

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

CRESCIMENTO E CONSUMO DE ÁGUA POR MANJERICÃO
(*Ocimum basilicum* L.) SOB DIFERENTES REGIMES
HÍDRICOS

Izabela Paiva Martins

Engenheira Agrícola

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

CRESCIMENTO E CONSUMO DE ÁGUA POR MANJERICÃO
(*Ocimum basilicum* L.) SOB DIFERENTES REGIMES
HÍDRICOS

Izabela Paiva Martins

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria

Coorientador: Prof. Dr Luiz Fabiano Palaretti

Dissertação apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título
de Mestre em Agronomia (Ciência
do Solo)

2016

Martins, Izabela Paiva
M379c Crescimento e consumo de água por manjerição (*Ocimum basilicum* L.) sob diferentes regimes hídricos / Izabela Paiva Martins. –
– Jaboticabal, 2017
ix, 45 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Rogério Teixeira de Faria

Coorientador: Luiz Fabiano Palaretti

Banca examinadora: Bruno Patias Lena, Rogério Falleiros
Carvalho

Bibliografia

1. Evapotranspiração. 2. Lisímetro. 3. Análise de Crescimento. 4.
Manjerição. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.67:633.88

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CRESCIMENTO E CONSUMO DE ÁGUA POR MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.) SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

AUTORA: IZABELA PAIVA MARTINS

ORIENTADOR: ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

COORDINADOR: LUIZ FABIANO PALARETTI

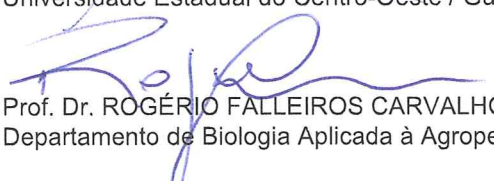
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. BRUNO PATIAS LENA
Universidade Estadual do Centro-Oeste / Guarapuava, PR (Participação por Videoconferência)



Prof. Dr. ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 22 de fevereiro de 2017.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

IZABELA PAIVA MARTINS - Nascida dia 09 de março de 1992, em Ipameri, GO. Filha de Arnaldo Felisbino Martins e Juraci Paiva Martins. Em fevereiro de 2010 ingressou no Curso de Graduação de Engenharia Agrícola pelo Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí. Foi bolsista de iniciação científica, PIBIC/CNPq, no período de agosto de 2011 a julho de 2012, sob orientação do Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza, e bolsista de graduação sanduiche pelo Programa Ciência Sem Fronteiras, no período de setembro de 2012 a agosto de 2013, estudando na Politécnico di Torino, Itália. Iniciou em março de 2015 o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus Jaboticabal-SP, na linha de pesquisa de Engenharia de Água e Solo, sob orientação do Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria e coorientação do Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, sendo bolsista CNPq. Em dezembro de 2016 foi aprovada para cursar Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade de Campinas (FEAGRI), na área de concentração de Água e Solo, na linha de pesquisa de Biorrefinarias no Reaproveitamento de Resíduos Agrícolas

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar sabedoria e força para enfrentar os dias maus, por ter me guiado até aqui, e pela alegria de poder conhecer excelentes pessoas e compartilhar de bons momentos com elas;

Aos meus pais, Arnaldo e Júlia, por acreditarem nas realizações dos meus sonhos, apoiarem minhas escolhas, e me incentivarem a jamais desistir, por mais difícil que seja o caminho;

Aos meus irmãos, Stefani, Gustavo, Gláucia e Glauciana, que mesmo achando tudo loucura, sempre me apoiaram e me proporcionaram ótimos momentos em nossos encontros;

Ao meu esposo, Davidson, pelo amor, paciência e companheirismo, mesmo estando longe, e por me incentivar a sempre lutar e conquistar o que desejo;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria, e coorientador, Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, que com dedicação e paciência, dispuseram de tempo e esforços para que este trabalho se realizasse. Obrigada pela amizade, confiança e ensinamentos;

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de mestrado concedida, e ao funcionário Luiz Cláudio da Silva, pela amizade e ajuda na execução do experimento, que Deus o abençoe sempre;

Aos meus amigos da FCAV e da Igreja Comunidade Cristã, obrigada pela amizade, companheirismo, troca de experiências e momentos de descontração, agradeço a Deus pela vida de cada um;

Aos familiares e amigos que sempre estiveram presente em minha vida, acreditando e orando por mim, muito obrigada.

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IXX
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A cultura e sua importância econômica	4
2.2 Necessidades hídricas	5
2.3 Evapotranspiração	6
2.3.1 Conceito.....	6
2.3.2 Métodos de determinação da evapotranspiração de cultivos	7
2.4 Lisímetros	8
2.4.1 Calibração de lisímetros de pesagem.....	9
2.4 Coeficiente de cultura	10
2.5 Análise de crescimento	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Características da área experimental.....	13
3.2 Condições meteorológicas e irrigações	15
3.3 Lisímetros	16
3.4 Evapotranspiração de cultura, evapotranspiração de referência e coeficiente de cultivo.....	18
3.5 Avaliações da cultura	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Lisímetros	23
4.2 Determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo	25
4.3 Análise de crescimento	30
4.4 Produtividade da água	35
5 CONCLUSÕES	37
6 REFERÊNCIAS	38
APÊNDICE	45

CRESCIMENTO E CONSUMO DE ÁGUA POR MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.) SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

RESUMO - O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta aromática, utilizada para fins medicinais e condimentares, sendo uma importante fonte de renda para pequenos agricultores. Devido à escassez de informações sobre o comportamento agrônomo da cultura, objetivou-se neste trabalho analisar o crescimento e consumo de água pela cultura do manjeriço sob diferentes regimes hídricos. O experimento foi conduzido em vasos, sob estufa agrícola, submetidos à reposição total (100%ETm) e parcial (75 e 50%ETm) da evapotranspiração máxima diária da cultura (ETm), medida por meio de lisímetros de pesagem. Os lisímetros foram previamente calibrados, apresentando linearidade e alta correlação da massa em resposta à voltagem. Foram avaliadas semanalmente, até os 49 dias após transplante, variáveis biométricas de crescimento das plantas, o consumo hídrico e o coeficiente de cultivo. A evapotranspiração acumulada da cultura para o ciclo foi de 471, 352 e 236 mm, e as taxas diárias variaram de 4,8 a 9,4; 4 a 8,1 e 3,7 a 7,4 mm dia⁻¹, para as reposições de 100, 75 e 50%ETm, respectivamente. O coeficiente de cultivo variou de 1,5 a 2,8; sendo relacionado com os dias após transplante, índice de área foliar, razão de cobertura e graus-dia acumulados. Os regimes hídricos aplicados não apresentaram efeitos estatisticamente significativos nas variáveis de crescimento da cultura, e a produtividade da água foi mais eficiente no tratamento com 50%ETm. Conclui-se que a cultura do manjeriço, quando cultivada em vaso sob estufa agrícola de superfície em alvenaria, não tem sua produção de biomassa afetada pela reposição hídrica de 50%ETm, porém apresenta valores elevados de ETc e Kc, ocasionados pelos efeitos varal e buque.

Palavras-chave: análise de crescimento, evapotranspiração, lisímetro, manjeriço

GROWTH AND WATER CONSUPTION (*Ocimum basilicum* L.) UNDER DIFFERENT WATER SYSTEMS

ABSTRACT - Basil (*Ocimum basilicum* L.) is an aromatic plant used for medicinal and seasoning purposes, being an important income source for small farmers. Due to the scarcity of information on the agronomic behavior of the crop, the The objective of this work was to analyze the growth and consumption of water by basil culture under different water regimes. The experiment was conducted in pots, under greenhouse condition, submitted to the total (100% ET_m) and partial (75 and 50% ET_m) water replacement of the maximum daily evapotranspiration of the crop (ET_m), measured by weighing lysimeters. The lysimeters were previously calibrated, presenting linearity and high correlation of the mass in response to the voltage. Biometric variables of plant growth, as well as the plant water consumption and crop coefficient were evaluated weekly, up to 49 days after transplanting. Accumulated crop evapotranspiration for the cycle was 471, 352 and 236 mm, and daily rates ranged from 4.8 to 9.4; 4 to 8,1 and 3,7 to 7,4 mm dia⁻¹, for of 100, 75 and 50% ET_m water replacment, respectively. The crop coefficient ranged from 1.5 to 2.8; being related to the days after transplanting, leaf area index, coverage ratio and cumulative degrees-day. The applied water level replacement did not present statistically significant effects on the crop growth variables, and the water productivity was more efficient in the treatment with 50% ET_m. It is concluded that the basil culture, when cultivated in a pot under masonry surface agricultural stove, does not have its biomass production affected by 50% ET_m water replacement, but it presents high values of ET_c and K_c, caused by the effects of varal and bouquet.

Key words: growth analysis, evapotranspiration, lysimeter, basil

1 INTRODUÇÃO

O manjerição (*Ocimum basilicum*) é uma planta aromática considerada um subarbusto, podendo ser cultivada de forma perene ou anual. Nativo da Ásia e introduzido no Brasil pela colônia italiana, é produzido, principalmente, por pequenos produtores para comercialização como condimento ou para fins medicinais. No Brasil, é cultivado principalmente no estado de Sergipe, onde, devido ao clima favorável, pode se desenvolver como cultura perene, fazendo-se vários cortes ao longo do ano. Já em regiões mais frias, como no sul do país, o manjerição é cultivado como cultura anual (MARQUES et al., 2015).

Seu interesse econômico se restringe à biomassa, pois são nas folhas que ocorre maior produção de óleo essencial, que tem como principal característica a alta concentração de linalol, o que é muito valorizado no mercado internacional por ser amplamente usado na indústria de cosméticos e fármacos, sendo uma alternativa geradora de emprego e renda para pequenos agricultores (MORAIS, 2006; MAY et al., 2008; EMBRAPA, 2011).

Todavia, estudos realizados na produção de plantas medicinais têm se restringido à identificação, qualificação e quantificação dos compostos químicos presentes nos óleos essenciais, enquanto que informações sobre o comportamento agrônomo dessas plantas em relação ao crescimento e desenvolvimento, técnicas de manejo agrícola e necessidades hídrica, são escassas (HUSSAIN et al., 2008; PRAVUSCHI et al., 2010).

A análise de crescimento de plantas engloba um conjunto de métodos quantitativos que descrevem e interpretam seu desempenho quando cultivadas em condições naturais ou controladas. Esse método possibilita interpretar a forma e a função da planta, por meio da utilização de dados primários simples como massa e área foliar (HUNT, 2003).

Em consequência da falta de informações necessárias, excessos ou déficits de água podem causar efeitos diretos não só no teor de fitofármacos e na composição química do óleo essencial, mas também na produção de biomassa das plantas. Estudos mostram que o estresse hídrico pode diminuir a produção de massa seca de plantas de manjerição sem afetar a qualidade do óleo essencial, entretanto, a utilização do déficit hídrico moderado pode ser benéfico para o

acúmulo de princípios ativos em plantas medicinais e aromáticas, fazendo-se necessário conhecer a correta quantidade de água a ser aplicada na cultura no sistema produtivo adotado (BLANK et al., 2006; PRAVUSCHI et al., 2010; JOSÉ, 2014).

Essa quantidade de água necessária, conhecida como evapotranspiração de cultura (ET_c), pode ser determinada pelo produto do coeficiente de cultivo (K_c), obtido experimentalmente, e da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada com variáveis meteorológicas durante o período experimental pela equação Penmann-Monteith, parametrizada segundo o método FAO- 56 (ALLEN et al., 1998). Na literatura é possível encontrar valores de K_c para várias culturas, porém, as determinações desses coeficientes para plantas medicinais e aromáticas são escassas. (ALLEN et al., 1998; MARQUES et al., 2015).

Um equipamento preciso para determinar o requerimento hídrico de cultivos é o lisímetro. Este equipamento se resume a um tanque de dimensões conhecidas preenchido com solo, no qual as plantas são cultivadas de forma a simular as condições reais do ambiente de cultivo, permitindo assim, a medição da evapotranspiração de culturas e evaporação do solo. Os lisímetros podem ser de lençol freático constante, de drenagem e de pesagem (RUIZ-PEÑALVER et al., 2015), sendo o último tido como mais preciso e confiável, desde que realizada sua calibração nas condições locais de instalação.

A calibração dos lisímetros é uma etapa importante e necessária para a obtenção da equação de calibração, sendo esta obtida pela comparação entre a adição e remoção de peso de massa conhecida e o impulso elétrico emitido pelas células de carga. Para garantir a obtenção de uma equação de calibração adequada, esta deve ser feita no local de utilização e também, garantindo o mínimo de interferência externa durante o processo (PAYERO; IRMAK, 2008). Quando esta calibração é feita de forma incorreta, interpretações inconsistentes dos valores de evapotranspiração são obtidas.

