



**ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS**

**AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO, PRODUÇÃO DE  
BIOMASSA E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL NA  
CULTURA DA *Melissa officinalis* L. CULTIVADA EM CASA  
DE VEGETAÇÃO E SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES  
HÍDRICOS**

**LAVRAS – MG**

**2019**

**ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS**

**AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E PRODUÇÃO DE  
ÓLEO ESSENCIAL NA CULTURA DA *Melissa officinalis* L. CULTIVADA EM CASA  
DE VEGETAÇÃO E SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

**Tese apresentada à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do Programa  
de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em  
Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de  
doutor.**

**Dr. Adriano Valentim Diotto  
Orientador**

**LAVRAS – MG  
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Caldas, André Luiz Dias.

Avaliação de crescimento, produção de biomassa e produção de  
óleo essencial na cultura da *Melissa officinalis* L. cultivada em casa  
de vegetação e submetida a diferentes regimes hídricos / André  
Luiz Dias Caldas. - 2019.

105 p.

Orientador(a): Adriano Valentim Diotto.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.  
Bibliografia.

1. Irrigação por gotejamento. 2. Planta medicinal. 3.  
Evapotranspiração de referência. I. Diotto, Adriano Valentim. II.  
Título.

**ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS**

**AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL NA CULTURA DA *Melissa officinalis* L. CULTIVADA EM CASA DE VEGETAÇÃO E SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

**GROWTH EVALUATION, BIOMASS PRODUCTION AND ESSENTIAL OIL PRODUCTION IN THE CULTURE OF *Melissa officinalis* L. GROWN UNDER GREENHOUSE CONDITIONS AND SUBMITTED TO DIFFERENT WATER REGIMES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de doutor.

**APROVADA em 28 de fevereiro de 2019.**

<b>Dra. Fátima Conceição Rezende</b>	<b>UFLA</b>
<b>Dr. Jacinto de Assunção Carvalho</b>	<b>UFLA</b>
<b>Dr. João Paulo Francisco</b>	<b>UFRRJ</b>
<b>Dra. Livia Alves Alvarenga</b>	<b>UFLA</b>
<b>Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques</b>	<b>UNINCOR</b>

**Dr. Adriano Valentim Diotto, UFLA**  
**Orientador**

**LAVRAS – MG**  
**2019**

*Ao meu filho, Francisco Vilhena Caldas*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em particular ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas (PPGRHSA/UFLA), ao seu corpo docente e aos técnicos administrativos do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, pela disponibilização do espaço físico, uso dos equipamentos e recursos intelectuais, bem como no auxílio em atividades práticas e na resolução de adversidades burocráticas em relação ao desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo financiamento, por meio da concessão de bolsa de estudos, que resultou na produção deste trabalho.

Ao professor Adriano Valentim Diotto, orientador, pelas diretrizes que traçaram o pré-projeto, o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

À Fátima Conceição Rezende, exímia pesquisadora, pelos constantes ensinamentos e orientações, não só durante o decorrer deste trabalho, mas em toda minha jornada acadêmica na UFLA.

Aos professores Jacinto de Assunção Carvalho e Geraldo Magela Pereira, pela oportunidade de exercer a docência na UFLA e pelo exemplo de ótimos profissionais.

Ao professor Gilberto Coelho, coordenador do PPGRHSA/UFLA, pela disposição em viabilizar, minimizando aspectos burocráticos, o desenvolvimento do estudo que resultou neste trabalho.

Ao Núcleo de Estudos em Irrigação, NEI/UFLA, em especial ao Caio César Medeiros Gregório, pelo fundamental auxílio na condução dos experimentos.

Ao Setor de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares da UFLA, em especial aos professores José Eduardo Brasil Pereira Pinto e Suzan Kelly Vilela Bertolucci, e aos técnicos-administrativos Annete de Jesus Boari Lima e Evaldo de Souza Arantes, por ceder seus laboratórios e conceder auxílio no desenvolvimento e interpretação de análises bioquímicas que foram de suma importância para com este trabalho.

Aos membros componentes da banca examinadora professores: Adriano Valentim Diotto, Fátima Conceição Rezende, Jacinto de Assunção Carvalho, João Paulo Francisco, Livia

Alves Alvarenga e Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques, por aceitarem participar e contribuir com este trabalho.

Aos meus pais, Osvaldo Francisco Caldas e Lucila Dias Caldas, pelo constante apoio, sem o qual teria sido impossível realizar esse trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho.

*Um fotógrafo-artista me disse uma vez: veja que pingo de sol no couro de um lagarto é para nós mais importante do que o sol inteiro no corpo do mar. Falou mais: que a importância de uma coisa não se mede com fita métrica nem com balanças nem com barômetros etc. Que a importância de uma coisa há que ser medida pelo encantamento que a coisa produza em nós. Assim um passarinho nas mãos de uma criança é mais importante para ela do que a Cordilheira dos Andes. Que um osso é mais importante para o cachorro do que uma pedra de diamante. E um dente de macaco da era terciária é mais importante para os arqueólogos do que a Torre Eiffel (Veja que só um dente de macaco!). Que uma boneca de trapos que abre e fecha os olhinhos azuis nas mãos de uma criança é mais importante para ela do que o Empire State Building. Que o cu de uma formiga é mais importante para o poeta do que uma Usina Nuclear. Sem precisar medir o ânus da formiga. Que o canto das águas e das rãs nas pedras é mais importante para os músicos do que os ruídos dos motores da Fórmula 1. Há um desagero em mim de aceitar essas medidas. Porém não sei se isso é um defeito do olho ou da razão. Se é defeito da alma ou do corpo. Se fizerem algum exame mental em mim por tais julgamentos, vão encontrar que eu gosto mais de conversar sobre restos de comida com as moscas do que com homens doutos.*

Manoel de Barros. Sobre importâncias, 2006.

