de avaliação do experimento, através da razão entre a ETc e ETo (Equação 7). Após este período, obteve-se o Kc médio para fase inicial de crescimento da cultura.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (7)$$

A ETr estimado foi obtida pelo método de Poulouvasilis *et al.* (2001) (Equação 8), testando seis valores do coeficiente de ajuste (*ca*) de diminuição da razão entre a evapotranspiração real e evapotranspiração máxima (0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5).

$$(8)$$

$$ETr = ETo Kc \exp \left[ \frac{ca (w - w_{fc})}{w - w_{wp}} \right]$$

em que:  $w$  é conteúdo de água do solo do dia (mm);  $w_{fc}$  é conteúdo de água do solo na capacidade de campo (mm);  $w_{wp}$  é conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente (mm).

O balanço hídrico na área do pomar, foi realizado através de um modelo diário desenvolvido por Lhomme *et al.* (1984) (Equação 9) com alguns ajustes, não considerando um fator de depleção e utilizando a ETr estimada pelo método de Poulouvasilis *et al.* (2001) como saída de água do sistema. A drenagem foi obtida de acordo com a capacidade de retenção de água do solo ( $CR_j$ ), onde, dias que verificou-se excesso de água em relação a  $CR_j$ , havia drenagem. Não havendo excesso de água em relação a  $CR_j$ , a drenagem era considerada nula. O balanço hídrico foi iniciado em um determinado dia com o conteúdo de água do solo na CC.

$$W_j = W_{j-1} + P_j + I_j - ETr_j - D_j \quad (9)$$

em que:  $W_{j-1}$  é conteúdo de água do solo na zona radicular no dia anterior (mm);  $P_j$  é precipitação pluvial do dia (mm);  $I_j$  é irrigação do dia (mm);  $ETr_j$  é evapotranspiração real do dia (mm dia<sup>-1</sup>);  $D_j$  é drenagem do dia (mm).

O desempenho do método de Poulouvasilis *et al.* (2001) para a estimar a ETr, foi verificado através de comparação com a ETr obtida no campo, utilizando os seguintes índices estatísticos: coeficiente de correlação ( $r$ ), índice de concordância de Willmott ( $d$ ) e raiz do quadrado médio do erro (RMSE).

O coeficiente de correlação exprime o grau de relação entre variáveis estudadas, variando de -1 a +1, onde sinal indica o sentido da correlação, sendo que o valor 0 indica independência das variáveis (Equação 10). Observou-se a significância do coeficiente de correlação pelo teste t ( $p \leq 0,01$ ).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N'} (ei - \bar{e}i)(oi - \bar{o}i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N'} (ei - \bar{e}i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N'} (oi - \bar{o}i)^2}} \quad (10)$$

em que:  $ei$  são valores estimados;  $oi$  são valores observados;  $\bar{e}i$  é média dos valores estimados;  $\bar{o}i$  é média dos valores observados;  $N'$  é número de observações.

O índice de concordância de Willmott (1981) indica a exatidão entre os valores observados e estimados, variando de 0 a 1, onde 1 indica máxima concordância (Equação 11).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N'} (ei - oi)^2}{\sum_{i=1}^{N'} (|ei - \bar{o}| |oi - \bar{o}|)^2} \quad (11)$$

A RMSE é um índice estatístico utilizado para verificar a acurácia de métodos, onde quanto mais próximo a 0, melhor é a acurácia do método (Equação 12).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2} \quad (12)$$

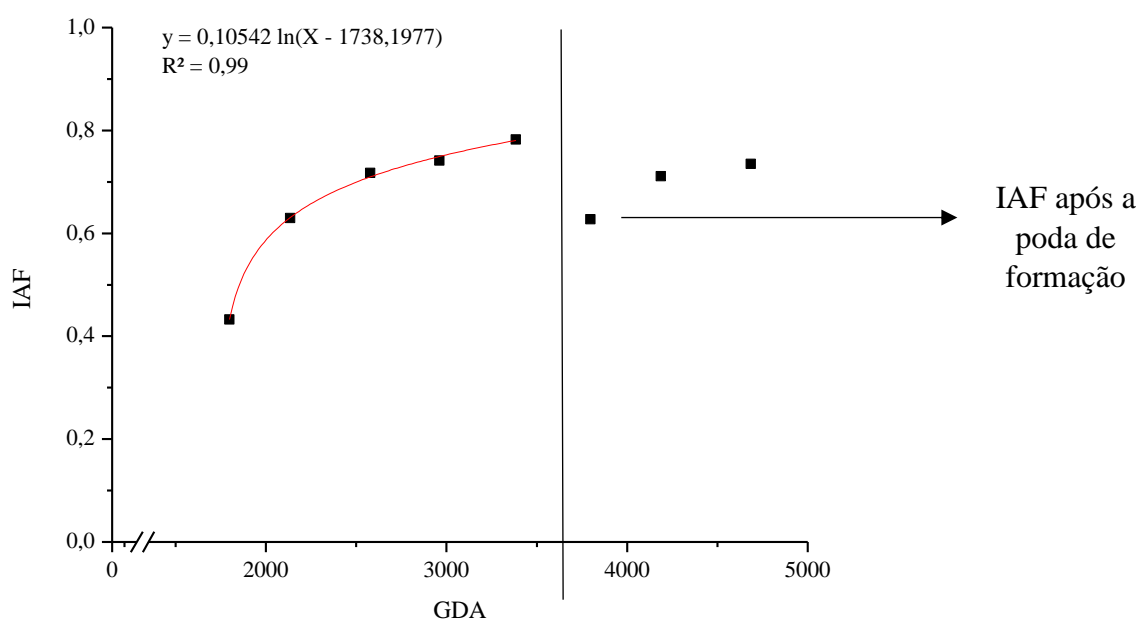
em que:  $N$  = número de observações;  $xi$  = é o valor fornecido pelo classificador para a  $i$ -ésima amostra;  $\bar{x}$  = média dos valores de todas as amostras.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise de Crescimento e Graus-Dia Acumulados

O aumento do IAF ao longo do período de avaliação da cultura pode ser relacionado com os graus-dia acumulados (GDA) (Figura 6).

**Figure 6.** Índice de área foliar (IAF) e graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental de agosto de 2016 a março de 2017, com indicação da poda de formação realizada no pomar.



Fonte: Autor, (2018).

Durante o primeiro ano de cultivo, o IAF máximo obtido foi de 0,78 aos 3383 GDA, melhor ajustando-se a uma regressão logarítmica, que apresentou um coeficiente de determinação de 0,99. Coelho Filho *et al.* (2005), avaliando métodos não destrutivos de obtenção do IAF em 28 plantas de lima ácida Tahiti, verificaram um IAF médio final de 0,73, 7 meses após o plantio. Nota-se que o crescimento da lima ácida Tahiti assemelha-se ao verificado na cultura da laranja lima, onde aos mesmos 7 meses após o plantio as plantas apresentaram um IAF de 0,72.

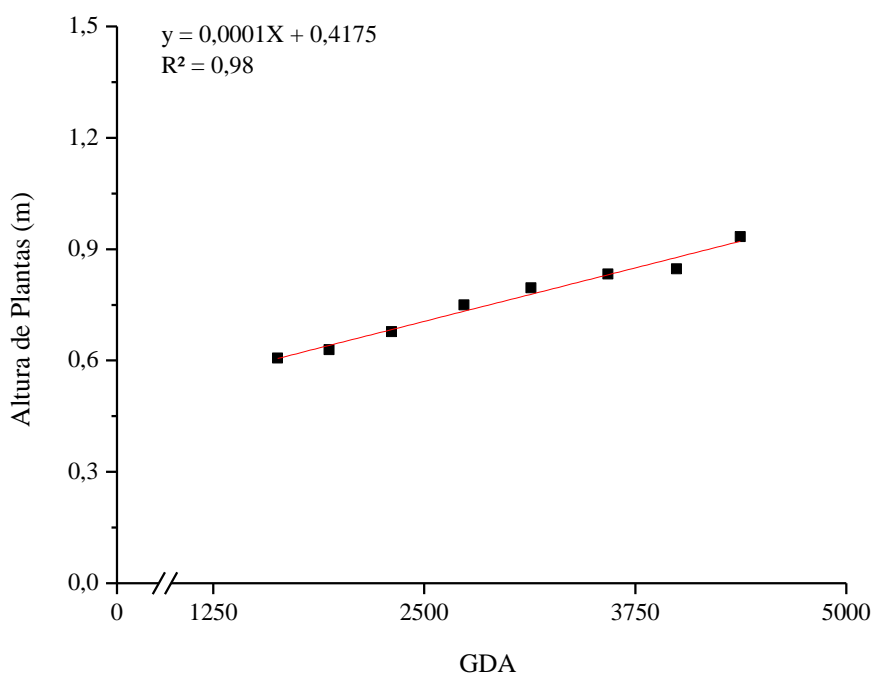
O IAF está ligado a uma vasta gama de processos fisiológicos das espécies vegetais, destacando-se dentre esses processos, a fotossíntese. Entender a forma como a cultura da laranja apresenta aumento no seu IAF, é um ponto importante na busca por uma maior adequação e melhoria no manejo de pomares, trator culturais, como, poda, densidade e espaçamento de plantio adotados, são cruciais no sucesso da citricultura e estão diretamente relacionados ao

hábito de crescimento da planta, conseqüentemente, possuem ligação com seu IAF (LUCENA *et al.*, 2011).