Frente à escassez de recursos hídricos decorrente do uso competitivo pelos múltiplos setores produtivos, há necessidade de pesquisas em manejo de cultivos em estufas, visando maximizar a eficiência de uso de água para a produção agrícola. Visando obter estas informações, neste trabalho objetivou-se analisar o crescimento e consumo de água de plantas de manjerição em vaso, cultivadas sob

estufa agrícola, com diferentes regimes hídricos, nas condições edafoclimáticas de Jaboticabal, SP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura e sua importância econômica

O manjerição (*Ocimum basilicum* L.) pertencente à família *Lamiaceae* é originário da Ásia (Oriente Médio) e Egito. É um subarbusto aromático de 30 a 100 cm de altura, ereto, muito ramificado, introduzido no Brasil pela colônia italiana. Multiplica-se por sementes e estacas. Sua flor é hermafrodita, mas devido a atividades de insetos, pode haver polinização cruzada entre espécies e variedades diferentes, provocando hibridação acarretando assim um grande número de subespécies, formas e variedades. Pode ser uma planta anual ou perene, dependendo do local e do manejo em que é cultivado. Em regiões quentes é cultivada como perene, permitindo vários cortes ao longo do ano; em regiões frias tem ciclo anual. É uma erva aromática, restaurativa, que alivia espasmos, baixa a febre e melhora a digestão, além de ser eficaz contra infecções bacterianas e parasitas intestinais. Sua análise química revelou a presença de taninos, flavonóides, saponinas, cânfora e no óleo essencial: timol, metil-chavicol, linalol, eugenol, cineol e pireno (LORENZI; MATOS, 2002; BLANK et al., 2005; MINAMI et al., 2007).

De acordo com o aroma, o manjerição pode ser classificado em doce, limão, cinamato ou canela, cânfora, anis e cravo. Quanto à morfologia da planta, o manjerição pode receber nomenclatura dependendo do porte (miúdo, anão ou comum), formato das folhas (folha larga, folha fina, miúdo e basilicão), tamanho e coloração da folhagem (roxo, verde). O conteúdo dos óleos essenciais pode caracterizar o manjerição em tipo europeu, francês ou doce; egípcio, reunião ou comoro; búlgario, Java ou cinamato de metila, e eugenol sendo o primeiro tipo o que contém principalmente linalol e metilchavicol (BLANK et al., 2004; EMBRAPA, 2011).

No Brasil, o manjerição tem importância econômica como fonte de óleo essencial para consumo “*in natura*” e para processamento industrial. O óleo é muito apreciado na culinária, na aromatização de alimentos, bebidas e ambientes, e também pelas indústrias farmacêuticas, de cosméticos e perfumaria (BLANK et al., 2004; ROSADO et al., 2011).

O cultivo de manjerição no Brasil é praticado, em sua maioria, pela agricultura familiar, voltada para comercialização de folhas verdes aromáticas. Por se tratar de

uma espécie que se desenvolvem melhor em regiões de climas quentes e amenos, como o nordeste do país, o cultivo de manjerição constitui alternativa geradora de emprego e renda para os pequenos agricultores. Apesar da importância cultural e socioeconômica que as plantas medicinais e aromáticas representam para algumas regiões brasileiras, principalmente a Região Nordeste, onde se concentram as áreas produtoras voltadas para o consumo "*in natura*" e produção de óleo essencial, ainda são poucos os investimentos e pesquisas voltados para o cultivo dessas espécies (MAY et al., 2008; ; LUZ et al., 2009; PEREIRA; MOREIRA, 2011).

A produção comercial de óleos essenciais depende essencialmente de três fatores: da produção de biomassa, do rendimento de óleo essencial e da sua composição química, frequentemente relatada como características bastante variáveis (YAMAMOTO, 2006).

Com incentivos às pesquisas voltadas para a produção das plantas medicinais e o aumento das pesquisas científicas no setor farmacêutico, o mercado das distintas espécies de manjerição é promissor, visto que, internacionalmente o óleo essencial é comercializado em US\$ 110,00 por litro (AZEVEDO, 2008; MAY et al., 2008).

2.2 Necessidades hídricas

A água atua como solvente nos processos bioquímicos das plantas e em tecidos metabolicamente ativos chega a constituir de 80 a 95% da massa verde. Uma vez absorvida pelas raízes, a água também atua nos processos de transporte de nutrientes, equilíbrio de temperatura, eliminação e desintoxicação de formas de oxigênio reativo, transporte de gametas e na fotossíntese (KERBAUY, 2013).

A época e local de cultivo, a duração do ciclo fenológico e a espécie cultivada, determinam as necessidades hídricas de uma cultura, e sua determinação é importante para a correta reposição da quantidade de água.

A demanda hídrica do manjerição pode variar de 70 a 600 mm por ciclo de crescimento, sendo este valor dependente da variedade escolhida, do clima local e do manejo da cultura. É uma cultura considerada intolerante ao estresse hídrico, o que torna necessária a irrigação para regiões de clima muito quente e seca. A cultura adapta-se a irrigações por sulco, aspersão e gotejamento, sendo o último método a melhor opção devido à economia de água. O turno de rega varia de 4 a 10

dias, e é dependente da combinação dos fatores de clima da região, sistema de irrigação e profundidade efetiva das raízes (JOSÉ, 2014; MARQUES et al., 2015).

2.3 Evapotranspiração

2.3.1 Conceito

A evapotranspiração (ET) é a soma da evaporação da água superficial, da vegetação úmida e do solo, e da transpiração das plantas, que é o principal componente de saída do balanço hídrico. Sua quantificação pode ser afetada por fatores ambientais, características da cultura e parâmetros meteorológicos como, radiação, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento (ALLEN et al.1998).

A evaporação é um processo que consiste na transformação da água do estado líquido para vapor, sendo removida das superfícies evaporantes, como rios, lagos, superfícies do terreno e vegetação morta úmida. Para que ocorra evaporação é necessário haver energia, a qual provém da radiação solar considerada o principal elemento climático que controla a evapotranspiração quando a água não é fator limitante. A evaporação depende da diferença entre a pressão do vapor de água na superfície evaporante e na atmosfera, causada pela movimentação frequente das massas de ar que envolvem a superfície (ALLEN et al., 1998).

A transpiração é um processo biofísico de transferência através dos estômatos, da água utilizada pela planta em seu metabolismo, para a atmosfera. Como a evaporação, a transpiração depende da diferença de pressão de vapor entre o vegetal e a atmosfera e também do vento. Fatores como a capacidade do solo em conduzir a água, características da cultura e seu estágio de desenvolvimento, também influenciam o processo (ALLEN et al., 1998)

Para que os processos de evaporação e transpiração ocorram simultaneamente, a superfície precisa ser vegetada e a mensuração isolada dos dois processos é difícil. Logo após o plantio, a superfície vegetada ainda é muito pequena, prevalecendo o componente de evaporação. Com o aumento da área foliar da cultura, aumenta-se a cobertura do solo pela planta, e então o componente de transpiração passa a ser o responsável por até 90% da água evapotranspirada (ALLEN et al., 1998; VIANA et al. 2003).

Diferentes conceitos de evapotranspiração são empregados na literatura. Em 1944, Thornhwaite introduziu o termo evapotranspiração potencial (ETp), considerado um elemento fundamental que representa a chuva necessária para

atender a demanda de água da vegetação. Segundo esses autores, a ET_p é o processo de evaporação e transpiração de um gramado, sem restrições hídricas. O boletim 24 da FAO define o termo ET_p como a referência na estimativa das necessidades hídricas das culturas conceituando-o como evapotranspiração de referência (ET_o) (DOORENBOS; PUITT, 1977; CAMARGO; CAMARGO, 2000).

Allen et al. (1998) definem a ET_o como sendo a transferência de água para a atmosfera de uma superfície sob vegetação hipotética, com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica de 70 m s^{-1} , sem sofrer efeito advectivo, albedo de 0,23, semelhante à grama em pleno crescimento vegetativo, cobrindo totalmente o solo, com boa umidade, adequadas condições de desenvolvimento e em crescimento ativo, livre de pragas e doenças, com disponibilidade hídrica e de nutrientes adequados.

A determinação da ET_o possibilita calcular o consumo hídrico de áreas cultivadas e a vazão de bacias hidrográficas. O consumo hídrico de cultivos é determinado pelo produto entre ET_o , determinado para a local de interesse, e o coeficiente de cultivo (K_c), obtido experimentalmente para o cultivo, conforme a relação (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; MANTOVANI, BERNARDO; PALARETTI, 2013):

$$ET_c = K_c ET_o$$

sendo, ET_c - evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ; K_c - coeficiente de cultivo, adimensional e ET_o - evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} .

Quando a cultura se desenvolve sem restrição hídrica define-se a evapotranspiração máxima de cultivo (ET_m).

2.3.2 Métodos de determinação da evapotranspiração de cultivos

Os métodos que estimam a ET_o de uma localidade utilizam dados climatológicos e, ou coeficientes de ajuste, que na maioria das vezes necessitam de calibração e nem sempre estão disponíveis ao usuário, dificultando sua aplicação. Em consequência ao desenvolvimento tecnológico, melhorias têm sido realizadas para determinar a evapotranspiração, porém a aquisição de equipamentos é ainda de alto custo e demanda trabalho especializado.

A utilização de equações ou modelos matemáticos constitui-se em métodos indiretos para determinar a ET_o . A escolha do método de estimativa depende da disponibilidade de dados meteorológicos, da escala de tempo requerida e das

condições climáticas do local. O método de Penman-Monteith, padronizado pelo método FAO-56 (ALLEN et al., 1998) é considerado o padrão na estimativa da ETo .

A estimativa pelo método climatológico da ETc , que reflete a demanda hídrica de um determinado cultivo, desenvolve-se em duas etapas. Primeiramente estima-se ou determina a ETo e, na sequência, introduz-se o Kc que integra as características da cultura, variando de acordo com a fase fenológica, clima local e método de irrigação empregado. Medições diretas da ETc podem ser feitas por meio da lisímetria, que embora onerosa, é precisa no espaço no tempo. Ademais, a determinação da ETc via lisímetria e sua relação com a ETo estimada pelos métodos citados acima, resulta no Kc da cultura em estudo (FARIA; CAMPECHE; CHIBANA, 2006; BERNARDO; MANTOVANI; SOARES, 2009).

2.4 Lisímetros

Lisímetros são tanques de concreto ou de metal, contendo solo da área de interesse, utilizados principalmente para medir componentes do balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera. Apresentam superfície coberta ou nua, podendo ter diversas formatos e diferentes sistemas de medida, como: lençol freático constante, drenagem e pesagem.

Os lisímetros de lençol freático constante são muito utilizados e apresentam facilidade de manuseio, em que a evapotranspiração do cultivo de interesse é determinado pelo volume de água que sai do sistema que alimenta o lisímetro. Os lisímetros de drenagem são tanques instalados diretamente no solo no qual determinam a evapotranspiração da cultura pela diferença entre a água de irrigação aplicada e a água de drenagem que sai do lisímetro. Em função disto, estes lisímetros apresentam uma abertura na parte inferior do tanque em que a água em excesso é canalizada por um sistema de coleta de água de drenagem, também conhecida como fosso de observação. Possuem baixo custo de implantação por não apresentar sistema de pesagem, quando comparados aos lisímetros de pesagem. Recomenda-se sua utilização por longos períodos (cerca de 10 dias), para um funcionamento adequado (BERNARDO; MANTOVANI; SOARES, 2006; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Os lisímetros de pesagem incluem sistema medição que determina a variação de massa por meio de células de carga em função da entrada (precipitação e irrigação) e saída (drenagem e escoamento superficial) de água no solo. É

considerado o tipo mais preciso para obtenção direta da evapotranspiração. Devido à sua precisão de medida, é considerado instrumento padrão para determinar evapotranspiração de referência, possibilitando medidas automatizadas em curto intervalo de tempo (BERNARDO; MANTOVANI; SOARES, 2006; FARIA; CAMPECHE; CHIBANA, 2006). Faria, Campeche e Chibana (2006) construíram lisímetros de pesagem precisos para detectar mudanças de massa de 0,1 mm, em intervalos menores que 1 h, sendo considerado adequado para a maioria das aplicações em campo.

Por ser um método caro, trabalhoso e exigente em mão de obra especializada, o lisímetro de pesagem tem uso preferencial em experimentos, não sendo recomendado para manejo da irrigação em pequenas propriedades rurais.

Alguns fatores ambientais e de projeto podem afetar as medidas lisimétricas, tais como advecção de áreas vizinhas, espessura e distância das paredes internas e externas, dimensões, diferença de altura e densidade da cultura dentro e fora do lisímetro (CAMPECHE et al., 2011). A determinação da evapotranspiração também pode ser prejudicada, devido à dificuldade de manter as condições dentro dos lisímetros iguais ou semelhantes às condições externas. Quando há maior crescimento das plantas internas ao lisímetros, ultrapassando as bordas do instrumento, ocorre o fenômeno denominado “efeito buquê”. Segundo Amorim (1998) o crescimento excedente, quando comparado com grama fora da área do lisímetro, pode acarretar a interceptação de mais de 40% da radiação solar incidente.