## RESUMO

Dada à importância do cultivo da *Melissa officinalis* L. e à perspectiva favorável de crescimento do mercado de produtos naturais é de suma importância o desenvolvimento de estudos que aumentem a eficiência e otimizem o uso de insumos com objetivo de maximizar a produção da cultura e a lucratividade do produtor. O objetivo neste trabalho foi avaliar a influência da disponibilidade de água no solo, em relação ao volume de reposição (experimento I) e a frequência de irrigação (experimento II), sobre o crescimento, produção de biomassa, produção e o rendimento de óleo essencial na cultura da *Melissa officinalis* L. cultivada em ambiente protegido e em duas épocas de cultivo (verão e primavera). Os experimentos foram desenvolvidos em ambiente protegido no *campus* da Universidade Federal de Lavras, em Lavras/ MG. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 5 tratamentos (experimento I) e 5 tratamentos (experimento II), 4 repetições por tratamento e 6 plantas por repetição (5x4x6), em ambos os experimentos. No experimento I os tratamentos constaram de cinco volumes de reposição de água, definidos por 25%, 75%, 100%, 125% e 150% do volume evapotranspirado pela cultura (ETc). No experimento II foi avaliada a frequência de irrigação, com tratamentos de 2, 3, 4, 5 e 6 dias e reposição de 100% da ETc acumulada nesses períodos. As características avaliadas foram: altura de planta, diâmetro de caule, biomassa seca de folhas, biomassa seca de raiz, relação parte aérea/raiz, área foliar, produção e rendimento de óleo essencial e produtividade da água em relação a produção de biomassa seca e em relação a produção de óleo essencial. Os resultados mostraram que a disponibilidade de água no solo não afetou o crescimento em altura e diâmetro, bem como não afetou o rendimento de óleo essencial. No entanto, a produção de biomassa, a produção de óleo essencial e a produtividade da água são afetadas pela disponibilidade de água no solo, ou seja, com aumento do volume de reposição e aumento da frequência de irrigação houve aumento nos valores de produção de biomassa e produção de óleo essencial e diminuição nos valores de produtividade da água.

**Palavras-chave:** Irrigação por gotejamento. Planta medicinal. Evapotranspiração da cultura. Frequência de irrigação.

## ABSTRACT

Given the importance of growing *Melissa officinalis* L. and the favorable outlook for natural product market growth, it is of utmost importance to develop studies that increase efficiency and optimize the use of inputs to maximize crop production and profitability of the producer. The objective of this work was to evaluate the influence of soil water availability, in relation to the replacement volume (experiment I) and irrigation frequency (experiment II), on growth, biomass production, yield and yield of essential oil in the culture of *Melissa officinalis* L. grown in a greenhouse and in two growing seasons (summer and spring). The experiments were carried out in a greenhouse on the campus of the Federal University of Lavras, Lavras, MG. The experimental design was a randomized complete block with 5 treatments (experiment I) and 5 treatments (experiment II), 4 replicates per treatment and 6 plants per replicate (5x4x6), in both experiments. In the experiment I the treatments consisted of five volumes of water replenishment, defined by 25%, 75%, 100%, 125% and 150% of the volume evapotranspired by the crop (ETc). In the experiment II, the irrigation frequency was evaluated, with treatments of 2, 3, 4, 5 and 6 days, and 100% recovery of ETc accumulated in these periods. The evaluated characteristics were: plant height, stem diameter, leaf dry biomass, root dry biomass, shoot / root ratio, leaf area, yield and yield of essential oil and water productivity in relation to dry biomass production in relation to the production of essential oil. The results showed that the availability of water in the soil did not affect growth in height and diameter, nor did it affect the yield of essential oil. However, biomass production, essential oil production and water productivity are affected by the availability of water in the soil, that is, with an increase in the replacement volume and an increase in the irrigation frequency, there was an increase in biomass production values and essential oil production and decrease in water productivity values.

**Keywords:** Drip irrigation. Medicinal plant. Evapotranspiration of culture. Frequency of irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspecto botânico da <i>Melissa officinalis</i> L. ....	24
Figura 2 – Comprimento (A) e aspecto geral (B) das mudas de <i>Melissa officinalis</i> L. na data do transplântio do experimento I. ....	29
Figura 3 – Alocação dos experimentos (I e II) e distribuição dos tratamentos no interior do ambiente protegido. ....	30
Figura 4 – Controlador digital utilizado para programação das irrigações durante a condução dos experimentos. ....	31
Figura 5 – Avaliação de crescimento, altura (A), diâmetro de caule (B) e avaliação de área foliar (C). ....	35
Figura 6 – Preparação da amostra (A), processo de hidrodestilação usando aparelho de Clevenger modificado (B), final do processo de destilação com separação por densidade (C) e armazenamento do óleo essencial obtido (D). ....	37
Figura 7 – Termohigrômetro utilizado no monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar dentro do ambiente protegido. ....	40
Figura 8 – Precipitação ocorrida e variação diária da temperatura mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo verão. ....	44
Figura 9 – Precipitação ocorrida e variação diária da umidade mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo verão. ....	44
Figura 10 – Precipitação ocorrida e variação diária da temperatura mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo primavera. ....	46
Figura 11 – Precipitação ocorrida e variação diária da umidade mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo primavera. ....	46
Figura 12 – Variação do volume de água acumulado aplicado nos tratamentos ao longo do ciclo da cultura no cultivo verão. ....	49
Figura 13 – Variação do volume de água acumulado aplicado nos tratamentos ao longo do ciclo da cultura no cultivo primavera. ....	51
Figura 14 – Valores médios de altura do ramo principal em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	52
Figura 15 – Desenvolvimento inicial (A) e sobreposição dos ramos laterais ao final do ciclo da cultura (B) no cultivo de verão. ....	54
Figura 16 – Desenvolvimento inicial (A) e sobreposição dos ramos laterais ao final do ciclo da cultura (B) no cultivo de primavera. ....	54
Figura 17 – Temperatura média diária durante a condução dos experimentos em ambas as épocas de cultivo. ....	55
Figura 18 – Valores médios de diâmetro de caule em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	56
Figura 19 – Regressão polinomial entre os valores de volume de água aplicado ao solo e diâmetro de caule. ....	57
Figura 20 – Valores médios de biomassa seca de folhas em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	59
Figura 21 – Regressão polinomial entre os valores de volume de água aplicado ao solo e biomassa seca de folhas. ....	61
Figura 22 – Valores médios de biomassa seca de raiz em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	63