Devido a realização da poda de formação, verifica-se uma queda no IAF das plantas do pomar (Figura 6). A realização da poda em espécies cítricas é necessária, já que a mesma está ligada na fase jovem da cultura a fatores, como, condução da forma de crescimento e adequação do número de ramos, influenciando diretamente no porte da cultura (altura da planta e diâmetro do dossel). A poda na fase inicial de crescimento da planta, também resultará futuramente em produção precoce do pomar (VIEIRA JÚNIOR & MELO, 2005).

A altura de plantas é uma variável que visa analisar o crescimento vertical das mesmas, apresentando estreita relação com o IAF da cultura e os GDA (Figura 7).

**Figure 7.** Altura de plantas (m) e graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental de agosto de 2016 a março de 2017.



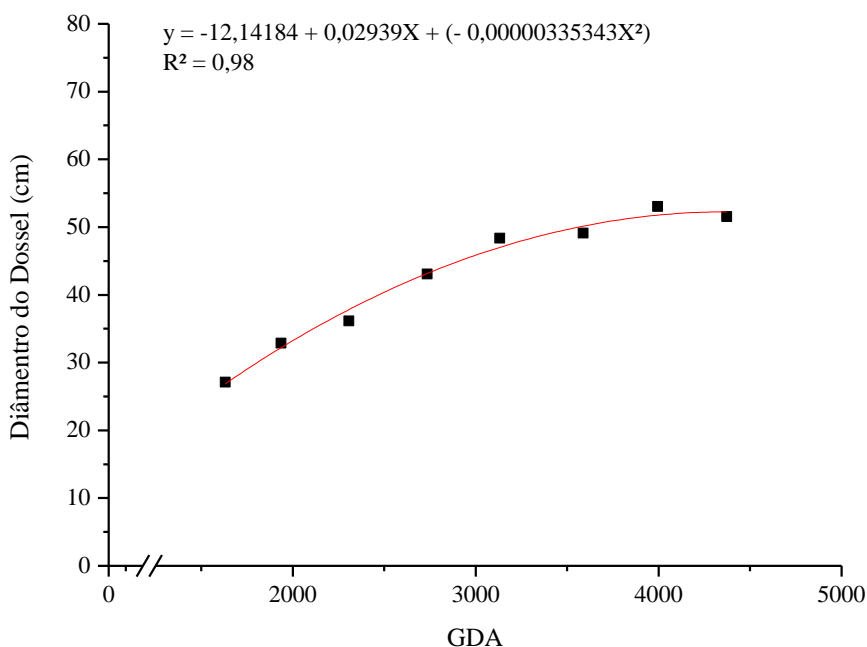
Fonte: Autor, (2018).

A altura das plantas em relação aos GDA, ajustou-se a um modelo de regressão linear, resultando em um coeficiente de determinação de 0,98, também verificou-se que a altura máxima atingida pela cultura foi equivalente a 0,93 metros aos 4500 GDA. Em pesquisa desenvolvida por Ramos (2015), avaliando diferentes porta-enxertos para a cultura da lima ácida Tahiti na sua fase inicial de crescimento, foram observadas plantas entre 0,81 a 1,04 m de altura, valores próximos aos obtidos no experimento realizada na região de Maceió.

Um fator importante em relação à altura que as plantas de laranja atingem e a velocidade com que isso acontece, está relacionado ao porta-enxerto utilizado. De acordo com o porta-enxerto, a altura das plantas pode variar, ocasionando desuniformidade no pomar, conseqüentemente, afetam no manejo da cultura referente ao controle de pragas e doenças, podas e colheitas (CARLOS *et al.*, 1997).

Os valores referentes ao comportamento do diâmetro do dossel das plantas do pomar, expõe a evolução do mesmo ao longo do período de avaliação do experimento (Figura 8).

**Figura 8.** Diâmetro do dossel (cm) e graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental de agosto de 2016 a março de 2017.



Fonte: Autor, (2018).

Os dados do diâmetro do dossel e GDA melhor ajustaram-se a uma regressão quadrática, apresentando um coeficiente de determinação de 0,98, o ponto máximo da equação ocorreu aos 4386 GDA, sendo equivalente a um diâmetro do dossel de 52,31 cm. Em pesquisa realizado por Setin *et al.* (2009) avaliando o crescimento inicial e estado nutricional da laranjeira valência, sobre porta-enxertos múltiplos de limoeiro cravo e citrumeleiro swingle, 8 meses após o plantio, foi verificado um diâmetro do dossel médio de 48 cm para laranjeira valência enxertada sobre limoeiro cravo e 39 cm para laranjeira valência enxertada sobre citrumeleiro swingle, valores estes similares ao verificado no pomar de laranja lima. Parâmetros do formato do dossel, como o diâmetro, são importantes, pois estão relacionados a estabilidade, a vitalidade e a produtividade das culturas agrícolas, tornando possível um



acompanhando e entendimento da forma de crescimento das plantas em um pomar (DURLO, 2001).

## 5.2. Análise Hídrica

### 5.2.1. Balanço Hídrico e Estimativa da Evapotranspiração Real

Na análise dos valores médios mensais estimados da ETr em relação a ETr obtida no campo, considerou-se a melhor ETr estimada com seu determinado coeficiente de ajuste (*ca*), aquela que apresentou os índices estatísticos mais confiáveis em relação a ETr obtida no campo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Índices estatísticos da ETr estimada pelo método de Poulouvassilis *et al.* (2001) em relação a ETR obtida no campo, com variação nos valores do coeficiente de ajuste (*ca*).

Coeficiente ( <i>ca</i> )	$r^1$	$d^2$	RMSE <sup>3</sup>
0,05	0,95**	0,96	0,34
0,1	0,94**	0,94	0,39
0,2	0,94**	0,94	0,39
0,3	0,95**	0,94	0,41
0,4	0,95**	0,93	0,43
0,5	0,95**	0,92	0,45

<sup>1</sup>r é correlação; <sup>2</sup>d é índice de concordância de Willmott; <sup>3</sup>RMSE é raiz do erro quadrático médio.

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo test t.

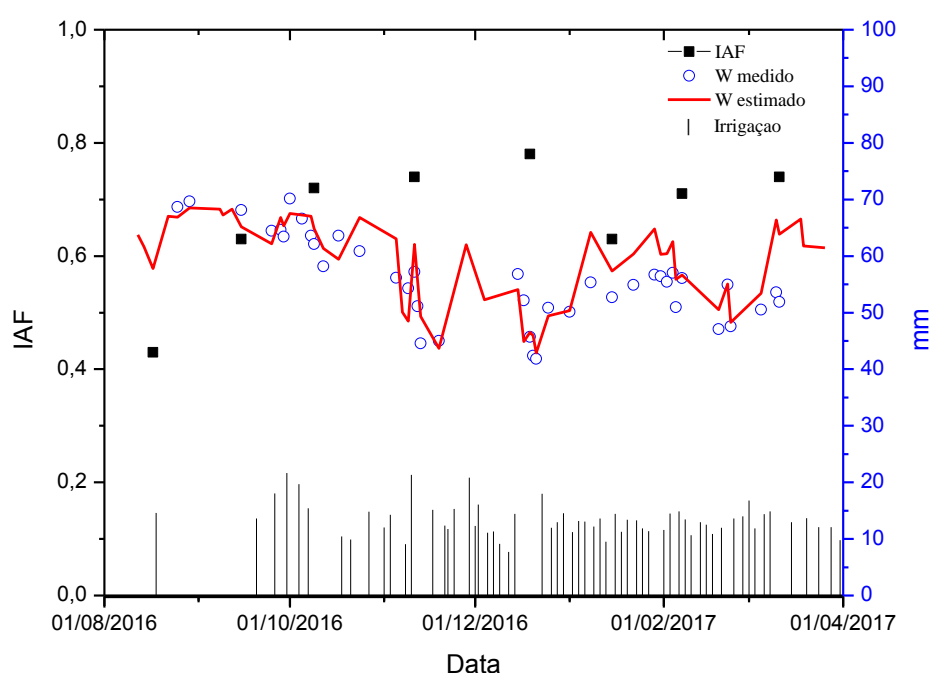
Fonte: Autor, 2018.