2.4.1 Calibração de lisímetros de pesagem

A calibração do lisímetro é um dos passos mais importantes após sua construção e instalação em campo, e tem como objetivo principal a determinação da relação entre o sinal de saída da célula de carga (output) e a massa do lisímetro. Recomenda-se calibrar o lisímetros *in situ* por meio da adição e retirada de massa conhecida, com a finalidade de verificar a linearidade e histerese das células de carga (CAMPECHE et al., 2011).

A calibração assegura a confiabilidade de um instrumento de medição. Erros de medida como exatidão, precisão, sensibilidade e resolução, envolvem a calibração e a coleta de dados em lisímetros de pesagem, os quais são utilizados para qualificar os dados analisados. Em cada lisímetro instalado, no momento da

calibração, obtém-se uma equação própria devido à ocorrência de variações do extensômetro elétrico de cada célula de carga e do peso morto (inicial), correspondente à massa dos componentes e do solo do lisímetro. Quando a calibração é realizada inadequadamente, medidas inconsistentes de evapotranspiração são obtidas (CAMPECHE, 2002; FARIA; CAMPECHE; CHIBANA, 2006; CAMPECHE et al., 2011).

A calibração de lisímetros de pesagem é realizada por meio de acréscimos e retiradas de massas-padrão do sistema, com a finalidade de obter a equação linear que relaciona o impulso elétrico das células de carga (em mv) com a massa (kg), e verificar a linearidade e histerese das medidas. Em estudos de construção e calibração de lisímetros de pesagem realizados por Faria, Campeche e Chibana (2006), Campeche et al. (2011) e Mariano et al. (2015), obtiveram linearidade na relação entre as massas-padrão e as leituras das células de carga, com valores de coeficiente de determinação variando de 0,99 e 1,00 e apresentaram adequada sensibilidade na escala horária na detecção de variação de massa para irrigação e evapotranspiração.

A precisão dos lisímetros pode ser influenciada pela posição das células de carga no sistema, variação de temperatura e instabilidades no sinal elétrico, alterando os valores horários de evapotranspiração (ALLEN et al., 1991).

2.4 Coeficiente de cultura

Para a determinação do consumo de água de culturas em condições específicas, é necessário determinar o coeficiente de cultura (K_c), que varia de acordo com o desenvolvimento fenológico da cultura. K_c é um parâmetro que tem relação com os fatores ambientais e fisiológicos das plantas sendo, preferencialmente, determinado para as condições locais em que será utilizado, necessitando de pessoal técnico especializado, equipamentos e custos. Normalmente, para a determinação de K_c ao longo do ciclo de uma cultura, são utilizados lisímetros (MEDEIROS; ARRUDA; SAKAI, 2004).

Pesquisas têm demonstrado que ET_c não pode ser determinada com base em um valor de K_c único, pois o mesmo deve ser determinado para cada estágio de desenvolvimento da cultura. Flumignan (2011) destaca que a maioria dos efeitos dos fatores meteorológicos se encontra incorporada no valor de ET_o , e que o valor de K_c varia, principalmente, em função das características de cultivo. Allen et al. (1998)

acreditam que isso permita a utilização dos valores de K_c entre distintas regiões geográficas e climas, sendo aceito e utilizado a metodologia que emprega K_c .

A partir de valores de K_c determinados ao longo do ciclo de uma cultura, é possível traçar uma curva de K_c , em função da duração de cada estágio dessa cultura. Os valores de K_c também podem ser relacionados com dias após emergência, soma térmica acumulada ou índice de área foliar, possibilitando a utilização desses valores no manejo de irrigação (SILVA, 1999).

O valor de K_c permite determinar apenas os valores de ET_c , representando o limite máximo de evapotranspiração esperado para a cultura em condições consideradas ótimas de cultivo, ou seja, quando não há interferência no crescimento devido a limitações de água, densidade de cultivo, pragas, doenças e salinidade em excesso (PEREIRA, 2006).

2.5 Análise de crescimento

O termo análise de crescimento refere-se a um conjunto de métodos quantitativos que descrevem e interpretam o desempenho dos componentes de plantas cultivadas em condições controladas ou naturais. Esses métodos possibilitam interpretar a forma e a função da planta, por meio da utilização de dados primários simples como massa e área foliar (HUNT, 2003).

A partir de dados de crescimento é possível estimar as causas de variações de crescimento entre plantas crescendo em ambientes diferentes ou geneticamente diferentes. Para a agronomia, a análise de crescimento é importante para se conhecer as diferenças funcionais e estruturais, e selecionar cultivares ou espécies que se desenvolvem sob diferentes condições de cultivo (PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011).

As medidas utilizadas na análise de crescimento podem ser lineares (altura da planta, diâmetro de caule, comprimento e largura das folhas, etc.), estruturais (número de folhas, flores, raízes e fruto), de superfície (superfície fotossinteticamente ativa da planta), área foliar, matéria fresca e seca (BENINCASA, 2003; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011).

Por meio de fórmulas matemáticas ou gráficos, e utilizando as medidas obtidas durante o ciclo da cultura, é possível determinar os parâmetros de análise de crescimento. A Taxa de Crescimento de Cultura (TCC), é utilizada para determinar a velocidade média de crescimento da cultura ao longo do ciclo. A Taxa de

Crescimento Relativo (TCR), reflete o aumento da matéria seca da planta em um determinado período, em função do material preexistente. A Taxa Assimilatória Líquida (TAL), representa o incremento de fitomassa por unidade de área foliar. Razão de Área Foliar (RAF), é a área útil da planta para fotossíntese, ou seja, a relação entre área foliar e o peso da matéria seca total da planta. Índice de Área Foliar (IAF), que é a área foliar total por unidade de área do terreno, sendo um indicador da superfície disponível para interceptação e absorção de luz (GARCIA et al., 2008; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área experimental

O estudo foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, no Setor de Plasticultura, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural (Latitude 21°15'22"S, Longitude 48°18'58"W, Altitude 595 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical, com precipitação de 1.340 mm, concentrada no verão, e temperatura média anual de 21,7 °C, com verão quente e inverno ameno (CEPAGRI, 2016).

O experimento ocorreu no período de 22/10/2016 a 09/12/2016, em estufa do tipo capela não-climatizada, com superfície de alvenaria. Os tratamentos consistiram de três regimes hídricos, sendo um com reposição total (100%ETm) e dois com reposições parciais (75%ETm e 50%ETm) da evapotranspiração máxima da cultura (ETm), determinada diariamente por quatro lisímetros de pesagem. Cada tratamento teve 26 repetições, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, sendo cada repetição constituída de um vaso.

Foram utilizadas mudas de manjeriço da cultivar Folha Larga, obtidas de um fornecedor da região, com 35 dias após a semeadura. Foram transplantadas em vasos de polietileno preto da marca Nutriplan de 12 dm³, espaçados de 0,3 m e preenchidos com um substrato formado por terra de barranco e torta de filtro (Apêndice A). O substrato utilizado (Tabela 1) foi classificado com textura argilosa com 58% de argila, 29% de silte e 13% de areia.

A adubação foi realizada no dia do transplântio e aos 20 e 40 dias após transplântio (DAT), conforme recomendação de MALAVOLTA (1980) para vasos, correspondente à dose de 300-200-150 mg L⁻¹ de N-P-K. As fontes dos nutrientes foram ureia (45% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O) e supersimples (18% de P₂O₅).

Tabela 1. Análises química e física do solo utilizado.

pH CaCl ₂	P						H+Al		Soma	Sat		Sat
	M.O.	Resina	S	Ca	Mg	K	Al	SMP	Bases	CTC	Bases	Al
	g dm ⁻³	-mg dm ⁻³ -	-----mmol _c dm ⁻³ -----						-----		V%	m%
6,3	18	148	6	82	23	3,8	1	13	108,8	121,8	89	1

Micronutrientes					Textura	
B	Cu	Fe	Mn	Zn		
-----mg dm ⁻³ -----						
0,18	0,6	4	0,4	0,4	Argilosa	

pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: matéria orgânica; P: fósforo; S: enxofre; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Al: alumínio; H+Al: acidez; CTC: capacidade de troca de cátions; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco

A determinação do armazenamento de água disponível do solo do lisímetro e os valores de umidade de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente foi realizada em três lisímetros antes da instalação da cultura. Saturou-se o solo e, depois de cessada a drenagem, iniciou-se um ciclo de secamento até que a variação de armazenamento tornou-se desprezível. A variação de armazenamento encontrada foi de 80 mm (Figura 1).

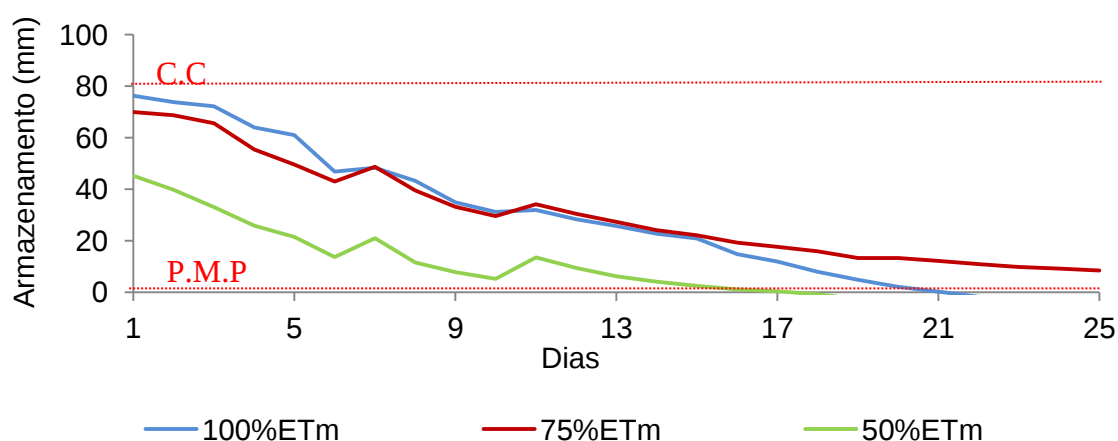


Figura 1. Água disponível no solo do lisímetro. C.C - Capacidade de campo e P.M.P - Ponto de murcha permanente.

3.2 Condições meteorológicas e irrigações

As condições meteorológicas no interior da estufa foram monitoradas por uma estação meteorológica composta por sensores de radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar, conectados a um sistema de aquisição e armazenamento de dados, Datalogger (modelo CR10X, marca Campbell Scientific). A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pela equação de Penman-Monteith parametrizada pelo método FAO-56 (ALLEN et al., 1998), fornecida pelo próprio Datalogger.

As condições meteorológicas prevalentes durante o período experimental são apresentadas na Figura 2. A temperatura e umidade relativa média variaram de 19,5 a 28 °C, 55,7 e 99,5%, respectivamente, a radiação solar de 8,14 e 22,17 MJ m⁻² dia⁻¹ e ET_o de 0,5 a 4,7 mm dia⁻¹. Temperaturas ótimas para crescimento do manjerição situam-se entre 15 e 25 °C (ALMEIDA, 2006).

As irrigações foram aplicadas duas vezes na semana por um sistema de gotejamento com emissores autocompensados (Modelo clickTif HD, Marca NaanDanJain), com vazão de 8 L h⁻¹, aos quais foram conectadas quatro estacas de 2 L h⁻¹ cada. Para se conseguir a variação das lâminas de reposição, o sistema de irrigação foi dividido em dois ramais, um ramal para irrigar simultaneamente os tratamentos 100%ET_m e 50%ET_m, e o segundo ramal para o tratamento 75%ET_m, sendo instaladas, em cada vaso, duas estacas para as irrigações de 100 e 75%ET_m, e uma para a irrigação de 50%ET_m (Apêndice E).

A lâmina bruta de irrigação do tratamento 100%ET_m foi calculada pela média diária dos valores de ET_m dos quatro lisímetros conduzidos com irrigação plena, dividido pela eficiência do sistema de irrigação localizada de 92%, como proposto por BERNARDO, SOARES E MANTOVANI (2008). Os demais tratamentos receberam 75% e 50% desse valor, totalizando 471, 354 e 236 mm para os tratamentos 100%ET_m, 75%ET_m e 50% ET_m, respectivamente, durante o período experimental (Figura 1C).