Figura 23 – Regressão e correlação entre os valores de volume de água aplicado ao solo e produção de biomassa seca de raiz nas diferentes épocas de cultivo. ....	64
Figura 24 – Valores médios da relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	66
Figura 25 – Valores médios de área foliar por planta em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	68
Figura 26 – Correlação entre os valores de volume de água aplicado ao solo e área foliar no experimento conduzido durante o verão. ....	69
Figura 27 – Valores médios de produção de óleo essencial em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	70
Figura 28 – Valores médios de rendimento de óleo essencial em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	72
Figura 29 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	74
Figura 30 – Correlação entre os valores de volume de reposição de água ao solo e produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas em ambas as épocas de condução dos experimentos. ....	76
Figura 31 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de óleo essencial e em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo. ....	77
Figura 32 – Valores médios de altura do ramo principal em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	79
Figura 33 – Valores médios de diâmetro de caule em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	81
Figura 34 – Valores médios de biomassa seca de folhas em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	83
Figura 35 – Correlação entre os valores de biomassa seca de folhas e frequência de irrigação nas diferentes épocas de condução dos experimentos. ....	84
Figura 36 – Valores médios de biomassa seca de raiz em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	85
Figura 37 – Correlação entre os valores de biomassa seca de raiz e frequência de irrigação no experimento conduzido durante o verão. ....	86
Figura 38 – Valores médios de relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	87
Figura 39 – Valores médios de área foliar em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	88
Figura 40 – Correlação entre os valores de área foliar por planta e frequência de irrigação em ambas as épocas de condução dos experimentos. ....	89
Figura 41 – Valores médios de produção de óleo essencial em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	91
Figura 42 – Valores médios de rendimento de óleo essencial em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	92
Figura 43 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de massa seca de folhas e em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo. ....	93
Figura 44 – Correlação entre os valores de produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas e frequência de irrigação em ambas as épocas de cultivo. ....	94

Figura 45 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de óleo essencial em função das diferentes frequências de irrigação adotadas nas diferentes épocas de cultivo.95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos coeficientes CUD e CUC segundo Mantovani (2002).....	32
Tabela 2 – Vazão média por tratamento, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen do sistema de irrigação com respectiva classificação nos diferentes experimentos e épocas de cultivo. ....	43
Tabela 3 – Volume médio por evento de irrigação, volume total aplicado por planta até o estabelecimento e após o estabelecimento da cultura e diferença do volume total em relação ao volume aplicado no tratamento com 100% da ETc no experimento conduzido durante o cultivo verão. ....	48
Tabela 4 – Volume médio por evento de irrigação, volume total aplicado por planta até estabelecimento e após o estabelecimento da cultura e diferença do volume total em relação ao volume aplicado no tratamento com 100% da ETc no experimento conduzido durante o cultivo primavera. ....	50
Tabela 5 – Valores de biomassa fresca de folhas e diferença por tratamento nas duas épocas de condução dos experimentos. ....	67
Tabela 6 – Número de irrigações, volume médio, volume total e variação de eventos de irrigação por tratamento em relação ao tratamento com frequência de irrigação de dois dias no experimento conduzido no verão.....	78
Tabela 7 – Número de irrigações, volume médio, volume total e variação de eventos de irrigação por tratamento em relação ao tratamento com frequência de irrigação de dois dias no experimento conduzido na primavera.....	78

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF	Área Foliar
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AP	Altura de planta
cc	Capacidade de campo
CUC	Coefficiente de distribuição de Christiansen
CUD	Coefficiente de uniformidade de distribuição
cv	Cavalo, unidade de potência
DAT	Dias após transplântio
DC	Diâmetro de caule
DN	Diâmetro nominal
ET <sub>0</sub>	Evapotranspiração de referência
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiração da cultura
ET <sub>m</sub>	Evapotranspiração máxima
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MFA	Biomassa fresca da parte aérea
MFF	Biomassa fresca de folha
MSA	Biomassa seca da parte aérea
MSC	Biomassa seca de caule
MSF	Biomassa seca de folha
MSR	Biomassa seca de raiz
Ni	Número de irrigações realizadas

OMS	Organização Mundial da Saúde
PAMS	Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas
PAPO	Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial
PEBD	Polietileno de baixa densidade
pmp	Ponto de murcha permanente
PO	Produção de óleo essencial
Pot	Potência
PVC	Policloreto de vinila
Q	Vazão
Qi	Vazão por gotejador
Qm	Vazão média
RPAR	Relação parte aérea e raiz
SUS	Sistema Único de Saúde
Tmax	Temperatura máxima
Tmed	Temperatura média
Tmin	Temperatura mínima
UR	Umidade relativa do ar
URmax	Umidade relativa do ar máxima
URmin	Umidade relativa do ar mínima
UV	Radiação ultravioleta
vc	Vaso de controle
VR	Volume de raiz
$\Delta V$	Variação do volume de água
$\Delta N_i$	Variação do número de irrigações