Através da análise dos índices estatísticos, comparando a ETr obtida no campo com a ETr estimada, nota-se que a ETr pelo método de Poulouvassilis *et al.* (2001), mostrou-se melhor para um coeficiente de ajuste (*ca*) de 0,05, apresentando um menor RMSE e uma maior concordância de acordo com o índice de Willmott, resultando assim, em uma menor variação em relação a ETr obtida no campo. Logo, adotou-se a ETr com o *ca* de 0,05, como saída no balanço hídrico diário. Tabelas e gráficos com demais valores do *ca* encontram-se no apêndice deste trabalho.

Durante o período de avaliação experimental, a ETr média obtida no campo foi de 4,83 mm dia<sup>-1</sup>, já a ETr média estimada levando-se em consideração um *ca* de 0,05, foi de 4,20 mm dia<sup>-1</sup>, apresentando proximidade entre os valores obtidos no campo e estimados. Em pesquisa realizada com plantas de laranja Murcote, Yang *et al.* (2003) verificaram uma ETr de 4,4 mm dia<sup>-1</sup> no período seco da região, tal valor assemelha-se a ETr estimada no experimento. A

determinação da variação do conteúdo de água do solo foi realizada nos 40 dias selecionados, com auxílio do aparelho TDR. Também estimou-se o mesmo conteúdo para todos dias do período de avaliação experimental, pelo método do balanço hídrico de Lhomme *et al.* (1984), onde o mesmo, considerou como saída da água a ETr estimada com a drenagem. O conteúdo de água estimado pelo método do balanço hídrico apresentou valores próximos aos obtidos no campo com o TDR (Figura 9).

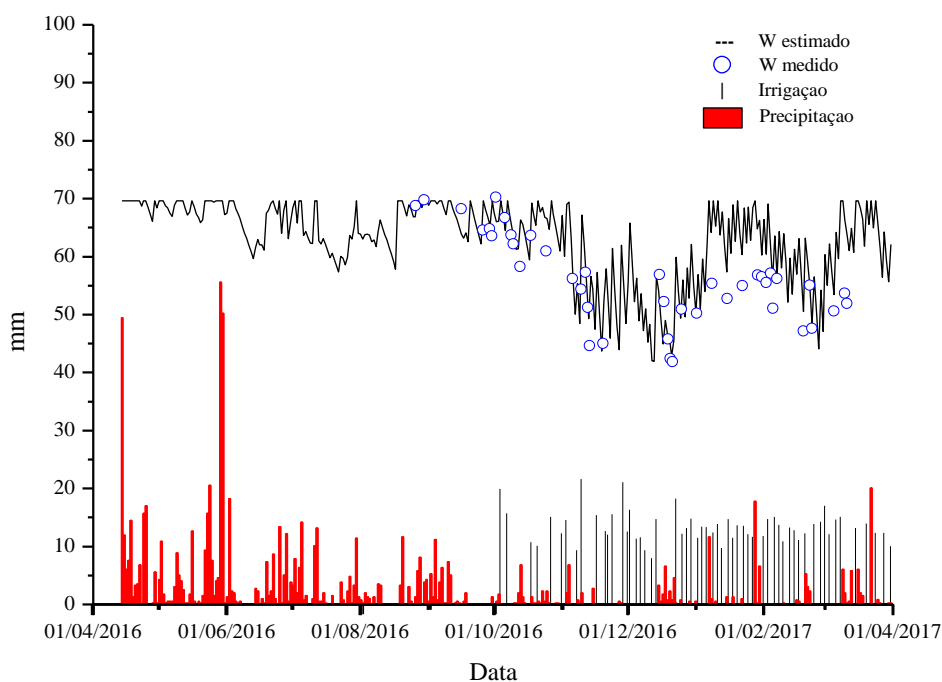
**Figura 9.** Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).



Fonte: Autor, (2018).

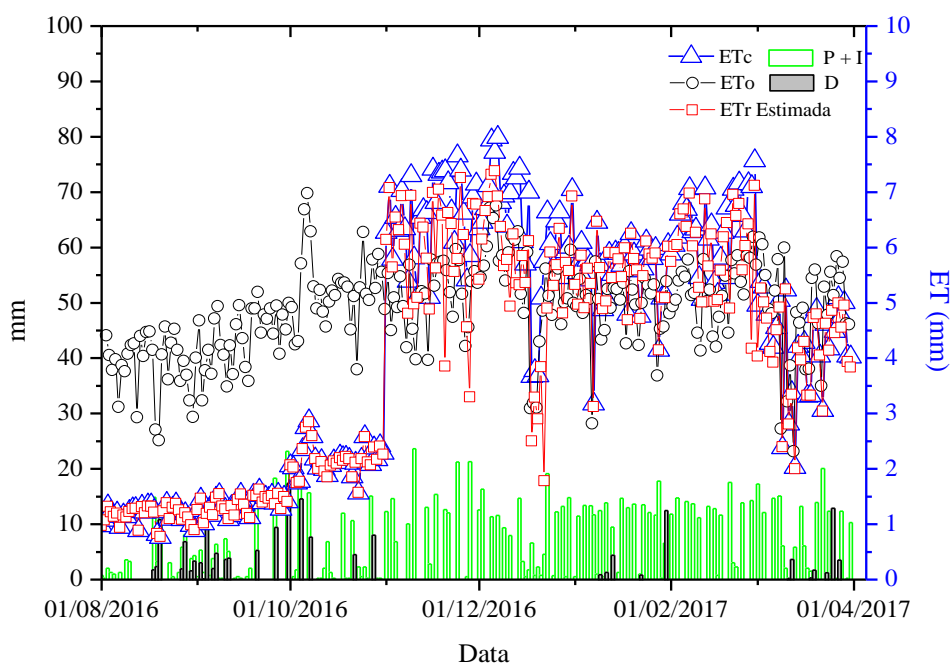
Também foi obtida a variação do conteúdo de água do solo para todo o período experimental de abril de 2016 a março de 2017 (Figura 10). Juntamente realizou-se o balanço hídrico de forma decendial durante o período de avaliação experimental (Tabela 3) e verificou-se a variação diária dos componentes do mesmo (Figura 11).

**Figura 10.** Conteúdo de água do solo (W) estimado (mm) para todo o período experimental, juntamente com a precipitação pluvial (mm) e irrigação (mm).



Fonte: Autor, (2018).

**Figura 11.** Variação diária da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), evapotranspiração real estimada ( $ET_r$ ) ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e irrigação mais drenagem (mm), durante o período de avaliação do experimento.



Fonte: Autor, (2018).

**Tabela 3.** Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial, durante o período de avaliação experimental.

Mês	Decêndio*	P + I	ETo	ETc	ETr (ca = 0,05)	D
Ago	1	13,46	37,98	11,39	11,22	0,00
	2	29,86	38,31	11,49	11,29	15,27
	3	26,93	42,75	12,83	12,79	14,14
Set	1	37,08	41,64	12,91	12,89	24,19
	2	22,49	42,69	13,23	13,12	9,37
	3	41,49	46,94	14,55	14,45	27,04
Out	1	38,20	54,45	22,32	22,21	22,48
	2	23,14	51,57	21,14	20,84	0,00
	3	31,82	57,81	23,70	23,55	12,75
Nov	1	67,50	49,90	63,87	61,29	0,00
	2	43,89	51,83	66,34	58,53	0,00
	3	55,12	52,27	66,91	59,18	0,00
Dez	1	61,22	59,64	70,38	64,44	0,00
	2	37,92	49,95	58,94	37,23	0,00
	3	65,92	56,56	66,74	56,66	0,00
Jan	1	64,43	48,48	54,30	51,98	2,39
	2	65,93	50,79	56,88	56,12	5,44
	3	62,91	53,77	60,22	59,67	12,56
Fev	1	65,57	51,90	63,32	61,87	0,00
	2	56,04	48,73	59,45	56,83	0,00
	3	33,46	45,62	55,66	49,54	0,00
Mar	1	67,28	52,97	46,08	43,99	4,01
	2	43,39	42,55	37,02	36,63	3,56
	3	56,43	55,28	48,09	47,28	16,61
<b>TOTAIS</b>		1111,48	1184,38	1017,78	943,60	169,81

\*Decêndio 1 (entre 01 e 10 dias), 2 (entre 11 e 20 dias), 3 (entre 21 e 28, 29, 30 e 31). Em que: P + I é Precipitação + Irrigação; ETo é Evapotranspiração de Referência (mm); ETc é Evapotranspiração da cultura (mm); ETR é Evapotranspiração Real (mm); D é Drenagem (mm).