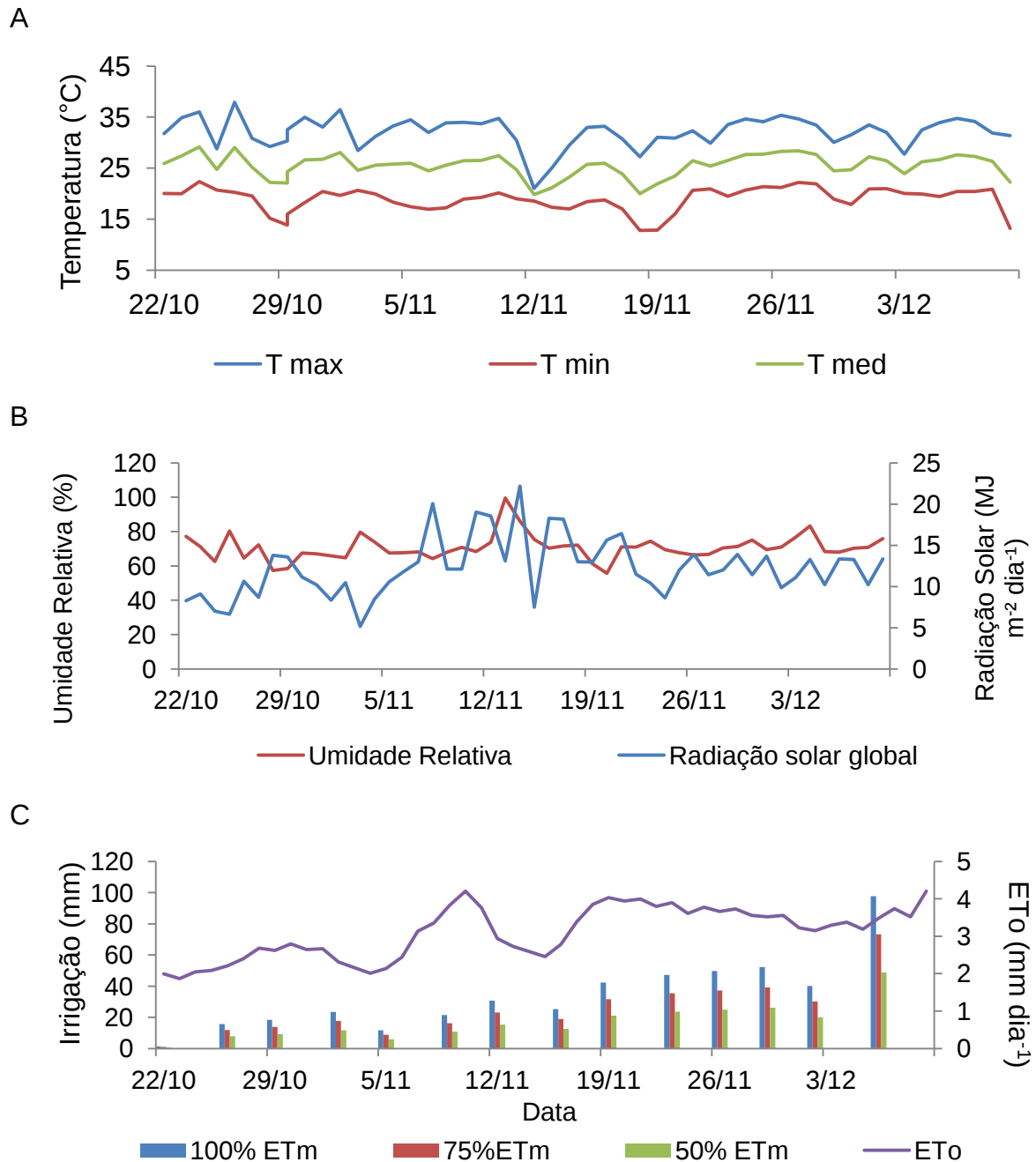


Figura 2. Temperaturas máxima, mínima e média (A), umidade relativa do ar e radiação solar (B), evapotranspiração de referência (ETo) e irrigação aplicada para os tratamentos com reposição total (100%ETm) e parciais (75%ETm e 50%ETm) (C) da evapotranspiração máxima diária, durante o período experimental.

3.3 Lisímetros

Os lisímetros apresentavam 30 cm de diâmetro e 30 cm de profundidade e foram preenchidos com solo até 2 cm da borda. Colocou-se uma manta do tipo bidim no fundo do tanque do lisímetro para prevenir a perda de solo no sistema de

drenagem. O solo utilizado, obtido localmente, foi peneirado e colocado em cada lisímetro promovendo-se leve compactação de magnitude semelhante à densidade do solo original. O sistema de drenagem dentro do lisímetro foi construído de brita, areia e terra, colocados em camadas sequenciais totalizando 5 cm. Para escoamento da água de drenagem, uma mangueira foi instalada ao fundo do lisímetro, sendo mantida presa pra cima; ao abaixá-la, a água drenada era coletada por uma proveta de 500 mL (Apêndice B).

A massa de cada lisímetro foi registrada por uma célula de carga modelo GL 50 da empresa Alfa Instrumentos Eletrônicos S.A com capacidade de 50 quilogramas e precisão de 0,57 mm. As células de carga dos 12 lisímetros foram conectadas ao sistema de aquisição de dados, composto por um multiplexador de canais diferenciais (AM 416 Relay Multiplexer, Campbell Sci., Logan – USA) e um datalogger (CR10X Campbell Sci., Logan – USA). O sistema foi energizado por uma bateria de 12 V ligada a uma placa solar para garantir o suprimento de energia. Os dados armazenados foram transferidos para um módulo de memória, utilizando-se como interface o programa PC200W, e depois para uma planilha eletrônica em um computador.

A calibração foi realizada conforme metodologia proposta por Campeche (2002), com os lisímetros cobertos com plástico para evitar variação de massa por evaporação. Foram realizadas cargas e decargas com sacos de areia de massa conhecida até 25 equivalentes-milímetro. Foram utilizadas massas padrões para representar 1 e 5 equivalente-milímetro de lâmina de água, confeccionados com sacos plásticos preenchidos com areia, fechados hermeticamente e pesados em balança de precisão de 0,01 g. Para se obter 5 equivalentes-milímetro foram utilizados 4 sacos de 0,35 kg, dividindo-se pela área do lisímetro ($0,070686 \text{ m}^2$); para 1 equivalente-milímetro foram utilizados 5 sacos de 0,07 kg, dividindo-se pela área do lisímetro, somando um total de 25 mm para cada lisímetro.

As leituras de voltagem tiveram início com os lisímetros descarregados (preenchidos apenas com solo). A seguir, foram acrescentados e retirados as massas padrões em intervalo de 2 minutos. As leituras foram realizadas a cada 3 segundos, obtendo-se a média a cada 30 segundos, com opção para alta resolução como voltagem de excitação (input range de 7,5 mV e 2.500 mV). A primeira média de leitura para cada massa foi desconsiderada, devido a oscilações provocadas pela variação de massa. Foram acrescentadas as massas de 5 mm sequencialmente até

atingir 20 mm, seguidos de acréscimos de 1 mm até atingir 25 mm. A remoção das massas ocorreu de forma inversa aquela do acréscimo. As leituras foram repetidas 4 vezes, e para o resultado final, foi feito uma média das repetições.

A exatidão dos lisímetros foi determinada pelo erro absoluto (E) (Equação 1), que é a dispersão dos valores de massa estimada em relação à massa observada, pelo coeficiente de determinação (R^2), obtida pela regressão linear realizada para cada lisímetro, e pelo índice de concordância (d) (Equação 2) proposto por Willmott (1992), sendo que este varia de 0 a 1, e quanto mais próximo o resultado de 1 mais perfeita é a concordância entre os valores estimados e observados.

$$E = Y_{obs} - Y_{est} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum(Y_{obs} - Y_{est})^2}{\sum(|Y_{est} - \bar{Y}_{obs}| + |Y_{obs} - \bar{Y}_{obs}|)^2} \quad (2)$$

em que Y_{obs} são os valores das massas padrão utilizadas para a calibração dos lisímetros; Y_{est} são os valores obtidos na calibração, em resposta à voltagem das células de carga; $\bar{Y}_{obs}$ são os valores médios das massas padrão utilizadas para a calibração dos lisímetros.

3.4 Evapotranspiração de cultura, evapotranspiração de referência e coeficiente de cultivo

A evapotranspiração de cultura ET_c foi determinada para as reposições hídricas de 100, 75 e 50% da ET_m . Cada tratamento possuía 4 lisímetros de pesagem para monitoramento, dispostos entre os vasos, contendo uma planta, afim de manter as mesmas características dos vasos. A contabilização da ET_c diária foi contabilizada pela Equação 3:

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

em que ΔA_{arm} – variação do armazenamento de água no solo, P - precipitação, I - irrigação, ET_c - evapotranspiração de cultura, D - drenagem, todos em mm. A Por ser ambiente protegido, a precipitação foi nula.

As variáveis meteorológica foram medidas por uma estação meteorológica instalada dentro do ambiente protegido e armazenados em um datalogger CR10X, o qual foi programado para calcular a evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith parametrizada por ALLEN et al. (1998).

$$ET_o = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (4)$$

em que ET_o – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); s – declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n – radiação líquida total ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G – fluxo total de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); γ – constante psicrométrica = $0,063 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; T – temperatura média ($^\circ\text{C}$); U_2 – velocidade do vento (m s^{-1}) a 2 m de altura da superfície do solo; e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão parcial de vapor (kPa).

A estimativa dos coeficientes de cultura (K_c) ao longo do ciclo de cultivo foi obtida pela relação entre a ET_m média dos lisímetros de 100% ET_m , e a ET_o calculada pelo método de Penman-Monteith (Equação 5).

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o} \quad (5)$$

em que: K_c - coeficiente de cultura, adimensional; ET_m - evapotranspiração máxima da cultura, mm dia^{-1} ; ET_o - evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} .

3.5 Avaliações da cultura

As avaliações de crescimento de plantas foram realizadas em três repetições por tratamento, semanalmente, com início aos quatorze dias após o transplante (DAT) e término aos 49 DAT, totalizando 6 avaliações durante o ciclo. O início do período de floração ocorreu aos 21 DAT, atingindo plena floração aos 42 DAT.

A altura da planta foi medida com auxílio de uma régua graduada em mm, medindo-se a distância desde o solo até a folha ou flor mais alta. O diâmetro do caule foi medido com paquímetro digital abaixo do primeiro internódio. As massas frescas de folhas (MFF) e caules (MFC) foram obtidas com balança digital com precisão de 0,01 g e, após a pesagem, o material foi seco em estufa a 70°C por 48 h para determinação da massa seca das folhas e do caule (MSF e MSC).

A área foliar foi estimada por medidas de comprimento e largura de cinco folhas tomadas aleatoriamente nas plantas de cada tratamento, conforme a Equação 6:

$$AF = AF_{med} \times FF \quad (6)$$

em que, AF é a área foliar (cm^2), AF_{med} é a média do produto C e L das cinco folhas (cm^2) e FF é o fator forma de área foliar (adimensional). O valor de FF foi igual a 0,6775, obtido pela regressão entre os valores do produto de C e L , medidos em 60

folhas de manjeriço coletadas aleatoriamente de plantas aos 47 DAT, e os valores medidos de área foliar das mesmas folhas por um integrador de área foliar de bancada (modelo LI-3100, marca LI-COR), conforme e apresentado na Figura 2.

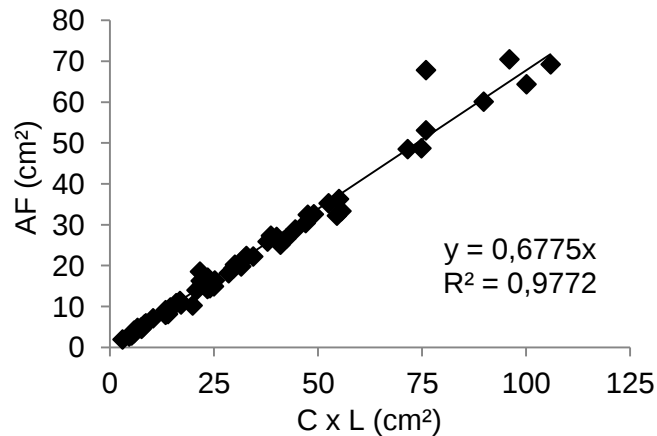


Figura 3. Fator forma para a área foliar, dado pela correlação do produto de comprimento (C) e largura (L) de folhas de manjeriço e área foliar (AF) medida por um integrador de área foliar (LI-COR, modelo LI-3100).

A razão de cobertura (Rc) foi determinada semanalmente, a partir de 14 dias após transplântio (DAT), com o auxílio do aplicativo de celular Canopeo® (PATRIGNANI; OCHSNER, 2015) (Apêndice C). Esse aplicativo calcula, por análise de imagens, o quanto da área útil para desenvolvimento da cultura que já foi utilizado. Para isto, foi construído um gabarito de PVC marrom de 0,6 x 0,6 m (3600 cm²), o qual limitava a área útil para a cultura, e após realizada a coleta de imagens para a determinação da porcentagem (Apêndice D).

Para quando a ETc foi superestimada, mostrou-se necessário calcular um fator de correção (Fc). Para tal, foi determinada a área da copa dividindo a razão de cobertura pela área útil para a cultura (3600 cm²). Logo após, realizou-se a razão entre a área da copa e a área do lisímetro (706,9 cm²), determinando os valores do fator de correção. Este fator foi obtido semanalmente, havendo assim a necessidade de realizar uma interpolação para a obtenção dos valores diários (Equação 7). Quando Fc foi igual ou superior a 1, a área foliar da cultura excedeu a área do lisímetro, superestimando ETc, sendo necessário realizar a correção por meio da relação entre ETc e Fc.

$$F_c = \frac{(d_2 - d_1)(F_f - F_i)}{D} + F_i \quad (7)$$

em que: Fc - Fator de correção; d2 - dia atual; d1: dia do início da semana; Ff - fator obtido pela relação área da copa / área do lisímetro na semana seguinte; Fi - fator obtido pela relação área da copa / área do lisímetro na semana anterior; D - dias do período analisado.