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	Hipótese .....	19
1.2	Objetivo geral.....	19
1.3	Objetivos específicos.....	19
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1	Plantas Medicinais e óleo essencial .....	20
2.2	<i>Melissa officinalis</i> L. ....	22
2.3	Influência do déficit hídrico sobre a produção de biomassa e óleo essencial.....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1	Caracterização dos experimentos e ciclos de cultivo .....	28
3.2	Localização e clima .....	28
3.3	Mudas .....	28
3.4	Delineamento experimental .....	29
3.5	Práticas culturais .....	30
3.6	Caracterização do sistema de irrigação.....	30
3.7	Avaliação da uniformidade de emissão de água pelo sistema de irrigação.....	31
3.8	Caracterização do experimento I .....	33
3.9	Caracterização do experimento II .....	33
3.10	Características avaliadas .....	33
3.10.1	Altura da planta .....	34
3.10.2	Diâmetro de caule .....	34
3.10.3	Área foliar.....	34
3.10.4	Biomassas.....	35
3.10.5	Extração do óleo essencial .....	36
3.10.6	Rendimento de óleo essencial.....	37
3.10.7	Produção de óleo essencial por planta .....	38
3.10.8	Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas.....	38
3.10.9	Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial .....	39
3.11	Variáveis meteorológicas .....	39
3.12	Análises estatísticas .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
4.1	Duração dos ciclos de cultivo .....	42
4.2	Resultados da avaliação de uniformidade do sistema de irrigação .....	42

4.3	Condições meteorológicas durante o desenvolvimento dos experimentos .....	43
4.4	Experimento I (volume de água repostado ao solo).....	47
4.4.1	Volume de água aplicado .....	47
4.4.2	Altura de planta .....	51
4.4.3	Diâmetro de caule .....	56
4.4.4	Biomassa seca de folhas .....	58
4.4.5	Biomassa seca de raiz .....	62
4.4.6	Relação parte aérea/raiz.....	65
4.4.7	Área foliar.....	67
4.4.8	Produção e rendimento de óleo essencial.....	70
4.4.9	Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas.....	73
4.4.10	Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial .....	76
4.5	Experimento II (frequência de irrigação) .....	77
4.5.1	Número de irrigações realizadas .....	77
4.5.2	Altura de planta .....	79
4.5.3	Diâmetro de caule .....	81
4.5.4	Biomassa seca de folhas .....	82
4.5.5	Biomassa seca de raiz .....	85
4.5.6	Relação parte aérea/raiz.....	87
4.5.7	Área foliar.....	88
4.5.8	Produção e rendimento de óleo essencial.....	90
4.5.9	Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas.....	92
4.5.10	Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial .....	94
5	CONCLUSÕES .....	96
	REFERENCIAS .....	97

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo, observa-se um aumento expressivo da busca, pela população, por produtos naturais no intuito de substituir alimentos e medicamentos industrializados e aumentar a qualidade de vida. Só na indústria farmacêutica, 25% dos medicamentos produzidos possuem origem direta ou indireta em espécies vegetais, e 50% das maiores companhias farmacêuticas do mundo, financiam programas de pesquisa na área de produtos naturais (PINTO, 2002, YUNES; CALIXTO, 2001). Além de promover uma vida mais saudável, com o aumento da procura, e conseqüentemente da demanda, há um crescimento desse mercado que reflete diretamente sobre a produção agrícola.

No reino vegetal várias plantas se destacam por apresentarem substâncias que quando incorporadas ao organismo animal, na dosagem correta, produzem efeitos benéficos. Essas plantas são denominadas plantas medicinais. Além da perspectiva favorável de crescimento do mercado de produtos naturais, o cultivo de plantas medicinais tem aumentado em virtude da liberação da comercialização de várias espécies medicinais pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A *Melissa officinalis* L. é uma planta medicinal de grande importância para a população devido a sua atividade antioxidativa, antiinflamatória, analgésica, relaxante, sedativa, dentre outras finalidades (GUGINSKI, 2007; LORENZI; MATOS, 2008; MARTINS et al., 2000; MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012). Seu uso é recomendado desde 2006, como fitoterápico, no Sistema Único de Saúde (SUS), através da Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares.

Tendo em vista a importância do cultivo da *Melissa officinalis* L. e a perspectiva favorável de crescimento do mercado de produtos naturais é de suma importância o desenvolvimento de estudos que aumentem a eficiência e otimizem o uso de insumos com objetivo de maximizar a produção da cultura e a lucratividade do produtor, com vistas a viabilidade técnica e econômica do empreendimento.

Dentre as técnicas de produção das culturas agrícolas, principalmente quando cultivadas em ambiente protegido, o manejo da irrigação tem papel fundamental, pois quando realizado de forma correta, possibilita o aumento da qualidade do produto, maior produção, maior aproveitamento da adubação e dos tratos fitossanitários. Em se tratando de plantas medicinais, maior produção de biomassa e óleo essencial. Atualmente, devido a toda problemática envolvendo o uso da água, garante a otimização do uso desta, aplicando somente o necessário para a cultura se desenvolver.

Devido a relevância do assunto abordado, foi desenvolvido o presente estudo, a fim de avaliar os efeitos de diferentes regimes hídricos sobre o crescimento, produção de biomassa, produção e o rendimento de óleo essencial na cultura da *Melissa officinalis* L., cultivada em ambiente protegido, irrigada por gotejamento em duas épocas de cultivo.

### **1.1 Hipótese**

A hipótese investigada é de que a disponibilidade de água no solo pode influenciar diferentemente o crescimento, a produção de biomassa, a produção e o rendimento de óleo essencial de *Melissa officinalis* L.

### **1.2 Objetivo geral**

Avaliar a influência da disponibilidade de água no solo sobre o crescimento, a produção de biomassa, a produção e o rendimento de óleo essencial de *Melissa officinalis* L. cultivada em ambiente protegido, irrigada por gotejamento em duas épocas de cultivo.

### **1.3 Objetivos específicos**

Determinar o volume de água no solo, em relação à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), assim como a frequência de irrigação por gotejamento mais adequada para o cultivo de *Melissa officinalis* L. em termos de crescimento em altura e diâmetro, área foliar, produção de biomassa seca de folhas, biomassa seca de raiz, relação biomassa seca da parte aérea/raiz, produção e rendimento de óleo essencial.