Fonte: Autor, (2018).

Verificou-se um conteúdo médio de água estimado de 62,50 mm durante todo o período experimental, correspondendo a 75% da CAD do solo, para uma profundidade radicular de 30 cm. Através da análise diária e decenal dos componentes do balanço hídrico (precipitação pluvial, irrigação, evapotranspiração real e drenagem), verificou-se que os valores mais elevados da ETr ocorreram no mês de dezembro 2016, onde o valor máximo verificado em um dia foi de 7,37 mm dia<sup>-1</sup>. Os menores valores da ETr foram verificados no mês de agosto de 2016, sendo o valor mínimo de 0,87 mm dia<sup>-1</sup>. O total acumulado da ETr durante todo período de avaliação experimental foi de 943,60 mm. Cruz *et al.* (2005), em experimento realizado num pomar cítrico, verificou uma ETr máxima de 8,4 mm dia<sup>-1</sup>, valor próximo ao verificado no experimento realizado na região de Maceió.

A grande variação dos valores diários da ETr no experimento, é justificada pelo fato do mês de agosto corresponder ao período chuvoso da região, enquanto o mês de dezembro corresponde ao período seco, onde a irradiância solar média verificada no mês de agosto varia de 15,1 e 17 MJ m<sup>2</sup>, enquanto no mês de dezembro a mesma é de cerca de 24,1 a 26 MJ m<sup>2</sup>, gerando uma demanda evapotranspiratória maior no mês de dezembro (SOUZA *et al.*, 2004; SEPLANDE, 2008).

Referente a precipitação pluvial, o acumulado durante o período de avaliação experimental foi de 261,23 mm, resultando em uma média mensal de 32,65 mm. Porém, levando-se em conta a irrigação juntamente com a precipitação pluvial, como entradas de água no balanço hídrico, verificou-se um total acumulado para o mesmo período de 1111,48 mm, com uma drenagem total de 169,81 mm. Os baixos índices pluviométricos verificados durante a avaliação do experimento, justificam o maior acúmulo de água referente a irrigação durante o período de novembro a março, período seco da região (SOUZA *et al.*, 2004).

### **5.2.2. Coeficiente da Cultura e Análise de Crescimento**

Estimou-se o coeficiente da cultura (Kc) da laranja lima mensalmente durante os oito meses de avaliação experimental, sendo posteriormente obtido um Kc médio para todo o primeiro ano de cultivo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Valores mensais e média final do coeficiente da cultura (Kc) durante o período de avaliação experimental.

Mês	Coeficiente da Cultura Mensal (Kc)
Agosto	0,30
Setembro	0,31
Outubro	0,41
Novembro	1,28
Dezembro	1,18
Janeiro	1,12
Fevereiro	1,22
Março	0,87
<b>Média Final</b>	<b>0,84</b>

Fonte: Autor, (2018).

Analisando os Kc mensais estimados (Tabela 4), verifica-se que os menores valores foram obtidos de agosto a outubro de 2016, período este em que foi verificado uma ETo média de 4,47 mm dia<sup>-1</sup> e um total acumulado de 410,82 mm. A ETc média deste período foi equivalente a 1,55 mm dia<sup>-1</sup>. Durante o período de novembro de 2016 a março de 2017, observou-se um aumento do Kc estimado, corroborando com o aumento da ETo e ETc, onde a ETo apresentou valores médios e um total acumulado de 5,13 mm dia<sup>-1</sup> e 773,88 mm, respectivamente. A ETc média foi de 5,84 mm dia<sup>-1</sup> neste período.

Segundo Marin (2000) citado por Sentelhas (2005), a necessidade hídrica de uma planta cítrica pode chegar a atingir de 5 a 6 mm dia<sup>-1</sup> na estação seca, valores estes que corroboram com os obtidos no experimento com a cultura da laranja lima. O aumento da demanda evapotranspiratório ao longo do período de avaliação experimental, ocorreu devido o período seco local dar-se de outubro a março, corroborando com o pico de disponibilidade de radiação solar na região, fator este que influencia diretamente na evapotranspiração utilizada na obtenção do Kc (DE BRUIN *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2005). Outros fatores atuantes no processo evapotranspiratório que são importantes na obtenção do Kc, apresentaram valores normais para o local onde o experimento foi conduzido, onde, a umidade relativa do ar média foi de 69,10%, sendo que a umidade relativa do ar, geralmente encontra-se acima de 70% na região. A temperatura do ar média foi de 25,74 °C, valor próximo a temperatura média da região de 25,40 °C, esta temperatura é compatível com a faixa ótima para o crescimento e desenvolvimento de espécies cítricas, que fica entre 25 e 31 °C (REUTHER, 1973).

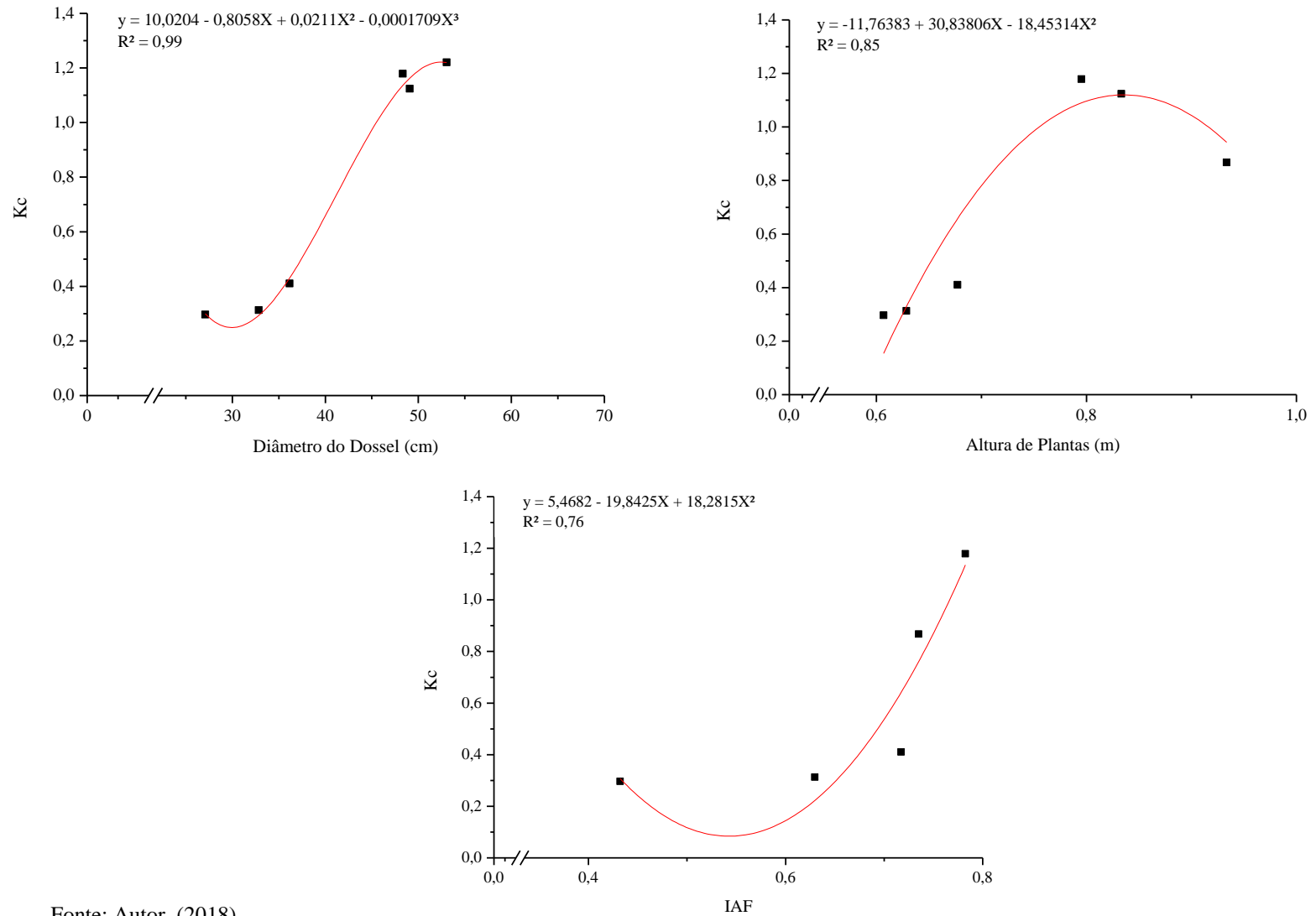
Assim, de acordo com os valores estimados do  $K_c$  mensalmente durante o período de avaliação experimental, obteve-se o valor do  $K_c$  médio de 0,84, para toda a fase inicial de crescimento da cultura da laranja lima. Doorenbos & Pruitt (1977), obtiveram valores do  $K_c$  de 0,85 a 0,90 em pomares cítricos com plantas jovens, com presença de uma cobertura vegetal (gramínea) sobre o solo, cobrindo cerca de 20% da área. Já Pereira & Allen (1997) utilizaram o tanque classe A, como método para obtenção da evapotranspiração de referência e apresentaram valores médios do  $K_c$  de 1,0, para solos com algum tipo de cobertura vegetal e plantas de laranja jovens cobrindo cerca de 20% total da área do pomar. Morais *et al.* (2015) em experimento realizado com laranjeira folha murcha, obteve um  $K_c$  médio de 0,88. Tais valores verificados em outros trabalhos, assemelham-se ao  $K_c$  obtido no experimento na região metropolitana de Maceió.