Com os dados de área foliar e massa seca total foram calculadas as seguintes variáveis biométricas durante o período experimental:

taxa de crescimento da cultura (g m⁻² dia⁻¹)

$$TCC = \frac{MST\ t2 - MST\ t1}{t2 - t1} \quad (8)$$

taxa de crescimento relativo (g g⁻¹ dia⁻¹)

$$TCR = \frac{TCC}{MST} \quad (9)$$

índice de área foliar (adimensional)

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (10)$$

taxa de assimilação líquida (g m⁻² dia⁻¹)

$$TAL = \frac{TCC}{IAF} \quad (11)$$

e razão de área foliar (cm² g⁻¹)

$$RAF = \frac{AF}{MST} \quad (12)$$

sendo S a área disponível para a cultura (3600 cm²), MST a massa seca total (g), t1 e t2 são data inicial e final do período (dia), respectivamente e AF a área foliar da planta, (cm²).

A produtividade da água ao final do ciclo para produção de massa fresca (PA_{MFF}) e massa seca (PA_{MSF}) foi calculada para os tratamentos de 100, 75 e 50%ETm pela relação entre massa fresca e seca das folhas (kg) e volume de água aplicado (V, em m³), como proposto por Martin (2012), ou seja:

$$PA_{MFF} = \frac{MFF}{V} \quad (13)$$

e

$$PA_{MSF} = \frac{MSF}{V} \quad (14)$$

Os resultados de crescimento de plantas foram analisadas estatisticamente pelo programa AgroEstat ao nível de significância de 1%. As variáveis calculadas não foram analisadas estatisticamente, pois não é possível afirmar que as mesmas

obedeçam pressuposições básicas para esse tipo de análise (BANZATTO; KRONKA, 1989; BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

Calculou-se a soma térmica acumulada (graus dia, GD), como proposto por Villa Nova, Pedro Júnior e Ometto (1972), para caracterizar as exigências térmicas da cultura e auxiliar na utilização do Kc, relacionando o seu desenvolvimento com a temperatura do meio.

$$GD = (T_m - T_b) + \frac{T_M - T_m}{2}; \text{ se } T_m > T_b \quad (15)$$

$$GD = (T_M - T_b)^2 + (T_M - T_m); \text{ se } T_m < T_b \quad (16)$$

$$GD = 0; \text{ se } T_b > T_M \quad (17)$$

em que: GD é graus-dia, TM é temperatura máxima diária (°C), Tm é temperatura mínima diária (°C) e Tb é temperatura basal de 10,9°C (MARQUES et al. 2015).

No dia 06/11/2016 (17 DAT) ocorreu uma forte tempestade, afetando a estrutura da estufa e descobrindo o local onde o experimento foi instalado. Após, os vasos e lisímetros foram transferidos de lugar de modo a não interferir na condução da pesquisa. Os dados obtidos nos dias 06 e 07/11/2016 (17 e 18 DAT) foram desconsiderados, pois os lisímetros receberam grande quantidade de água, afetando sua leitura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Lisímetros

Os dados de calibração foram lineares para os 12 lisímetros, mostrando correlação significativa ($R^2 = 0,999$) em todos entre massa e voltagem (Tabela 1). A precisão para pesagem de variação de massa pode ser constatada devido à baixa variação do erro absoluto (E), que variou de 0,03 a 0,54 mm, e pelo índice de concordância d, que foi 0,999 para todos os lisímetros. Esses resultados demonstram a alta concordância entre os valores observados e estimados.

Os coeficientes angulares e lineares variaram de 762,78 a 1187,8 mm mV^{-1} e -444,99 a -798,00 mm, respectivamente. Segundo Faria et al. (2006), essas diferenças nos valores ocorrem devido, principalmente, às características específicas do extensômetro elétrico de cada célula de carga e mecanismos de transmissão de força para o coeficiente angular, e à massa estática (peso morto) de cada conjunto, para o coeficiente linear. A similaridade nos valores dos coeficientes angulares dos doze lisímetros indica uniformidade no sistema de pesagem dos mesmos (MARIANO et al., 2015).

O lisímetro 4 foi o que mostrou menor precisão para determinação de variações de massa, dado seu erro absoluto de 0,54 mm, porém esse valor não interferiu na sua capacidade de monitorar dados. Na Figura 4 é possível observar a variação horária da massa durante 4 dias do mês de julho de 2016. Nesse período não foi realizada drenagem, sendo que a variação de massa ocorreu somente pela evaporação do solo (totalmente descoberto), que foi de 3,16, 2,37, 0,79 e 3,16 mm, para os respectivos dias. No terceiro e quarto dia foram realizadas irrigações de 2,37 e 7,91 mm, respectivamente. Nota-se que a variação das medidas ocorre a cada 0,79 mm evaporado, sendo esta a precisão da célula de carga. Os demais lisímetros mostraram leituras exatas, sendo o lisímetro 9 o de maior exatidão ($E = 0,03$ mm) e precisão ($R^2 = 0,99$). Esses resultados revelam que as equações de regressão são adequadas, os lisímetros não apresentam histerese, e são habilitados para a determinação de evapotranspiração de cultivo.

Tabela 2. Coeficientes angular e linear (a e b) da equação do lisímetro*, erro absoluto (E), coeficiente de determinação (R^2) e índice de concordância de Willmott (d).

Lisímetro	a	b	R^2	E (mm)	d
1	790,83	-547,64	0,99	0,21	0,99
2	779,39	-550,05	0,99	0,11	0,99
3	771,66	-536,56	1,00	0,05	0,99
4	1187,80	-798,00	0,99	0,54	0,99
5	797,43	-549,18	0,99	0,13	0,99
6	794,47	-562,39	0,99	0,09	0,99
7	954,39	-523,93	0,99	0,42	0,99
8	810,14	-528,12	0,99	0,18	0,99
9	796,75	-576,45	1,00	0,03	0,99
10	762,78	-444,99	0,99	0,37	0,99
11	793,16	-559,81	0,99	0,14	0,99
12	784,35	-499,99	0,99	0,07	0,99

* $y = a x + b$, sendo y a massa (mm) e x o sinal elétrico (mV)

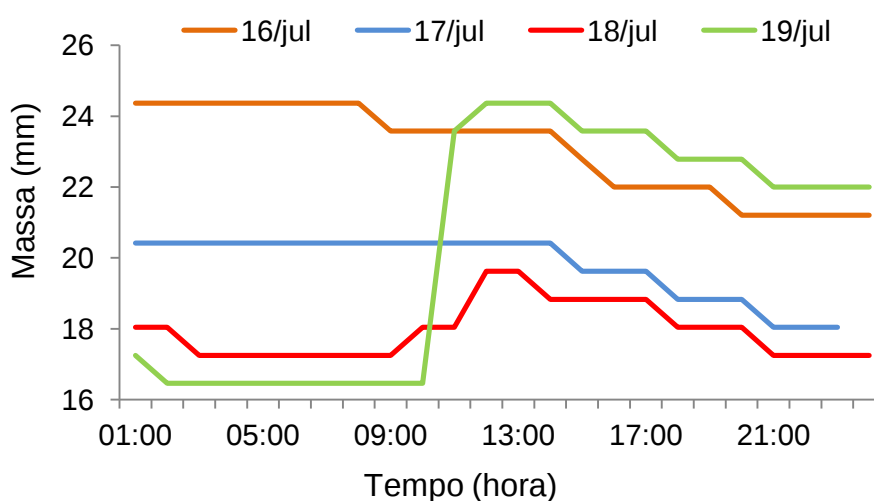


Figura 4. Variação horária de massa de um lisímetro de 16 a 19 de julho de 2016.

Faria, Campeche e Chibana (2006), Campeche et al. (2011) e Mariano et al. (2015), também obtiveram linearidades e altas correlações entre as variações da massa e a resposta de voltagem. Santos et al. (2008) observaram resultados de

calibração semelhantes em todos os lisímetros, mostrando que estes foram adequados para a determinação da evapotranspiração de referência.

4.2 Determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo

O experimento teve início com o solo em capacidade de campo (CC) e as irrigações realizadas no tratamento 100%ET_m repuseram a quantidade evapotranspirada, mantendo o solo com armazenamento acima de 50% da água disponível (Figura 5A). Nos tratamentos com irrigação deficitária, o armazenamento de água disponível decresceu ao longo do ciclo, porém manteve-se entre 30% e 60% da água disponível no tratamento 75%ET_m e entre 0 e 30% no tratamento 50%ET_m.

A demanda atmosférica média durante o ciclo da cultura foi de 3,1 mm dia⁻¹, com máxima de 4,2 aos 20 DAT (10/11/2016), e total de 152, 3 mm (Figura 5B, Tabela 3). Até o dia 5/11/2016, os valores médios de ETo na estufa foram 47% menor que os de ETo da estação meteorológica localizada na parte externa, próxima ao local do experimento. Após este dia, a semelhança dos valores de ETo entre o ambiente protegido e o ambiente externo, até o final do ciclo, é explicada pela ocorrência da tempestade. Valores de ETo dentro de estufas podem ser de 45 a 77% do valor da ETo no meio externo (FARIAS; BERGAMASCHI; MARTINS,1994).

Valores elevados de ET_c, como os encontrados neste estudo, são explicados pela ocorrência do efeito buquê e do efeito varal. O efeito varal, ocorre quando a altura da vegetação é maior que a vegetação circunvizinha, fazendo com que a cultura receba maior quantidade de radiação e haja uma superestimação da ET_c, ocorrência comum para cultivos em estufa; já o efeito buquê, ocorre quando a área foliar da cultura excede a área da superfície do solo, comum quando há o cultivo em vasos. Quando ocorre efeito varal, a ET_c é superestimada e quanto menor a área do lisímetro, mais pronunciado é esse efeito (ABOUKHALED, ALFARO e SMITH, 1982; ALLEN et al., 1991; ALLEN et al., 1998). Com o efeito buquê também há uma superestimação de ET_c, pois com o crescimento da cultura excede a área do lisímetro, podendo haver uma interceptação de 40% a mais da radiação solar incidente, quando comparado com grama fora da área do lisímetro. Lisímetros de 0,27 e 2 m² podem superestimar a ETo, e evapotranspirações medidas em pequenos lisímetros, com pequenas áreas de bordadura, tem efeito da advecção

elevado em 50 a 80% no seu valor (ABOUKHALED, ALFARO e SMITH, 1982; AMORIM, 1998).

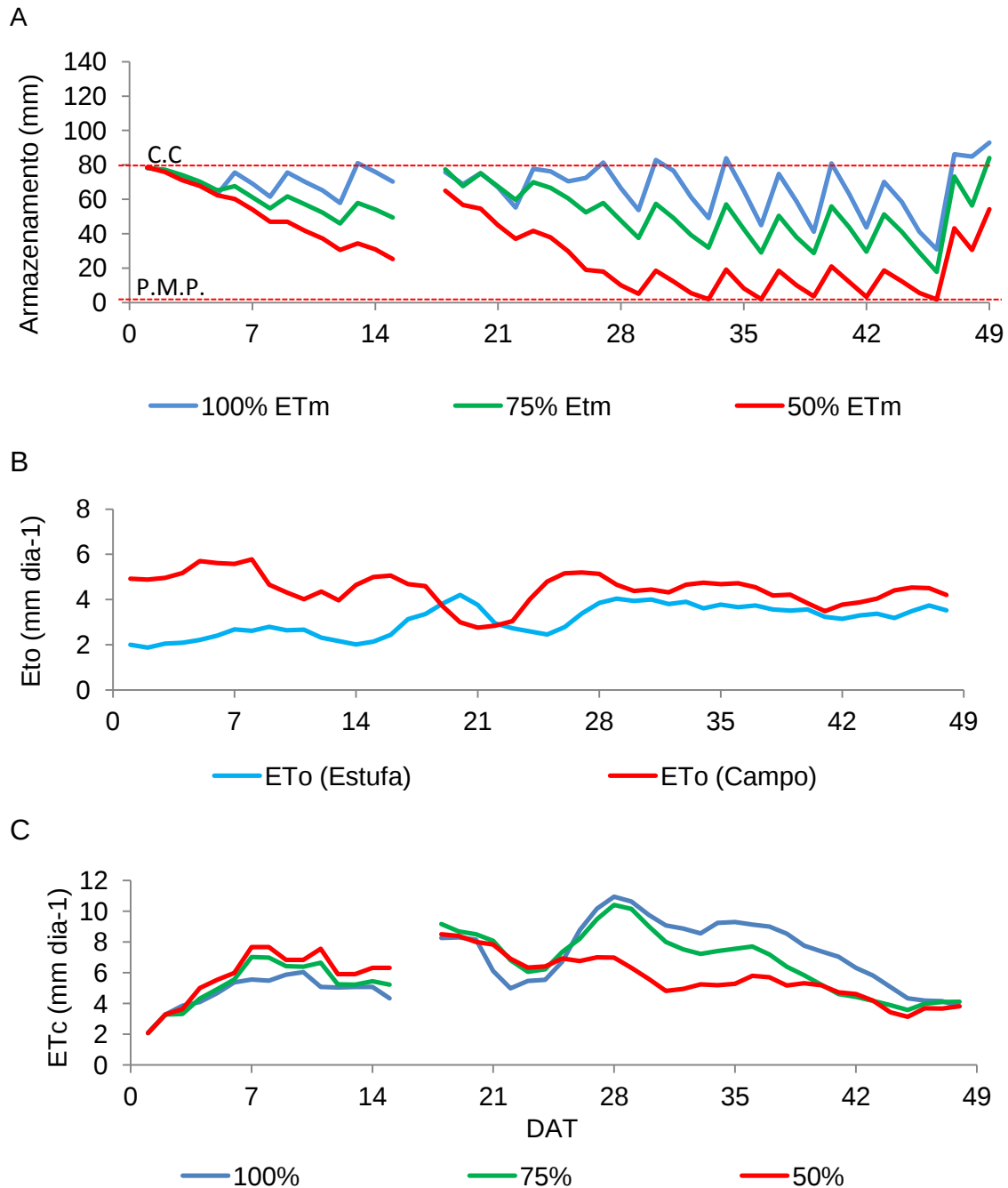


Figura 5. Armazenamento de água no solo (A), evapotranspiração de referência dentro e fora da estufa (B) e evapotranspiração de cultivo para as reposições de 100, 75 e 50 %ETm, durante o período experimental.