Determinar a eficiência do uso da água pela cultura em função da produção de biomassa seca e em função da produção de óleo essencial em relação ao volume de água repostado ao solo e da frequência de irrigação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Plantas Medicinais e óleo essencial

No reino vegetal várias plantas se destacam por apresentarem substâncias que quando incorporadas ao organismo animal, na dosagem correta, produzem efeitos benéficos, a essas plantas denominamos medicinais.

As plantas possuem em um ou em vários de seus órgãos, ou seja, nas folhas, caule, flores e raízes, substâncias que não estão diretamente relacionadas ao crescimento, desenvolvimento e à reprodução. São chamadas de substâncias secundárias e são utilizadas com finalidade terapêutica, aromática ou condimentares. De acordo com Taiz e Zeiger (2013), os metabólitos secundários podem ser divididos em três grupos principais: terpenoides, compostos fenólicos e compostos nitrogenados.

Nas plantas com finalidade terapêutica, as substâncias secundárias são conhecidas como “princípio ativo”. Esses incluem alcaloides, mucilagens, flavonoides, taninos, cumarinas, óleos essenciais, entre outros (CARVALHO, 2015). São largamente utilizados pela indústria farmacêutica, segundo Pinto (2002) e Yunes e Calixto (2001), 25% dos medicamentos utilizados são obtidos de espécies vegetais isolados diretamente ou produzidos por síntese a partir de um precursor vegetal. Ainda de acordo com os autores, pelos menos a metade das 250 maiores companhias farmacêuticas do mundo financiam programas de pesquisa na área de produtos naturais.

Os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias voláteis, com cheiro e sabor característico, produzidos por células especializadas em sintetizar, armazenar e secretar tipos variados de metabólitos, conhecidas por tricomas glandulares. Sua composição não apresenta estabilidade, estando sua produção relacionada aos fatores ambientais. Possui diversas funções necessárias à sobrevivência vegetal, exercendo papel fundamental na defesa contra microrganismos predadores à planta. São, geralmente, incolores ou ligeiramente amarelados, insolúveis em água, mas solúveis em solventes orgânicos. Existem várias técnicas de extração dos óleos essenciais, no entanto, a destilação a vapor de água é o método mais utilizado comercialmente (BAKKALI et al., 2008; GONÇALVES et al., 2003; PRABUSEENIVASAN; JAYAKUMAR; IGNACIMUTHU, 2006).

As plantas aromáticas, são aquelas com compostos com aroma característico e marcante, em geral agradável, utilizadas na produção de fragrâncias e perfumes. As condimentares são aquelas utilizadas na culinária, como tempero e também na conservação (as especiarias) de alimentos, devido ao sabor que conferem a eles (CARVALHO, 2015).

O uso de plantas medicinais, provavelmente, é tão antigo quanto o aparecimento do próprio homem. Desde a antiguidade são utilizadas como medicamentos naturais, devido às suas propriedades antimicrobianas, na culinária, como forma de valorizar as propriedades organolépticas dos alimentos e na agricultura, como alternativa ao uso de produtos químicos sintéticos (ANTUNES; CAVACO, 2010; BOZIN et al., 2006; CARBONI, 2013; DORMAN; DEANS, 2000; VIUDA-MARTOS et al., 2008).

De acordo Guginski (2007), na civilização grega, vários filósofos podem ser destacados por suas obras sobre história natural. Dentre eles, Hipócrates, considerado o pai da medicina moderna, que se caracterizou por tomar a natureza como guia na escolha dos remédios (*Natura medicatrix*), e quem primeiro registrou a utilização da espécie *Papayer somniferum*, cujo princípio ativo é a morfina, e Teofrasto (372 a.C.), discípulo de Aristóteles, escreveu vários livros sobre a história das plantas.

Considerando o total de 250.000 espécies de plantas superiores no mundo, estima-se que entre 35.000 a 75.000 foram utilizadas como medicinais por uma ou outra cultura em determinada época (FARNSWORTH; SOEJARTO, 1991). No entanto, apesar da diversidade da flora, sobretudo em florestas tropicais, de acordo com Trentini (1997), apenas 5 a 7% desse potencial foi devidamente analisado. Vista a diversidade de biomas e a quantidade de espécies de vegetais no Brasil, o país detém um grande potencial para o segmento de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. É o país com maior número de espécies de plantas do mundo, dentre os 1,4 milhão de organismos catalogados, 10% encontram-se aqui, com destaque para os vegetais superiores, que somam 55 mil espécies (BRASIL, 2006a; WANDERER, 2004).

O uso de plantas medicinais para o tratamento de saúde básica no Brasil é tradicional e tem origem na cultura dos povos indígenas nativos, da influência africana e da colonização europeia (BRASIL, 2006a). O alto custo dos medicamentos industrializados, o difícil acesso da população à assistência médica, bem como a tendência nos dias atuais ao uso de produtos de origem natural, também contribuem para o aumento da utilização das plantas medicinais (BRASILEIRO, 2008). No entanto, muitas vezes seu uso se dá de forma indiscriminada, podendo se tornar bastante perigosa quando realizada sem orientação, considerando que muitas plantas podem apresentar difícil identificação, composição química variável ou ainda relativa toxicidade (FÉLIX-SILVA et al., 2012).

Desde a Declaração de Alma-Ata, em 1978, a Organização Mundial da Saúde (OMS) tem expressado sua posição a respeito da necessidade de valorizar a utilização de plantas medicinais no âmbito sanitário, em função de que 80% da população mundial depende dessas

espécies, no que se refere à atenção primária à saúde (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS / FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA - UNICEF, 1979).

A aprovação da Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos através do Decreto nº 5.813, de 22 de junho de 2006, e da Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares, prevendo o tratamento com Plantas Medicinais e Fitoterápicos no Sistema Único de Saúde (SUS), conforme disposto na Portaria nº 971, de 3 de maio de 2006, do Ministério da Saúde, constituiu um incentivo ao mercado interno sem precedentes na história do país (BRASIL, 2006b, 2006c, 2006d).