Ressalta-se, mediante o valor encontrado no experimento para o  $K_c$  e os valores vistos em diferentes regiões, que o mesmo pode variar de acordo com as condições climáticas (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, índices pluviométricos, velocidade média do vento) e as propriedades do solo (textura, densidade, permeabilidade) de cada região em que o pomar esteja inserido. (ALLEN *et al.* 1998). Assim, cada região tende a apresentar seu valor de  $K_c$  específico.

O  $K_c$  obtido no experimento também foi relacionado através de regressões com as variáveis de crescimento da cultura (diâmetro do dossel, altura de plantas e IAF) (Figura 12). Referente ao diâmetro do dossel, os dados ajustaram-se a um modelo de regressão cúbica, de acordo com a análise de variância (Apêndice), apresentando um coeficiente de determinação de 0,99, onde o diâmetro de 53 cm correspondeu ao maior  $K_c$  de 1,22. Em relação à altura de plantas, os dados se adequaram a um modelo de regressão quadrática, com um coeficiente de determinação de 0,85, onde a altura de 0,79 corroborou com o  $K_c$  de 1,17. O IAF da cultura, melhor ajustou-se ao  $K_c$ , através de um modelo de regressão quadrática, apresentando um coeficiente de determinação de 0,76, em que o IAF de 0,78, correspondeu ao  $K_c$  máximo de 1,17.

Através da análise dos dados, referentes a relação do  $K_c$  com a análise de crescimento, observa-se que os valores mais elevados do mesmo, ocorreram na parte final do período de avaliação. A relação entre o  $K_c$  e medidas da cultura, torna-se importante visando obter equações práticas para determinação do  $K_c$  e conseqüentemente a  $ET_c$  e/ou  $ET_r$  da cultura, auxiliando no manejo da irrigação em pomares cítricos.

**Figura 12.** Relação entre a análise de crescimento (diâmetro do dossel (cm), altura de plantas (m) e IAF) e o coeficiente da cultura ( $K_c$ ), durante o período de avaliação experimental (agosto de 2016 a março de 2017).



Fonte: Autor, (2018).



## 6. CONCLUSÕES

A região metropolitana de Maceió, localizada na Zona da Mata nordestina, possui condições favoráveis ao cultivo da laranja lima referente as condições climáticas, apresentando temperaturas ideais para suprir a exigência térmica da cultura e umidade relativa do ar adequada. A precipitação pluvial em volume adequado acontece apenas em parte do ano, entre os meses de abril e setembro, tornando necessária a irrigação durante o período seco da região de outubro a março.

O método de estimativa da ETr utilizando um coeficiente de ajuste entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ) de 0,05, apresentou boa precisão e superioridade em relação aos demais coeficientes testados.

O coeficiente da cultura obtido para a laranja lima na região foi de 0,84.

A análise de todo o conjunto de dados mostrou que o modelo utilizado para estimar a evapotranspiração real, o coeficiente da cultura e verificar a forma de crescimento da laranja lima na sua fase inicial, possui boa precisão e confiabilidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. **FAO**, Rome, 1998. 328 p. (Irrigation and drainage paper, 56).

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.

BEN MECHLIA, N.; CARROL, J. J. Agroclimatic modeling for simulation of phenology, yield and quality of crop production. I. Citrus response formulation. **International Journal of Biometeorology**, Berlim, v.33, n.1, p. 36-51, 1989.

BONACHELA, S.; ORGAZ F.; VILLALOBOS, F. J.; FERERES, E. Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. **Irrigation Science**, Córdoba, v.20, p. 65-71. 2001.

CARLOS, E.F.; STICHI, E.S.; DONADIO, L.C. **Porta-enxertos para a citricultura paulista**. Jaboticabal: FUNEP, p. 47. 1997. (Boletim Citrícola).

CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2003.

CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2a. aproximação**. 2 ed. Recife. Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008.

CHEN, C.S. Models for seasonal changes in Brix and ratio of citrus fruit juice. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**. Winten Haven, v. 103, p. 251-255, 1990.

COELHO FILHO, E.; OLIVEIRA A. S.; MAGALHÃES, A. F. de J. Irrigação e fertirrigação em citros. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF. Cruz das Almas, BA, 2000. 23p. (CNPMF. **Circular Técnica, 38**).

COSTA, G. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica para o milho na região de Rio Largo**. 2003. 21 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2003.

CRUZ, A. C. R. et al. Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, v. 20, n. 5, p. 659-668, 2005.

DE BRUIN, H. A. R. et al. Regional advection perturbations in na irrigated desert (RAPID) experimente. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 80, p. 143-152, 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. **FAO**, Rome, 1977. 144 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabraela canjerana* (Well.) Mart. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.141-149, 2001.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. FAOSTAT. Disponível em: <http://www.faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 20 mar. 2017.

GILBERTO JÚNIOR, O. J. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2003.

GONÇALVES, C. **Fenologia, exigências bioclimáticas e características físicas da zínia (Profusion cherry) envasada cultivada em ambiente protegido**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônômico de Campinas. 2006.

IBGE, 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201609.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201609.pdf) f. Acesso em: 21 mar. 2017.

JOHNSON, I. A. **Methods of measuring soil moisture in the field**. United States Geological Survey, 1962.

LHOMME, J. P.; GOMEZ, G.; JARAMILLO, A. Modelo matemático del balance hídrico. **Turrialba**, Costa Rica, v.34, n.4, p. 503-507, 1984.

LUCENA, R. R. M. et al. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.2, p. 40-45, 2011.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A. A. **Citricultura Brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill. 1991. p.153-188.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.4, p. 118-43, 1997.

PINAZZA, L. A.; ALIMANDRO, R. Saga da Citricultura. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 21-22, 1999.

POULOVASSILIS, A. et al. Semi-empirical approach for estimating actual evapotranspiration in Greece. **Agricultural Water Management**, v. 51, p. 143-152, 2001.

RANA, G.; KATERJI N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of Agronomy**. v.13, p. 125–153, 2000.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo. Manole, 1990.

REUTHER, W. **The citrus industry**. California, University of California. 1973.

RODRIGUEZ, O. et al. Aspectos fisiológicos, nutrição e adubação dos citros. **Citricultura Brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991.

SARMENTO, P. L. V. S. **Ecofisiologia do milho sob diferentes épocas de semeadura e densidade de plantio**. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2015.

SASSENDREN, S. et al. Simulation of crop evapotranspiration and crop coefficients with data in weighing lysimeters. **Agricultural Water Management**. v. 177, p. 274-283, 2016.

SEPLANDE, 2008. Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico de Alagoas. Disponível em: <http://dados.al.gov.br/dataset/atlas-solarimetrico>. Acesso em: 24 fev. 2018.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: IAC/FUNDAG, 2005. p. 319-344.