Em consequência do suprimento hídrico, a evapotranspiração foi reduzida nos tratamentos com irrigação deficitária, em relação à irrigação plena (Figura 5C,

Tabela 3). A média de ETc durante o ciclo de cultivo foi de 6,9; 6,4 e 5,7 mm dia⁻¹ para os tratamentos 100%ETm, 75%ETm e 50%ETm, respectivamente. MARQUES et al. (2015) encontraram valores de ETc variando de 1,27 a 4,82 mm dia⁻¹, para um ciclo de manjeriço, cultivado em campo, que se encerrou em outubro.

A partir de 29 DAT o fator de cobertura (Fc) foi superior a 1 (Tabela 3), começando a apresentar o efeito buque, sendo necessário realizar a correção dos valores de ETc. A variação de Fc foi de 0,3 a 3,0, significando que a planta superou o tamanho da superfície do lisímetro em 3 vezes.

Durante o ciclo de cultivo, as taxas diárias de ETc variaram de 4,8 a 9,4; 4 a 8,1 e 3,7 a 7,4 mm dia⁻¹ para os tratamentos 100, 75 e 50%ETm (Figura 3B, Tabela 2). Com o avanço do ciclo, as taxas diárias de ETc reduziram em função do suprimento hídrico em cada tratamento, refletindo uma possível adaptação da cultura ao estresse hídrico. Vargas (2007), estudando as cultivares de manjeriço Maria Bonita, Mara e Genovese, em diferentes níveis hídricos, no estado de Sergipe, observou o fechamento parcial dos estômatos, devido a queda da taxa da fotossíntese e da taxa de transpiração, indicando a existência de mecanismos para a adaptação do manjeriço, quando submetido ao estresse hídrico. Observou também que as cultivares apresentaram acúmulo de carboidratos solúveis, devido a diminuição do potencial hídrico, caracterizando um ajuste osmótico nas cultivares.

Tabela 3. Evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração de cultivo (ETc), durante período experimental.

DAT	ETo (mm dia ⁻¹)	ETc (mm dia ⁻¹)		
		100%	75%	50%
01-14	2,3	4,8	5,2	5,7
15-21	3,3	7,3	7,5	7,4
22-28	2,9	7,5	7,8	6,8
29-35	5,3	9,4	8,1	5,3
36-42	5,2	7,9	5,9	5,2
43-49	3,7	4,6	4	3,7
Média	3,8	6,9	6,4	5,7

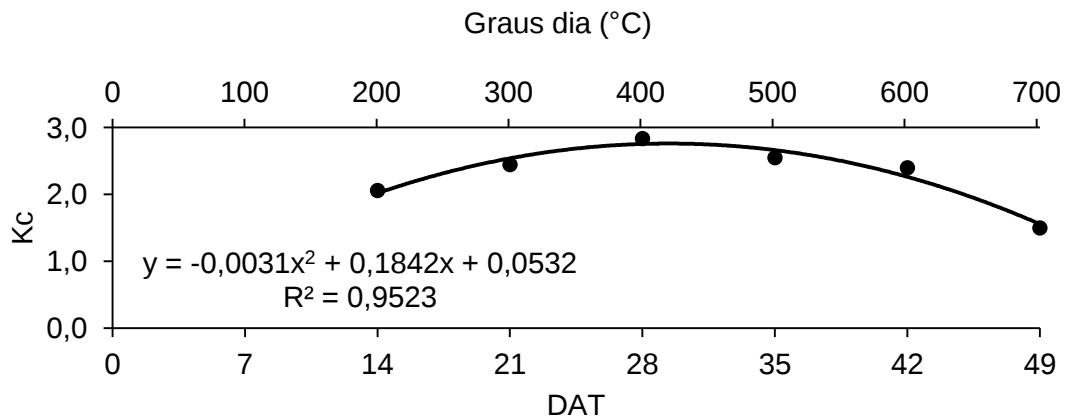
Os valores de Kc foram elevados durante todo o ciclo, variando de 1,5 a 2,8. Os valores acima da unidade refletem a ocorrência do efeito varal, que teve mais significância devido a superfície da estufa ser de alvenaria. Mendonça et al. (2007), associaram elevados valores de Kc, obtidos na cultura do feijão em Campos dos Goytacazes, ao efeito buque provocado pelo aumento da área foliar das plantas. Neste estudo este excedente de área foliar pode ser comprovado pelos elevados valores de Fc, mostrando que aos 29 DAT a cultura começou a ultrapassar a área útil dos lisímetros.

Tabela 4. Índice de área foliar (IAF), razão de cobertura (Rc), fator de correção (Fc) e coeficiente de cultivo (Kc) durante o período experimental.

DAT	IAF	Rc %	Fc	Kc
01-14	0,2	6,4	0,3	2,1
15-21	0,6	12,2	0,6	2,4
22-28	1,1	16,5	0,8	2,8
29-35	1,6	29,9	1,5	2,6
36-42	2,1	51,0	2,6	2,4
43-49	2,5	59,5	3,0	1,5

Foram ajustadas curvas de regressão quadrática para descrever o comportamento do Kc no decorrer do ciclo em função dos dias após transplante e índice de área foliar (Figura 6). Este comportamento quadrático mostra que a cultura do manjeriço, neste estudo, apresentou o período de senescência, ocorrendo menor atividade bioquímica da planta. A fase reprodutiva da cultura iniciou-se com a floração aos 21 DAT, prosseguiu com o término da floração aos 42 DAT e, como não houve colheita, a cultura deu início à senescência. Quando se realiza vários cortes ao longo do ano na cultura, os valores de Kc são sempre crescentes em relação aos dias e lineares em relação à razão de cobertura, significando ser possível estimar com precisão o coeficiente de cultura em relação à RC (MARQUES et al., 2015).

A



B

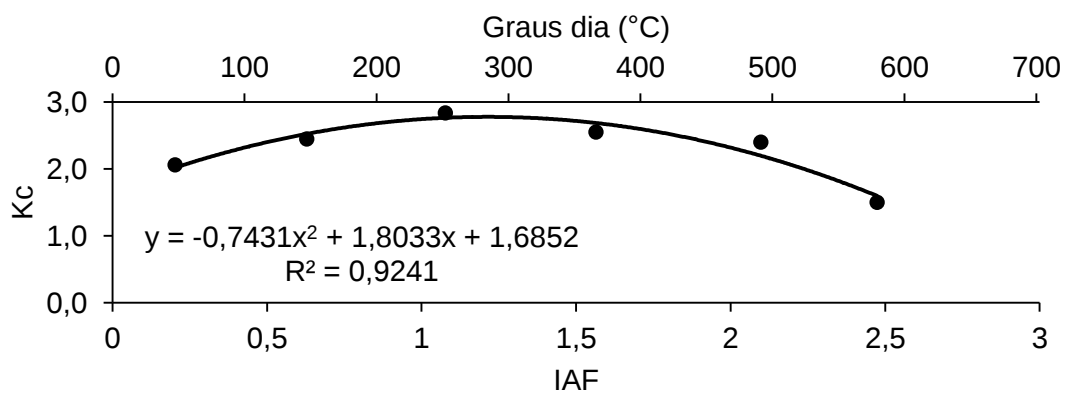
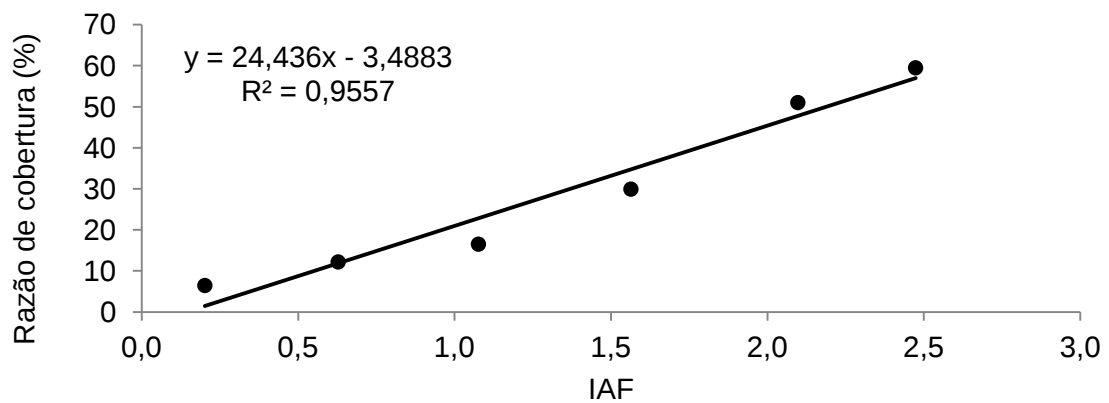


Figura 6. Coeficiente de cultivo (K_c) em função dos dias após o transplante (A), índice de área foliar (B), durante o período experimental.

A linearidade nas relações entre R_c e IAF, e graus-dia e dias após transplante, mostram que o K_c pode ser determinado em função do índice de área foliar, da razão de cobertura e dos graus-dias acumulado (Figura 7).

A



B

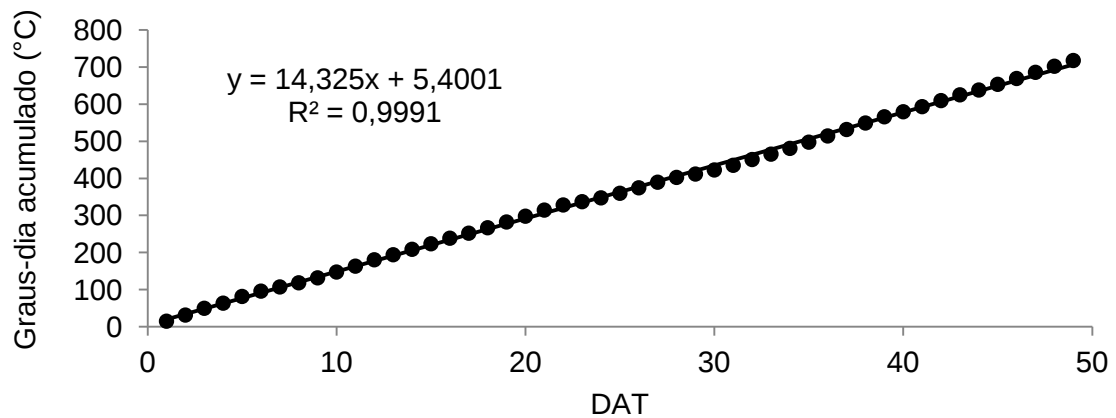


Figura 7. Razão de cobertura em função do índice de área foliar (A) e graus-dia acumulado em função dos dias após transplante (B), durante o período experimental.

4.3 Análise de crescimento

A análise de variância mostrou diferença significativa apenas para a época avaliada, não havendo efeito significativo de regime hídrico e nem interação entre regime hídrico e época, para todas as variáveis analisadas (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância para altura da planta, diâmetro do caule, massa fresca (MFF) e massa seca (MSF) de folhas de manjerição afetadas por regimes hídricos e tempo após o transplante.

Fator de variação	GL	QM			
		Altura (cm)	Diâmetro (mm)	MFF (g)	MSF (g)
Regime hídrico (RH)	2	122,67ns	1,46ns	506,58ns	6,34ns
Época (E)	5	5802,29**	55,22**	17751,25**	521,43**
RH x E	10	21,64ns	0,43ns	57,33ns	3,75ns
CV		19,54	15,67	26,27	19,57

** : significativo ($P < 0,01$), s: não significativo, GL: Grau de liberdade, QM: Quadrado médio, CV: Coeficiente de variação

A comparação de médias das variáveis analisadas (Tabela 6) mostrou acréscimos significativos para altura de planta ao longo das épocas de determinação, exceto para as duas últimas determinações realizadas aos 42 e 49 DAT, coincidindo com o período de floração plena. A evolução do crescimento em altura de planta nos três regimes hídricos é também ilustrada na Figura 8, juntamente com o comportamento das demais variáveis determinadas. BLANK et al. (2010), avaliando quatro populações de manjerição, observaram que o comprimento da haste principal não diferiu entre as mesmas quando as plantas atingiram a plena floração.