Como todo corpo estranho, os produtos de sua biotransformação são potencialmente tóxicos e por isso a qualidade da matéria-prima e seu uso requerem atenção e cuidados (CARVALHO, 2015). A qualidade, das plantas medicinais cultivadas no Brasil é ainda baixa. Dentre os principais problemas destacam-se o teor de princípio ativo menor do que o recomendado ou esperado; presença de elementos estranhos (partículas de terra, fuligem proveniente da queima de combustíveis e partes de insetos; falsificações de espécies (espécie botânica errada); e, presença de agroquímicos (BRASIL, 2006d).

Embora, há muitas gerações, o homem utilize as plantas medicinais, são limitados os conhecimentos sobre os mecanismos envolvidos na produção de seus metabólitos, cujas características podem ser importantes para garantir culturas mais produtivas (FIGUEIREDO; MIGUEL, 2010). Atualmente, o que se sabe é que essas substâncias são produzidas pela resposta devido à interação dos vegetais a estímulos ambientais de natureza física, química ou biológica (LORDÉLLO, 2015).

A importância econômica das plantas medicinais está relacionada diretamente à composição química do óleo essencial produzido. Sazonalidade, ciclo de crescimento vegetativo, altitude, poluição atmosférica, indução por estímulos mecânicos, tempo de colheita, processo de obtenção do óleo, fertilidade do solo, radiação solar, temperatura do ar e do solo, disponibilidade hídrica, podem influenciar e alterar a composição química dos óleos essenciais (BARREIRO; MANSUR, 2001; GOBBO NETO; LOPES, 2007; LORDÉLLO, 2015; ONOFRE et al., 2008; SIMÕES et al., 2007).

## **2.2 *Melissa officinalis* L.**

A *Melissa officinalis* L. é uma planta medicinal pertencente da família Lamiaceae, assim como a menta, sálvia, hortelã, o manjeriço, orégano, dentre outras espécies. Popularmente no Brasil é conhecida como melissa ou erva cidreira, chá da França ou bálsamo, este último

derivado do nome popular na língua inglesa *lemon balm*. É originária da Ásia, norte da África e sul da Europa, tem sido utilizada pelo homem desde os tempos da Grécia antiga (AOYAMA; INDRIUNAS; FORLAN, 2011; GUGINSKI, 2007). Por ser uma planta rústica, de fácil cultivo, atualmente encontra-se em vários países de clima subtropical e temperado. É encontrada em quase todo território brasileiro (SODRÉ, 2007).

É uma planta herbácea, perene, podendo atingir até 100 cm de altura. Possui caule ereto, quadrangular, muito ramificado, piloso e aromático, com raízes fibrosas. As folhas são de cor verde escuro, opostas, ovaladas, cordiformes, pecioladas, suavemente dentadas, muito parecidas com as folhas de hortelã, com 5 a 8 cm de comprimento. As flores são brancas ou amarelas, podendo se tornar rosadas na medida que envelhecem. São reunidas em fascículos de 2 a 6 unidades com florescimento, de outubro a março, na Europa (BLANK et al., 2005; REIS et al., 2008; WANDERER, 2004). Devido às condições climáticas geralmente no Brasil não completa seu ciclo, portanto não floresce, não produzindo sementes. As mudas devem ser feitas por divisão de touceiras, por estacas de ramos ou através da importação de sementes. Estas são de fácil obtenção no comércio, sendo o método mais usual de propagação em lavouras comerciais. Para uniformizar a germinação, antes do plantio, as sementes devem ser mergulhadas em água morna, com temperatura entre 25 a 35 °C, por 24 horas (PANIZZA, 1997; SILVA et al., 2004). A germinação varia de 7 a 21 dias de acordo com as condições ambientais: temperatura, umidade do solo, oxigênio, luz e disponibilidade de nutrientes. Seu ciclo de vida varia de 90 dias no verão, a 120 dias no inverno (COUTO, 2006; MEIRA et al., 2013).

Solos ricos em matéria orgânica, com pH maior que 5,5, úmidos, porém bem drenados são os de preferência da cultura. Em se tratando de uma planta medicinal, a adubação orgânica é a mais recomendada, pois atende bem às necessidades nutricionais da cultura, sendo a principal fonte de nutrientes e energia para os microrganismos do solo, fornecendo macronutrientes e principalmente micronutrientes para a planta, além de ter baixo custo e alto retorno para a agropecuária (ALVARENGA, 2003; SANTOS et al., 2009; SODRÉ, 2007). No entanto, segundo May et al. (2008), a melissa responde significativamente à adubação nitrogenada. Os autores obtiveram 2,7 mil quilos por hectare de massa seca com aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, para a testemunha sem aplicação de N o rendimento foi de apenas 1,7 mil kg ha<sup>-1</sup>. Já Hernández, Ferrada e Luz (2001) encontraram 5,7 mil kg ha<sup>-1</sup>, com 4 cortes ao ano, com aplicação de 108 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados a cada corte.

Figura 1 – Aspecto botânico da *Melissa officinalis* L.



Fonte: Do autor (2019).

De acordo com Oliveira (1995) a colheita é iniciada logo que aparecem os primeiros botões florais, com corte a 10 cm do solo. No entanto, como no Brasil não há emissão de flores, a recomendação é que o corte seja feito considerando o ciclo de cultivo da cultura, entre 90 a 120 dias. Blank et al. (2005) analisaram a influência da altura e do intervalo de corte em melissa no Nordeste brasileiro, concluíram que o corte a 10 cm do solo proporcionou maior peso seco de caule. Dentre as alturas analisadas, 5 e 10 cm, não houve diferença significativa quanto ao peso seco de folhas, no entanto, o corte a 10 cm proporcionou maior sobrevivência das plantas e desenvolvimento mais rápido da rebrota. Os autores recomendam a colheita da rebrota com 11 semanas após o primeiro corte.