SETIN, D. W.; CARVALHO, S. A.; MATTOS JÚNIOR, D. Crescimento Inicial e Estado Nutricional da Laranjeira 'Valência' Sobre Porta-Enxertos Múltiplos de Limoeiro 'Cravo' e Citrumeleiro 'Swingle'. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.397-406, 2009.

SHARMA, et al. Soil moisture sensor calibration, actual evapotranspiration, and crop coefficients for drip irrigated greenhouse chile peppers. **Agricultural Water Management**. v. 179, p. 81-91, 2017.

SOUZA, F. C.; MATSURA, E. E. Multi-wire time domain reflectometry (TDR) probe with electrical impedance discontinuities for measuring water content distribution. **Agricultural Water Management**. v. 59, p. 205-216, 2003.

SOUZA, J. L. et al. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p. 131-141, 2004.

\_\_\_\_\_, J. L.; NICÁCIO, R. M.; MOURA, M. A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**, v. 30, n. 8, p. 1203-1220, 2005.

\_\_\_\_\_, J. L. et al. **Umidade do solo em cultivo de feijão com refletômetro de conteúdo de água sob variações de cobertura do solo e de irrigação**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa, agosto de 2006.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. Cambridge: University Press, 1996.

STANGL, R. BUCHAN, G. D. LOISKANDL, W. Field use and calibration of a TDR-based probe for monitoring water content in a high-clay landslide soil in Austria. **Geoderma**, v. 150, p. 23-31, 2009.

THORNTHWAITE, C. W.; WILM, H. G. Report of the committee on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 25, n. 5, p. 686-693, 1944.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content; measurement in coaxial lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

VIEIRA JÚNIOR, H. C.; MELO, B. **Poda das frutíferas**. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/poda.html>. Acesso em: 05 mar. 2018.

VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas ‘Valência’ e ‘Natal’ na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v.24, n.2, p. 436-441, 2002.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n. 2, p. 184-194, 1981.

YANG, L.S.; YANO, T.M.A.; LI, X. Evapotranspiration of Orange trees in greenhouse lysimeters. **Irrigation Science**, v.21, n. 1, p.145-149, 2003.

## **8. APÉNDICE**

**Tabela 1.** Análise de variância de verificação do modelo de regressão que melhor se ajuste as variáveis da análise de crescimento em relação aos graus-dia acumulados (GDA), durante o período de avaliação experimental.

Modelo de Melhor Ajuste	Valores de Quadrado Médio		
	Altura de Plantas	Diâmetro do Dossel	IAF
Regressão Linear	0,09004*	--	--
Regressão Quadrática	--	316,40846*	--
Regressão Logarítmica	--	--	0,09004*
Erro	0,00031	1,66145	0,00004
<b>Médias Observadas</b>			
Altura de Plantas (m)		0,76	
Diâmetro do Dossel (cm)		0,43	
IAF		0,66	
GDA		2962,26	

\*Significativo à nível de 5% pelo teste F.

Fonte: Autor, (2018).

**Tabela 2.** Análise de variância de verificação do modelo de regressão que melhor se ajuste as variáveis da análise de crescimento em relação ao coeficiente da cultura (Kc), durante o período de avaliação experimental.

Modelo de Melhor Ajuste	Valores de Quadrado Médio		
	Altura de Plantas	Diâmetro do Dossel	IAF
Regressão Quadrática	0,48108*	--	0,27066*
Regressão Cúbica	--	1,12321*	--
Erro	0,02631	0,00205	0,0373
<b>Médias Observadas</b>			
Altura de Plantas (m)		0,76	
Diâmetro do Dossel (cm)		0,43	
IAF		0,66	
Kc		0,84	

\*Significativo à nível de 5% pelo teste F.

Fonte: Autor, (2018).



**Tabela 3.** Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial durante o período de avaliação experimental, com *ca* igual a 0,1.

Mês	Decêndio*	P + I	ETo	ETc	ETr ( <i>ca</i> = 0,1)	D
Ago	1	13,46	37,98	11,39	11,35	2,11
	2	29,86	38,31	11,49	11,29	18,57
	3	26,93	42,75	12,83	12,76	14,17
Set	1	37,08	41,64	12,91	12,88	24,20
	2	22,49	42,69	13,23	13,01	9,48
	3	41,49	46,94	14,55	14,35	27,14
Out	1	38,20	54,45	22,32	22,09	22,57
	2	23,14	51,57	21,14	20,56	0,00
	3	31,82	57,81	23,70	23,40	13,14
Nov	1	67,50	49,90	63,87	59,49	0,15
	2	43,89	51,83	66,34	58,01	0,00
	3	55,12	53,98	69,09	59,77	0,00
Dez	1	61,22	59,64	70,38	62,75	0,00
	2	40,44	49,95	58,94	41,93	0,00
	3	65,92	56,56	66,74	54,91	0,00
Jan	1	64,43	48,48	54,30	51,40	5,89
	2	65,93	50,79	56,88	55,46	6,11
	3	62,91	53,77	60,22	59,16	12,96
Fev	1	65,57	51,90	63,32	60,75	0,00
	2	56,04	48,73	59,45	55,56	0,00
	3	33,46	45,62	55,66	49,26	0,00
Mar	1	67,28	52,97	46,08	43,60	7,17
	2	43,39	42,55	37,02	36,25	3,94
	3	56,43	55,28	48,09	46,55	16,68
<b>TOTAL</b>		1114,00	1186,09	1019,97	936,52	184,29

\*Decêndio 1 (entre 01 e 10 dias), 2 (entre 11 e 20 dias), 3 (entre 21 e 28, 29, 30 e 31).

em que: P + I é precipitação + irrigação; ETo é evapotranspiração de referência (mm); ETc é evapotranspiração da cultura (mm); ETR é evapotranspiração real (mm); D é drenagem (mm).

Fonte: Autor, (2018).

**Tabela 4.** Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial durante o período de avaliação experimental, com *ca* igual a 0,2.

Mês	Decêndio*	P + I	ETo	ETc	ETr ( <i>ca</i> = 0,2)	D
Ago	1	13,46	37,98	11,39	11,31	2,15
	2	29,86	38,31	11,49	11,09	18,77
	3	26,93	42,75	12,83	12,69	14,24
Set	1	37,08	41,64	12,91	12,85	24,23
	2	22,49	42,69	13,23	12,80	9,69
	3	41,49	46,94	14,55	14,15	27,34
Out	1	38,20	54,45	22,32	21,86	22,73
	2	23,14	51,57	21,14	20,06	0,53
	3	31,82	57,81	23,70	23,11	13,33
Nov	1	67,50	49,90	63,87	56,68	2,35
	2	43,89	51,83	66,34	55,45	0,00
	3	55,12	53,98	69,09	59,29	0,00
Dez	1	61,22	59,64	70,38	60,67	2,35
	2	37,92	49,95	58,94	38,93	0,00
	3	65,92	56,56	66,74	55,08	0,00
Jan	1	64,43	48,48	54,30	51,10	9,99
	2	65,93	50,79	56,88	54,27	7,29
	3	62,91	53,77	60,22	58,28	13,65
Fev	1	65,57	51,90	63,32	58,80	0,68
	2	56,04	48,73	59,45	54,09	0,00
	3	33,46	45,62	55,66	48,45	0,00
Mar	1	67,28	52,97	46,08	43,52	10,98
	2	43,39	42,55	37,02	35,54	4,65
	3	56,43	55,28	48,09	45,29	16,82
<b>TOTAL</b>		1111,48	1186,09	1019,97	915,40	201,77

\*Decêndio 1 (entre 01 e 10 dias), 2 (entre 11 e 20 dias), 3 (entre 21 e 28, 29, 30 e 31).

em que: P + I é precipitação + irrigação; ETo é evapotranspiração de referência (mm); ETc é evapotranspiração da cultura (mm); ETR é evapotranspiração real (mm); D é drenagem (mm).

Fonte: Autor, (2018).

**Tabela 5.** Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial durante o período de avaliação experimental, com *ca* igual a 0,3.