O diâmetro do caule aumentou continuamente até 28 DAT, estabilizando o crescimento até 42 DAT e voltando a crescer no período 42 a 49 DAT, não tendo interferência do período de plena floração, como na variável altura (Figura 8B).

A variação da massa fresca de folhas apresentou acréscimos significativos, com aumentos contínuos do início até o final das avaliações, aos 49 DAT. A massa seca de folhas também cresceu continuamente ao longo do ciclo, porém se estabilizou aos 42 DAT, da mesma forma que observado no crescimento em altura, podendo ser explicado pelo fato de que a planta translocar fotoassimilados de forma preferencial para a estrutura reprodutiva (flores) durante esse período.

Tabela 6. Comparação de médias para altura de planta diâmetro do caule, massa fresca (MFF) e massa seca (MSF) de folhas de manjerição conduzidas sob três regimes hídricos, de acordo com os dias após o transplante (DAT).

Variável	Regime	DAT (dia)						Média
	hídrico	14	21	28	35	42	49	
Altura (cm)	100%ETm	18,5	30,5	50	61,8	76,7	79	51,6 A
	75%ETm	14,3	28,0	44,5	61,3	76,7	78,3	51,3 A
	50%ETm	13,2	25,3	39,3	52,3	73,3	76,5	47,0 A
						75,6	77,9 a	
	Média	15,3 e	27,9 d	44,3 c	58,5 b	a		
Diâmetro (mm)	100%ETm	3,5	5,9	7,9	8,9	8,8	10,8	7,6 A
	75%ETm	3,3	5,7	7,8	8,4	8,1	10,7	7,3 A
	50%ETm	3,5	4,8	8,1	8,3	8,2	9,6	7,1 A
	Média	3,4 d	5,5 c	8,0 b	8,4 b	8,5 b	10,3 a	
MFF (g)	100%						133,5	
	ETm	8,0	26,9	51,5	79,2	108,3		67,9 A
	75% ETm	5,9	26,8	53,3	74,4	99,2	119,6	63,2 A
	50% ETm	5,9	17,6	48,9	67,2	86,7	117,4	57,3 A
				51,24		98,1	123,5	
	Média	6,6 e	23,8 e	d	73,6 c	b	a	
MSF (g)	100%						19,9	10,2 A
	ETm	0,5	3,0	6,6	11,7	19,4	18,1	9,6 A
	75% ETm	0,4	3,5	7,3	10,3	18,0	19,5	
	50% ETm	0,6	2,2	5,8	11,1	14,6		9,0 A
						17,3	19,1 a	
	Média	0,5 d	2,9 d	6,6 c	11,0 b	a		

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e de letras iguais minúsculas nas linhas não diferem entre si, a 1% de probabilidade.

A ausência de efeito significativo das lâminas aplicadas nas variáveis de crescimento de plantas analisadas (Tabela 6) indicam a existência de mecanismos fisiológicos do manjerição para mitigar a deficiência hídrica. Este efeito é explicado pelo fechamento estomático das folhas, provocado pelo decréscimo na turgidez das

células-guarda, também conhecido como fechamento hidropassivo, que é um mecanismo de defesa das plantas quando condicionadas ao estresse hídrico (KERBAUY, 2013). Vargas (2007), estudando as cultivares de manjerição Maria Bonita, Mara e Genovese, em diferentes níveis hídricos no estado de Sergipe, observou o fechamento parcial dos estômatos, devido à queda da taxa da fotossíntese e da taxa de transpiração, indicando a existência de mecanismos para a adaptação do manjerição, quando submetido ao estresse hídrico. Observou também que as cultivares apresentaram acúmulo de carboidratos solúveis, devido a diminuição do potencial hídrico, caracterizando um ajuste osmótico nas cultivares.

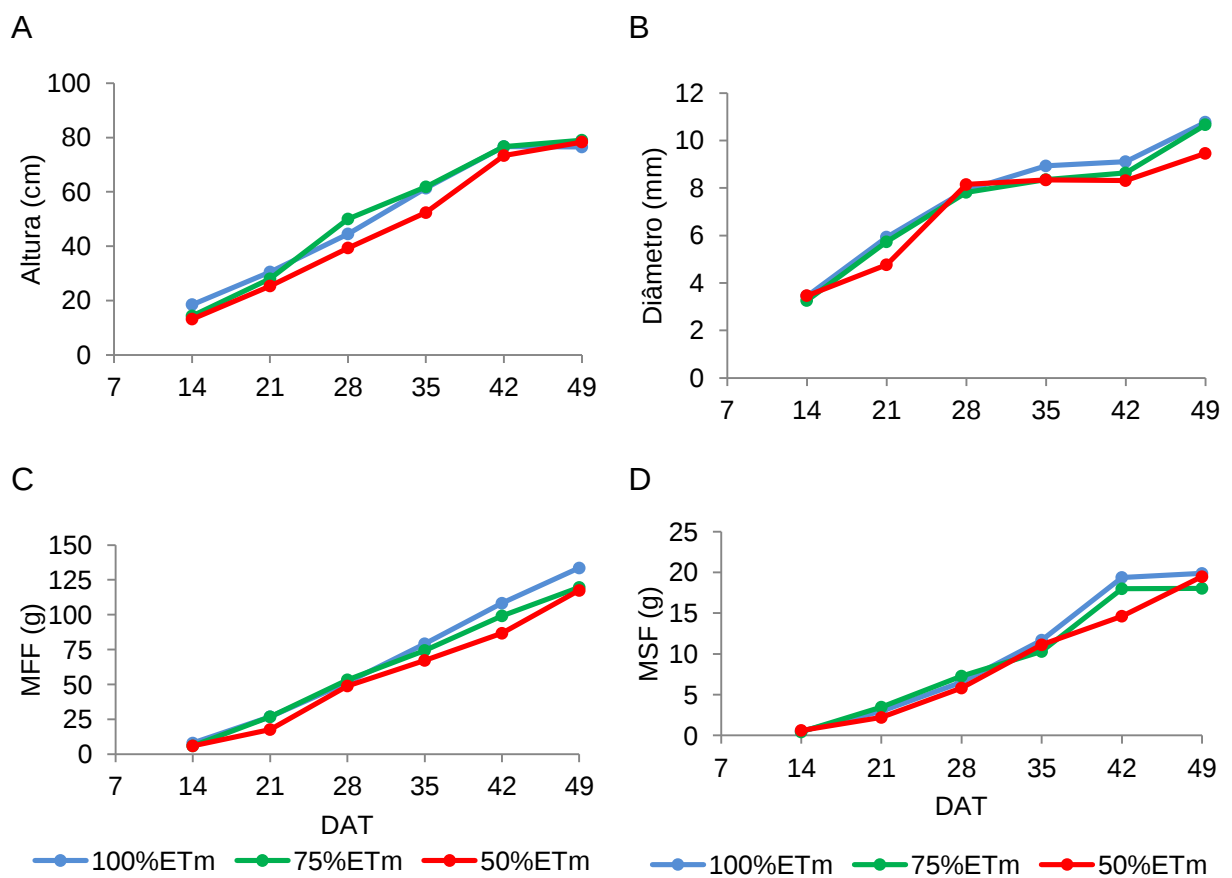


Figura 8. Altura de planta (A), diâmetro de caule (B), massa fresca das folhas (MFF) (C) massa seca das folhas (MSF) (D) da cultura do manjerição conduzida em diferentes regimes hídricos de acordo com os dias após transplantio (DAT).

A evolução do índice de área foliar e razão de cobertura mostram comportamentos similares, com crescimento contínuo ao longo do ciclo (Figuras 9A e 9B). Índice de área foliar crescente significa aumento da interceptação de luz,

absorção de CO_2 e transpiração (MATOS; SEITZ, 2008). A razão de cobertura, que indica a porção que a planta ocupa da área disponível para seu desenvolvimento, foi sempre crescente, acompanhando os dados de IAF.

A TCC reflete a velocidade de crescimento da planta ao longo do ciclo. Na Figura 9C é possível observar que as plantas do tratamento 50%ETm mantiveram crescimento contínuo até o final do ciclo, ao contrário das plantas dos tratamentos 100%ETm e 75%ETm que tiveram decaimento de TCC no último período avaliado, uma vez que não houve crescimento da cultura nesse período, coincidindo com os resultados de MSF (Figura 5D).

A TCR expressa o incremento de matéria seca em função do material preexistente, ao longo do ciclo. Assim, os dados da TCR (Figura 9D) corroboram com os dados da TCC, mostrando que no tratamento 50%ETm, ao final do ciclo, o incremento de matéria seca foi maior, quando comparado com os tratamentos 100 e 75%ETm. Este comportamento também pode ser notado nos dados de MSF, em que o tratamento 50% continua crescente enquanto que os demais tratamentos estabilizaram seu desenvolvimento.

A TAL se manteve crescente no tratamento 50%ETm durante todo o ciclo e decresceu nos tratamentos 75 e 100%ETm no último período de avaliação (Figura 9E). Estes resultados refletem os dados de IAF, que foi maior para os tratamentos 100 e 75%ETm e menor para o tratamento 50%ETm, mostrando que quanto maior o IAF maior a área sombreada da planta e menor a TAL.

A RAF, que é a relação entre a área foliar responsável pela interceptação da energia luminosa e CO_2 , e a massa seca total (BENINCASA, 2003), apresentou valores continuamente decrescentes no decorrer do ciclo para todos os tratamentos, com resultados semelhantes a partir de 42 DAT (Figura 9F). Esse efeito indica que, com o crescimento das plantas, houve aumento da interferência das folhas superiores sobre as inferiores, diminuindo a área foliar útil para fotossíntese (BENINCASA, 2003).

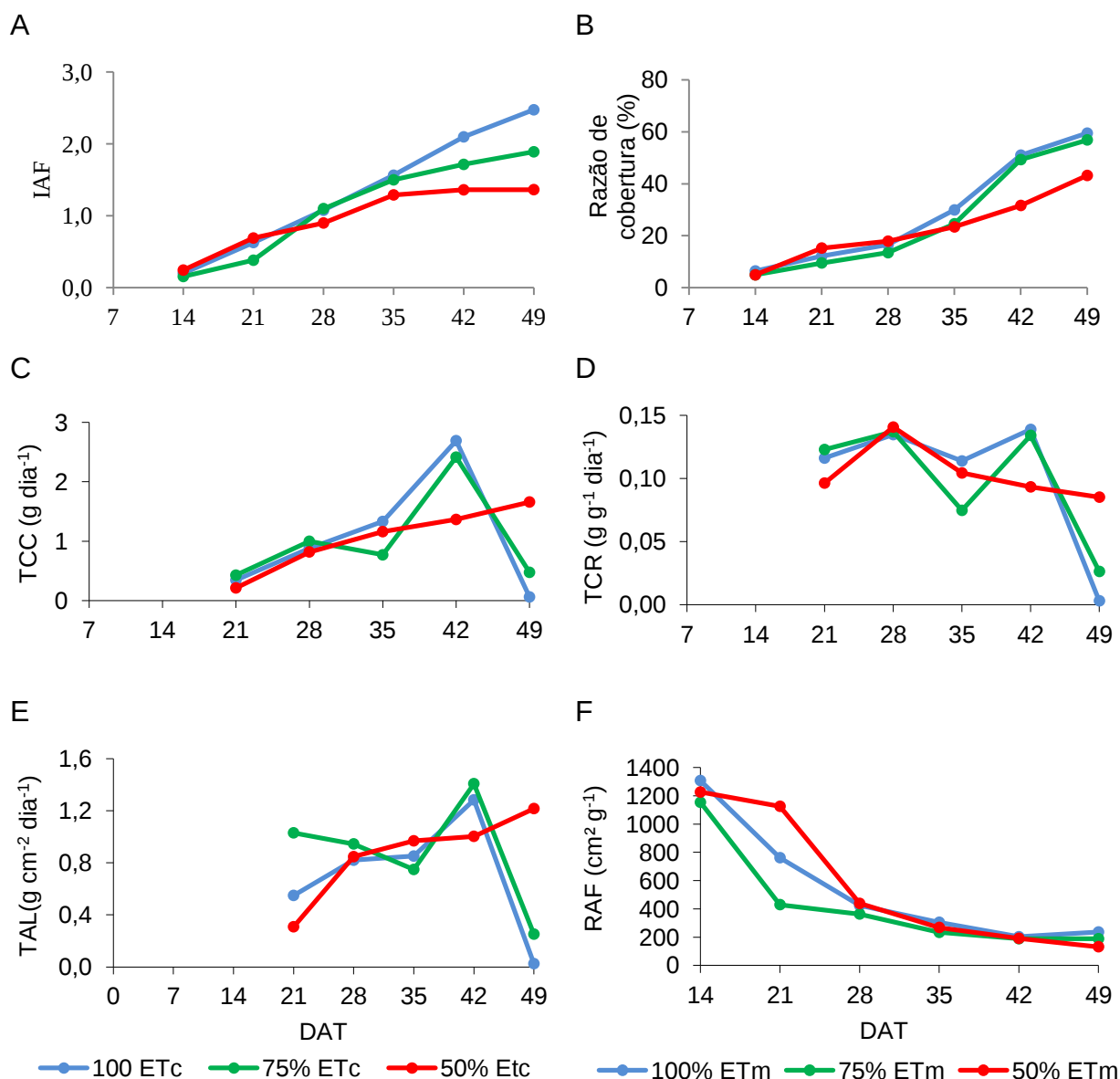


Figura 9. Índice de área foliar (IAF) (A), razão de cobertura (RC) (B), taxa de crescimento de cultura (TCC) (C) e taxa de crescimento relativo (TCR) (D) da cultura do manjericão conduzida em diferentes regimes hídricos de acordo com os dias após transplântio (DAT).