Devido aos diferentes tipos de propagação e à falta de padronização do material genético das mudas, aliado aos diferentes manejos adotados na condução da cultura, como fertilidade do solo e irrigação, na literatura são encontrados diferentes valores de produtividade. Segundo Oliveira (1995) e Wanderer (2004), a produtividade varia de 10 a 15 mil kg ha<sup>-1</sup> de biomassa fresca, tendo um rendimento de 2,5 a 3,5 mil kg ha<sup>-1</sup> de biomassa seca. Hernández, Ferrada e Luz (2001) encontraram produtividade de 30 mil kg ha<sup>-1</sup> de massa fresca, com rendimento de 5,7 mil kg ha<sup>-1</sup> de biomassa seca da parte aérea. Segundo Martins et al. (2000), em plantios

comerciais a produtividade pode alcançar 1,8 mil kg ha<sup>-1</sup> de folhas secas por ano. Utilizando sementes importadas, Wanderer (2004) obteve variação de 170 a 280 g m<sup>-2</sup> e 134 a 275 g m<sup>-2</sup> de folhas secas para o primeiro e segundo corte, respectivamente. Para as cultivares “Landor” e “MO”, Montanari Júnior, Pereira e Magalhães (1997) obtiveram variação de 116,5 g m<sup>-2</sup> a 180,6 g m<sup>-2</sup> e 558,4 g m<sup>-2</sup> e 259,6 g m<sup>-2</sup> de folha seca, respectivamente, para o primeiro e segundo corte.

A secagem deve ser feita em ambiente escuro e temperatura até 38 °C, pois a claridade provoca a oxidação e conseqüentemente escurecimento das folhas (WANDERER, 2004), já temperaturas elevadas podem provocar a volatilização do óleo essencial.

Nas folhas e flores da melissa estão presentes tricomas secretores que são estruturas responsáveis por sintetizar substâncias secundárias (LORENZI; MATOS, 2008, MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012). Diferentemente das substâncias primárias, as substâncias secundárias não estão diretamente relacionadas com o processo de crescimento, desenvolvimento e reprodução dos vegetais, agem na proteção contra predadores ou como atrativo de polinizadores nas plantas (MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Cada família, gênero ou espécie possui uma via metabólica secundária exclusiva que leva a formação de determinados compostos secundários que podem ser separados de acordo com as estruturas químicas em vários grupos, como compostos polifenólicos e óleos essenciais (GUGINSKI, 2007). Na *Melissa officinalis* L. o principal grupo é o de óleos essenciais, como o citral  $\alpha$  e  $\beta$ , aldeídos, monoterpênicos, sesquiterpenos flavonoides e taninos, bastante apreciados pela indústria farmacêutica devido a sua atividade antioxidativa, anti-inflamatória, antifúngica, bactericida, antivirótica, cicatrizante, analgésico, relaxante, sedativa, expectorante, antiespasmódico, dentre outros (GUGINSKI, 2007; LORENZI; MATOS, 2008; MARTINS et al., 2000; MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012). Além de ser utilizada popularmente no controle de crises nervosas, taquicardia, melancolia, histerismo e ansiedade (HABER et al., 2005; MEIRA; MARTINS; MANGANOTTI, 2012). Na culinária, para temperar carnes brancas e peixes, saladas, molhos, doces, sucos, licores e como aromatizante de pratos e em cosméticos para herpes labial, inchaços e alergias (HÄLVÄ; CRAKER, 1996; MING, 1992; WANDERER, 2004).

O rendimento de óleo essencial na cultura da melissa é baixo, em torno de 0,02 a 0,4% (SARER; KÔKDIL, 1991). Devido a seus constituintes químicos, sua eficácia fitoterápica, ao baixo rendimento de óleo e a crescente busca pela população por produtos naturais, a melissa possui alto valor no mercado, sendo oferecido até R\$11,00 por quilo de folha seca e R\$23,50 cada 10 mL de óleo essencial. Por ser uma cultura de fácil manejo e não exigir grandes

investimentos, adapta-se muito bem a pequena propriedade, tornando-se uma alternativa de renda para o agricultor (MARTINS et al., 2000; MEIRA et al., 2013; WANDERER, 2004).

### **2.3 Influência do déficit hídrico sobre a produção de biomassa e óleo essencial**

A água é um dos fatores ambientais determinantes da diversidade produtiva dos vegetais, podendo comprometer as funções vitais ou estimular reações adaptativas que capacitem as plantas a sobreviverem por períodos longos de estresse hídrico (DINIZ, 1999). A sua importância para as plantas reside no fato de que todas as atividades metabólicas das células são afetadas direta ou indiretamente pelo nível de hidratação (FERREIRA, 1992), por atuar como solvente nos processos bioquímicos. Em tecidos metabolicamente ativos pode constituir até 95% da massa verde. 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).

O déficit hídrico é caracterizado por uma situação em que a evapotranspiração supera o aporte de água às plantas. Ocorre quando o conteúdo de água de um tecido ou célula está em quantidade inferior ao mais alto exibido no estado maior de hidratação, influenciando diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013), através da morfologia, fisiologia e bioquímica. A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O desenvolvimento das culturas depende de condições favoráveis do ambiente como: a incidência luminosa, a temperatura e a irrigação, devendo esta ser fornecida de acordo com a necessidade de cada espécie (BORGES; RENA, 1993), na quantidade e no momento mais adequado. Tanto o déficit hídrico como o excesso, que impede a oxigenação das raízes, reduz as atividades metabólicas da planta, comprometendo o desempenho ótimo de área foliar, produção de folhas e o crescimento em altura.

O déficit hídrico pode diminuir a produção de massa seca de plantas sem afetar a qualidade do óleo essencial, no entanto, 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., 2005; JOSÉ, 2014; PRAVUSCHI et al., 2010).

Por ser a água essencial à vida e ao metabolismo das plantas, pressupõe-se que em ambientes mais úmidos a produção de metabólitos secundários seja maior, no entanto, isso nem

sempre ocorre (MORAIS, 2009). As consequências do déficit hídrico sobre a produção e composição de óleo essencial variam de acordo com o tipo de planta e seu genótipo, podendo aumentar, diminuir ou não surtir efeito sobre o mesmo (FARAHANI et al., 2009).