Mês	Decêndio*	P + I	ETo	ETc	ETr ( <i>ca</i> = 0,3)	D
Ago	1	11,43	37,23	11,17	11,05	0,38
	2	21,48	39,87	11,96	11,38	10,10
	3	34,29	42,33	12,70	12,51	21,78
Set	1	34,03	40,52	12,53	12,48	23,88
	2	16,00	41,85	12,97	12,44	7,81
	3	32,17	47,32	14,67	14,01	15,79
Out	1	61,13	54,07	21,72	21,08	40,53
	2	23,14	51,18	20,98	19,39	1,02
	3	32,07	57,54	23,59	22,87	13,50
Nov	1	43,88	50,93	60,34	52,96	1,41
	2	54,87	50,60	64,77	52,62	3,20
	3	67,76	54,17	69,34	56,53	0,90
Dez	1	61,22	59,81	71,13	59,58	4,50
	2	35,63	52,24	61,64	41,45	0,00
	3	68,21	53,71	63,38	50,47	1,70
Jan	1	63,92	50,10	56,47	52,46	11,46
	2	52,79	49,89	55,88	52,74	6,30
	3	76,56	53,62	60,05	57,05	16,30
Fev	1	54,41	52,83	63,91	58,25	1,32
	2	49,62	48,73	59,45	53,90	0,00
	3	51,04	43,89	53,55	44,84	0,85
Mar	1	65,25	53,16	48,42	44,77	13,36
	2	31,49	42,95	37,37	35,78	3,31
	3	60,07	56,27	48,95	45,36	18,95
<b>TOTAL</b>		1102,46	1184,81	1016,95	895,94	218,36

\*Decêndio 1 (entre 01 e 10 dias), 2 (entre 11 e 20 dias), 3 (entre 21 e 28, 29, 30 e 31).

em que: P + I é precipitação + irrigação; ETo é evapotranspiração de referência (mm); ETc é evapotranspiração da cultura (mm); ETR é evapotranspiração real (mm); D é drenagem (mm).

Fonte: Autor, (2018).

**Tabela 6.** Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial durante o período de avaliação experimental, com *ca* igual a 0,4.

Mês	Decêndio*	P + I	ETo	ETc	ETr ( <i>ca</i> = 0,4)	D
Ago	1	13,46	37,98	11,39	11,23	2,23
	2	29,86	38,31	11,49	10,74	19,12
	3	26,93	42,75	12,83	12,57	14,36
Set	1	37,08	41,64	12,91	12,79	24,29
	2	22,49	42,69	13,23	12,41	10,08
	3	41,49	46,94	14,55	13,78	27,71
Out	1	38,20	54,45	22,32	21,42	23,04
	2	23,14	51,57	21,14	19,23	1,46
	3	31,82	57,81	23,70	22,57	13,66
Nov	1	67,50	49,90	63,87	52,83	6,46
	2	43,89	51,83	66,34	51,67	0,00
	3	55,12	53,98	69,09	57,33	3,14
Dez	1	61,22	59,64	70,38	56,68	5,46
	2	37,92	49,95	58,94	38,21	0,00
	3	65,92	56,56	66,74	55,29	3,33
Jan	1	64,43	48,48	54,30	49,38	12,36
	2	65,93	50,79	56,88	52,33	9,24
	3	62,91	53,77	60,22	56,74	14,84
Fev	1	65,57	51,90	63,32	55,94	1,88
	2	56,04	48,73	59,45	52,61	2,50
	3	33,46	45,62	55,66	46,04	0,00
Mar	1	67,28	52,97	46,08	42,68	15,22
	2	43,39	42,55	37,02	34,28	5,91
	3	56,43	55,28	48,09	43,29	17,09
<b>TOTAL</b>		1111,48	1186,09	1019,97	882,04	233,40

\*Decêndio 1 (entre 01 e 10 dias), 2 (entre 11 e 20 dias), 3 (entre 21 e 28, 29, 30 e 31).

em que: P + I é precipitação + irrigação; ETo é evapotranspiração de referência (mm); ETc é evapotranspiração da cultura (mm); ETr é evapotranspiração real (mm); D é drenagem (mm).

Fonte: Autor, (2018).

**Tabela 7.** Valores observados dos componentes do balanço hídrico de forma decendial durante o período de avaliação experimental, com *ca* igual a 0,5.

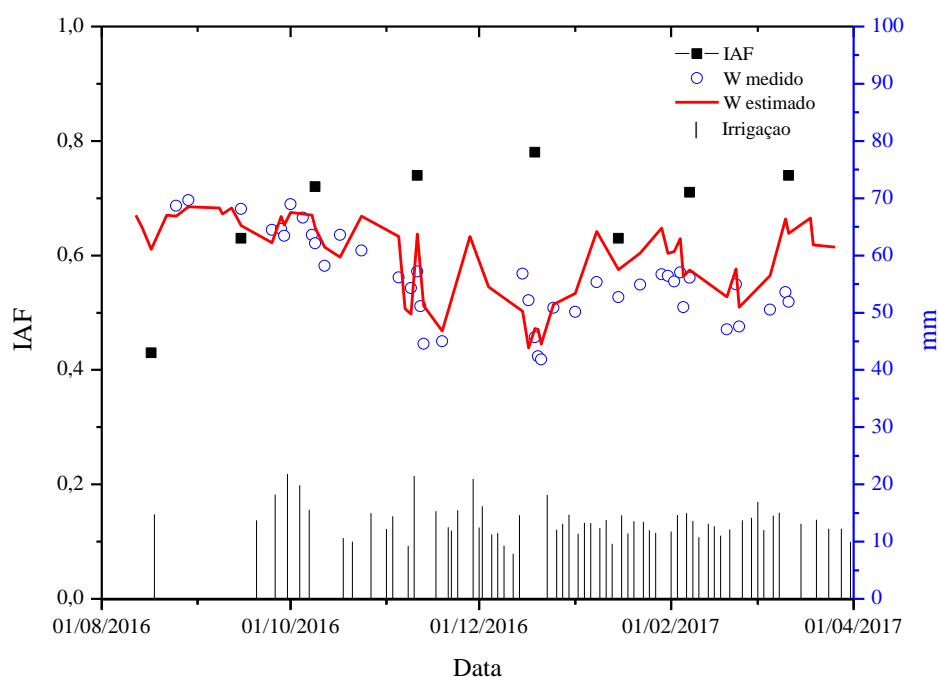
Mês	Decêndio*	P + I	ETo	ETc	ETr ( <i>ca</i> = 0,5)	D
Ago	1	13,46	37,98	11,39	11,20	2,27
	2	29,86	38,31	11,49	10,58	19,28
	3	26,93	42,75	12,83	12,51	14,42
Set	1	37,08	41,64	12,91	12,76	24,32
	2	22,49	42,69	13,23	12,24	10,25
	3	41,49	46,94	14,55	13,60	27,89
Out	1	38,20	54,45	22,32	21,21	23,19
	2	23,14	51,57	21,14	18,88	1,85
	3	31,82	57,81	23,70	22,31	13,82
Nov	1	67,50	49,90	63,87	51,39	8,01
	2	43,89	51,83	66,34	50,39	0,00
	3	55,12	53,98	69,09	56,22	5,33
Dez	1	61,22	59,64	70,38	55,10	6,05
	2	37,92	49,95	58,94	37,94	0,00
	3	65,92	56,56	66,74	54,81	5,27
Jan	1	64,43	48,48	54,30	48,61	13,14
	2	65,93	50,79	56,88	51,51	10,05
	3	62,91	53,77	60,22	55,96	15,45
Fev	1	65,57	51,90	63,32	54,87	2,38
	2	56,04	48,73	59,45	52,00	3,84
	3	33,46	45,62	55,66	44,97	0,00
Mar	1	67,28	52,97	46,08	42,15	16,82
	2	43,39	42,55	37,02	33,72	6,48
	3	56,43	55,28	48,09	42,47	17,22
<b>TOTAL</b>		1111,48	1186,09	1019,97	867,41	247,34

\*Decêndio 1 (entre 01 e 10 dias), 2 (entre 11 e 20 dias), 3 (entre 21 e 28, 29, 30 e 31).

em que: P + I é precipitação + irrigação; ETo é evapotranspiração de referência (mm); ETc é evapotranspiração da cultura (mm); ETr é evapotranspiração real (mm); D é drenagem (mm).