4.4 Produtividade da água

A produtividade da água expressa a relação entre a MFF ou MSF produzida por unidade de volume de água aplicada. Uma vez que as produtividades de MFF e MSF não diferiram entre os tratamentos (Tabela 5), e que as lâminas aplicadas de água decresceram de 471 mm no tratamento 100%ETm para 354 e 236 mm nos tratamentos 75%ETm e 50%ETm, respectivamente, a produtividade da água foi menor no tratamento 100%ETm e aumentou nos tratamentos 75%ETm e 50%ETm

(Tabela 7). Assim, os cálculos da produtividade da água apresentados, correspondentes às quantidades de MFF e MSF de manjeriço produzidas utilizando 1 m³ de água, foram 4,05 e 0,6 kg; 4,78 e 0,72 kg; e 7,04 e 1,17 kg, adotando-se o manejo de irrigação repondo 100%, 75% e 50% da evapotranspiração máxima da cultura, respectivamente. A economia de água foi de 0,017 m³ vaso⁻¹, para produzir 173,8% e 195% de MFF e MSF, respectivamente, no tratamento de 50%ETm quando comparado com 100%ETm, mostrando que a produção é quase a mesma utilizando uma menor quantidade de água, comprovando assim os dados de produtividade da água discutidos anteriormente. Ao avaliar a produtividade da água na produção de silagem de milho, Martin et al. (2012) observaram que os maiores valores de massa seca e verde foram do tratamento que recebeu 50% da ETc diária. Dados como esses, mostram que a aplicação de irrigação deficitária nem sempre significa menor produtividade da cultura, havendo possibilidade de reduzir o volume de água aplicado sem afetar a produtividade de uma cultura, quando conduzida em estufas.

Tabela 7. Produtividade da água para massa foliar fresca (PAMFF) e massa foliar seca (PAMSF) de plantas de manjeriço conduzidas sob três regimes hídricos.

Produtividade da água (kg m ⁻³)	Regime hídrico		
	100%ETm	75% ETm	50% ETm
PA _{MFF}	4,05	4,78	7,04
PA _{MSF}	0,60	0,72	1,17

5 CONCLUSÕES

- O consumo hídrico do manjeriço foi de 9,6; 7,2 e 4,8 mm dia⁻¹, para as reposições de 100, 75 e 50%ETm, respectivamente.
- A produtividade da água foi maior para o tratamento com reposição de 50%ETm, mostrando eficiência na produção da cultura com aplicação de uma lâmina de irrigação reduzida.
- As reposições parciais de 75 e 50%ETm não interferiram significativamente na produção de biomassa da cultura, sendo viável cultivar manjeriço em vaso, sob estufa de superfície em alvenaria, com redução da lâmina de irrigação.

6 REFERÊNCIAS

ABOUKALED, A.; ALFARO, A.; AMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 68p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 39), 1982.

ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O.; WALTERS, I. A.; JENSEN, M. E. (Eds.). **Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements**. New York: ASCE, p. 114-124, 1991.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 328p. (FAO Irrigation and Drainage Papers, 56), 1998.

ALMEIDA, D. **Manual de culturas hortícolas**. Ed. 3. Lisboa: Editorial Presença, v. 1, 348p, 2006.

AMORIM, M. C. de. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe A e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. 56 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998. Disponível em:
<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5269/texto%20completo.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. Ed. 4. Funep, Jaboticabal, 2006.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agronômica & Agroestat**: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Funep, Jaboticabal, 2015.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: UNESP – Câmpus de Jaboticabal. 41p, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 Ed. UFV, Viçosa. 2008.

BLANK, A. F.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; SANTOS NETO, A. L.; ALVES, P. B.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; SILVA-MANN, R.; MENDONÇA, M. C. Caracterização morfológica e agrônômica de acessos de manjerição e alfavaca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, jan./mar 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000100024>>

BLANK, A. F.; SILVA, P. A.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; SILVA-MANN, R.; BARRETO, M. C. V. Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo de manjerição cv. Genovese. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 175 - 180, maio/ago. 2005. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/265/260>. Acesso em: 28 nov. 2016.

BLANK A. F.; OLIVEIRA, A. dos S.; ARRIGONI-BLANK, M. de F.; FAQUIM, V. Efeitos da adubação química e da calagem na nutrição de melissa e hortelã-pimenta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 195-198, Abr/jun. 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000200014>>.

BLANK A. F.; SOUZA E. M.; PAULA J. W. A.; ALVES P. B. Comportamento fenotípico e genotípico de populações de manjerição. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 305-310, jul/set. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v28n3/v28n3a11.pdf>>. Acesso em: 01/12/2016.

CAMARGO, A. P de; CAMARGO, M. B. P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, jul. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v59n2/a02v59n2.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

CAMPBELL. **Software de apoio para datalogger**. Disponível em: <https://www.campbellsci.com.br/datalogger-software>. Acesso em: 21/12/2016.

CAMPECHE, L. F. M. S. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima-ácida 'Tahiti' (Citrus latifolia Tan.)**. 2002. 62 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CAMPECHE, L. F. M. S.; NETTO, A. O. A.; SOUZA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 5, p. 519-525, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n5/v15n5a13.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2017.

CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas.** Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_279.html. Acesso em: 18/12/2016.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas.** Trad. de GHEYI, H. R.; METRI, J. E. C.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24), 1997.

EMBRAPA. PEREIRA, R. C. A., MOREIRA, A. L. M. **Manjeriço:** Cultivo e Utilização. ISSN 2179-8184, março 2011.

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia. Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, p. 17-22, 1994. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/ED_3_ET.pdf. Acesso em: 04/01/2017.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100035>.

FLULMIGNAN, D. L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.).** 200f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2011.

GARCIA, A.; ANDRÉ, R. G. B.; GALBIATTI, J. A.; TANNOUS, S. Análise de crescimento de uma cultura de milho submetida a diferentes regimes hídricos. **Nucleus**, v. 5, n. 1, 2008. Disponível em: <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/60>>. Acesso em: 02/12/2016.

HUNT, R. Growth Analysis, Individual Plants. **Growth and Development**. p. 579 - 588, 2003. Disponível em: http://people.exeter.ac.uk/rh203/EAPS_article.pdf. Acesso em: 05/12/2016.

HUSSAIN, A. I.; ANWAR, F.; HUSSAIN, S. S. T.; PRZYBYLSKI, R. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oils depends on seasonal variations. **Food Chemistry**, v. 108, n. 3, p. 986-995, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814607012666>>. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.010.

JOSÉ, J. V. **Adubação potássica e lâminas de irrigação na produção de biomassa e óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**. 163f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2014.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Ed. 2. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2013.

LORENZI, M.; MATOS, F. J. A. **Plantas Medicinais no Brasil**: nativas e exóticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 512 p., 2002.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Ed. 3. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MANTOVANI, E.C; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação - princípios e métodos**. 2ed. Viçosa: UFV. 2013.

MARIANO, D. de C.; FARIA, R. T. de; FREITAS, P. S. L. de; LENA, B. P.; JOHANN, A. L. Construction and calibration of a bar weighing lysimeter. **Acta Scientiarum, Agronomy**. v. 37, n. 3, p. 271-278, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19368>>.

MARQUES, P. A. A.; JOSÉ, J. V.; ROCHA, H. S. da; FRAGA JÚNIOR; E. F.; SOARES, D. A.; DUARTE, S. N. Consumo hídrico do manjeriço por meio de lisímetro de drenagem. **Irriga**, v. 20, n. 4, p. 745-761, out/dez. 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n4p745> >.

MARTIN, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P.; GATTO, J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, Edição especial, p. 192-205, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p192> >.

MAY, A.; BOVI, O. A.; MAIA, N. B.; BARATA, L. E. S.; SOUZA, R. C. Z.; SOUZA, E. M. R.; MORAES, A. R. A.; PINHEIRO, M. Q. Basil plants growth and essential oil yield in a production system with successive cuts. **Bragantia**, vol. 67, n. 2, p. 385-389, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200014>>.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 4, p. 513-519, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v26i4.1815>>.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S., SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A. L.; GOTTARDO, R. D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MINAMI, K; SUGUINO, E; MELLO, S. C; WATANABE, A. T. **A cultura do manjeriço**: Série produtor rural- nº 36. ESALQ, Piracicaba, 2007. Disponível em: <http://www4.esalq.usp.br/biblioteca/sites/www4.esalq.usp.br/biblioteca/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR36.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016.

MORAIS, T. P. S. **Produção o óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum* L) sob doses de cama de frango**. 50f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

PATRIGNANI, A.; OCHSNER, T. E. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. **Agronomy journal**, v. 107, p. 2312-2320, 2015. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/107/6/2312>>. doi: 10.2134/agronj15.0150.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. **Irrigation Science**, 26, p. 191-202, 2008. DOI: 10.1007/s00271-007-0085-9.

PEIXOTO, P. C.; CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, M. de F. da S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

PEREIRA, J. B. A. **Avaliação do crescimento, necessidade hídrica e eficiência no uso da água pela cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) , sob manejo orgânico nos sistemas de plantio com preparo do solo e direto - Seropédica, RJ**. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. LCE 306. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Piracicaba, fev. 2007.

PEREIRA, R. C. A.; MOREIRA, A. L. M. Manjeriço: cultivo e utilização. **Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza-CE, Documento 136, 31p, 2011. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42208/1/DOC11004.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

PRAVUSCHI, P. R.; MARQUES, P. A. A.; RIGOLIN, B. H. M.; SANTOS, A. C. P. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção de óleo essencial de manjerição (*Ocimum basilicum* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 687-693, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.3160>>.

ROSADO, L. D. S.; PINTO, J. E. B. P.; BOTREL, P. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; NICULAU, E. S.; ALVES, P. B. Influência do processamento da folha e tipo de secagem no teor e composição química do óleo essencial de manjerição cv. Maria Bonita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 291 – 296, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000200009>>.

RUIZ-PEÑALVER, L.; VEERA-REPULLO, J. A.; JIMÉNEZ-BUENDIA, M.; GUSMÁN, I.; MOLINA-MATÍNEZ, J. M. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. **Agricultural Water Management**, v. 151, p. 103–113, mar. 2015.

SANTOS, F. X.; Rodrigues, J. J. V.; Montenegro, A. A. A.; Moura, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 115-124, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000100012>>.

SILVA, E. L. da. **Relação solo-água-planta-atmosfera**. Lavras: UFLA/FAEPE, 86 p, 1999.

VARGAS, M. E. de O. **Respostas ecofisiológicas e bioquímicas do *Ocimum basilicum* L. cultivado em diferentes níveis hídricos**. 72f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2007.

VIANA, E. V. de A.; FOLEGATTI, M. V.; AZEVEDO, B. M. de; BOMFIM, G. V. de; ELÓI, W. M. Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e com um lisímetro de pesagem em ambiente protegido. **Irriga**, v. 8, n. 2, p. 113-119, mai/ago, 2003.

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima. **Ciência da Terra**, São Paulo, n. 30, p. 1-8, 1972.

WILLMOTT, C. J. Some comments on evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, Nov/1983. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477%281982%29063%3C1309%3ASCOTEO%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em 05/09/2016.

YAMAMOTO, P. Y. **Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos essenciais de Lippia alba (Mill.) N. E. Br.** 72 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/ Melhoramento Genético Vegetal) - Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, 2006. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1805104.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2016.

APÊNDICE

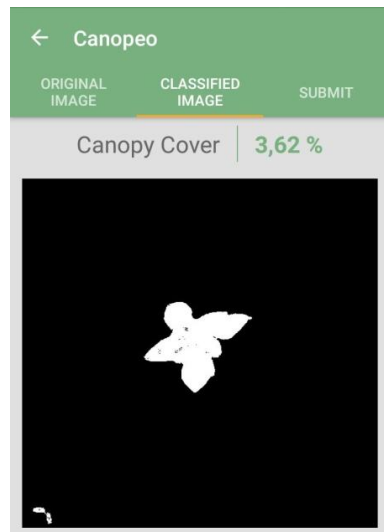
A



B



C



D



E