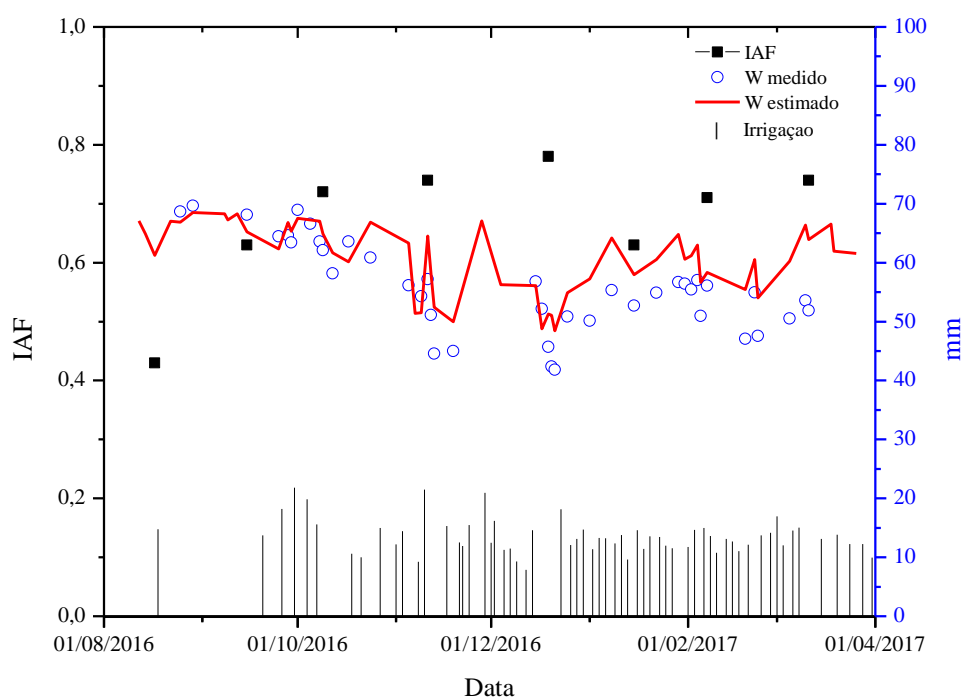
Fonte: Autor, (2018).

**Figura 1.** Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm) ( $ca = 0,1$ ), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).



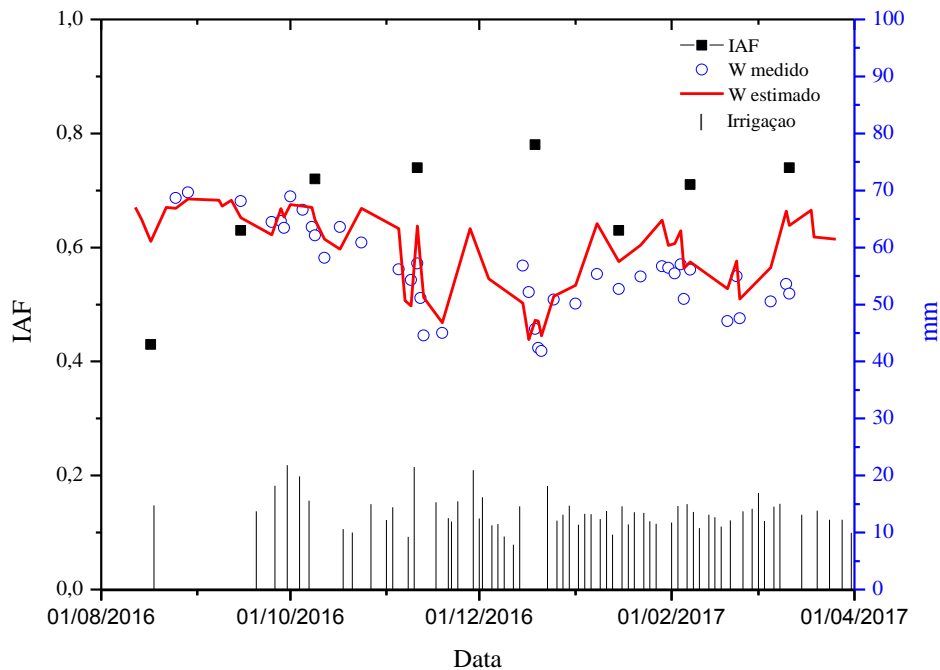
Fonte: Autor, (2018).

**Figura 2.** Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm) ( $ca = 0,2$ ), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).



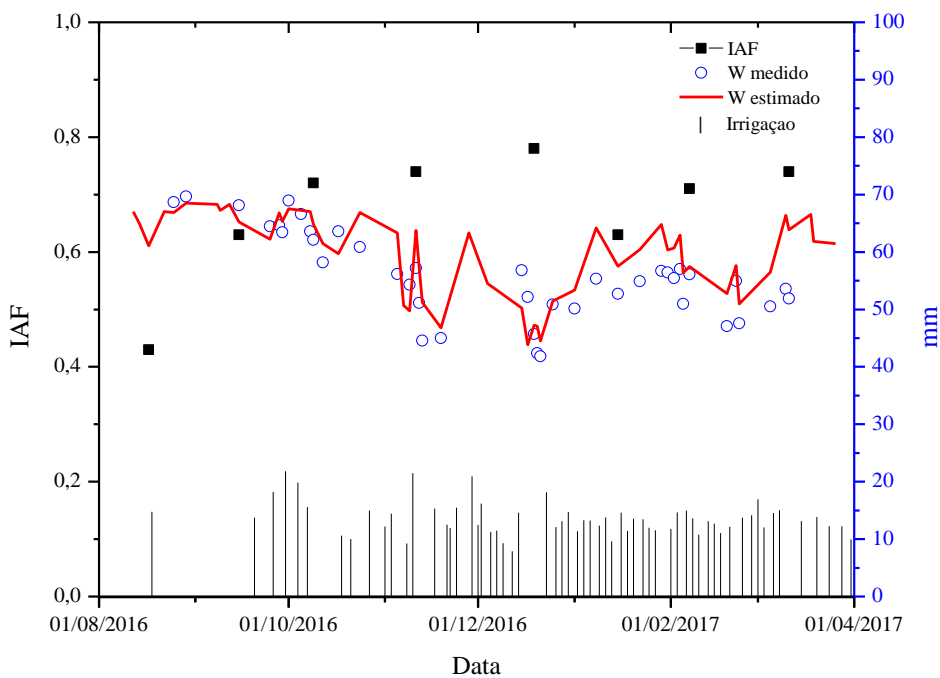
Fonte: Autor, (2018).

**Figura 3.** Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm) ( $ca = 0,3$ ), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).



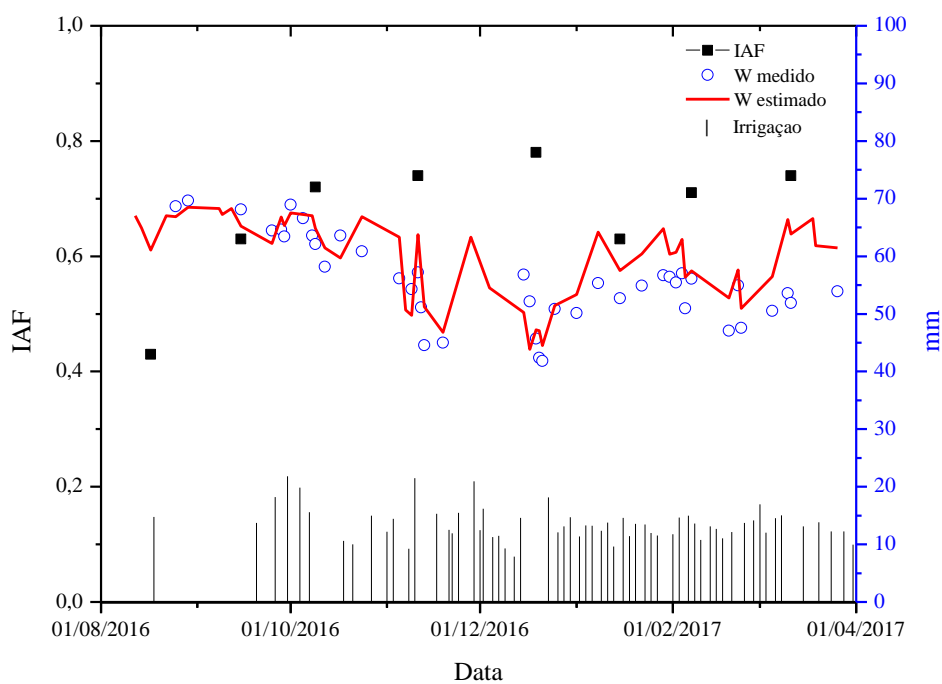
Fonte: Autor, (2018).

**Figura 4.** Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm) ( $ca = 0,4$ ), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).



Fonte: Autor, (2018).

**Figura 5.** Conteúdo de água no solo (W) medido e estimado (mm) ( $ca = 0,5$ ), durante o período de avaliação experimental, juntamente com o índice de área foliar e irrigação (mm).



Fonte: Autor, (2018).