Sobretudo, vários autores evidenciam que o déficit hídrico promove um acúmulo maior de metabólitos secundários na maior parte das espécies estudadas (FARRANT, 2000; OLIVER et al., 2001). De acordo com Selmar e Kleinwachter (2013), plantas submetidas ao déficit hídrico tendem a aumentar as concentrações de quase todas as classes de metabólitos secundários, tais como fenóis, terpenos, alcaloides, glicosídeos cianogênicos e glucosinolatos.

Simon et al. (1992), analisaram a influência do déficit hídrico sobre a composição do óleo essencial de *Ocimum basilicum* L., de acordo com os autores houve redução no rendimento de massa seca total, no entanto, o rendimento de óleo essencial foi duas vezes maior. A composição do óleo essencial também sofreu alterações, havendo redução no percentual de sesquiterpenos e aumento no percentual de linalol e metilchavicol.

Na cultura da *Melissa officinalis* L. alguns trabalhos têm corroborado com a ideia de que o déficit hídrico promove um acúmulo maior de metabólitos secundários. Abbaszadeh, Farahani e Morteza (2009), Farahani et al. (2009) e Meira et al. (2013), citam que o crescimento e a produção de fitomassa são influenciados pela disponibilidade hídrica, entretanto, a melhor produção de óleo essencial é obtida com menores lâminas aplicadas.

Abreu e Mazzafera (2005) citam que, para a produção de óleo essencial, a irrigação deve ser suspensa, pois em situações de déficit hídrico, o carbono fixado fotossinteticamente da síntese de metabólitos primários é redirecionado para a síntese de metabólitos secundários, no intuito de protegerem a planta, propiciando melhores condições de sobrevivência.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização dos experimentos e ciclos de cultivo

O presente estudo é composto por dois experimentos a fim de avaliar a interação entre o (i) volume de água aplicado e a (ii) frequência de irrigação sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da *Melissa officinalis* L., irrigada por gotejamento e cultivada em ambiente protegido, com repetição em dois ciclos de cultivo. O primeiro ciclo ocorreu, em sua totalidade, no verão e o segundo ciclo, predominantemente, na primavera.

#### 3.2 Localização e clima

Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido pertencente ao Setor de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (DRS) no *campus* da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais.

Lavras está localizada na região Sudeste do Brasil e no sul de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas: latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W e 918 m de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen o clima da região é caracterizado como *Cwa*, ou seja, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com inverno seco e temperatura do mês mais quente superior a 22 °C (22,8 °C em fevereiro), precipitação média anual de 1460 mm e evapotranspiração potencial média anual de 956 mm (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

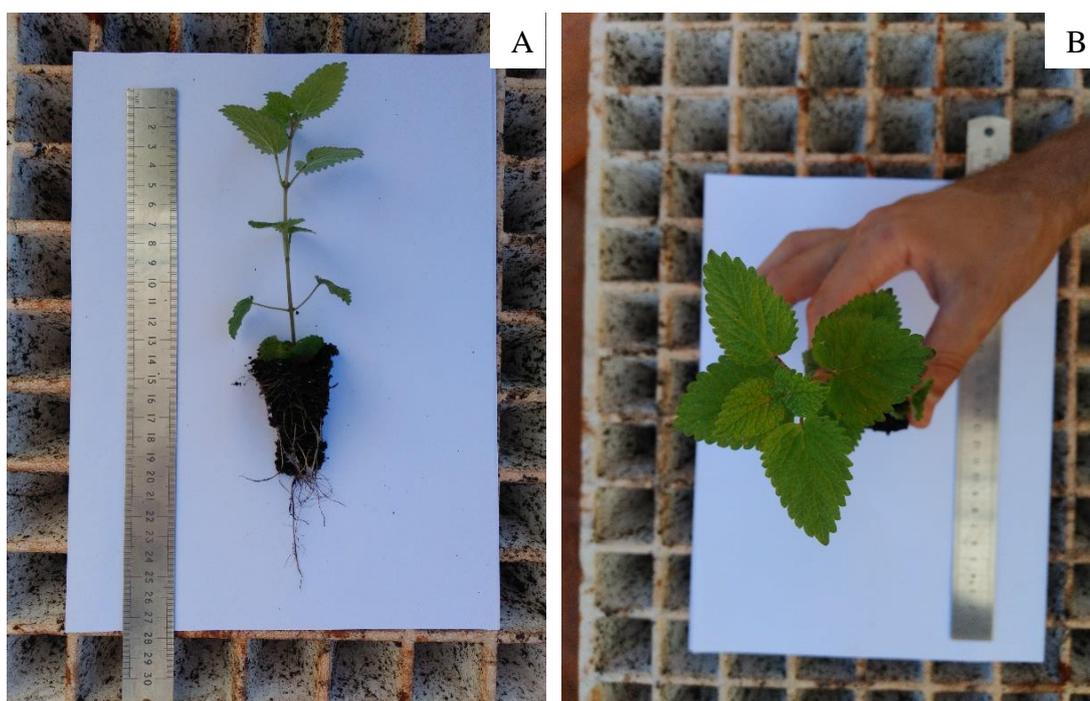
O ambiente protegido onde os trabalhos foram desenvolvidos possui estrutura metálica e cobertura em arco, comprimento de 15 m, largura de 7,5 m, portanto, área total de 112,5 m<sup>2</sup> e pé direito de 3,5 m. A cobertura é em filmes de polietileno transparente de 150 micra com tratamento anti-UV. As fachadas laterais e frontais estão assentadas sobre um rodapé com base de concreto e bloco de 0,30 m de altura, foram fechadas com tela de polipropileno na cor branca.

#### 3.3 Mudanças

As mudas de *Melissa officinalis* L. foram cedidas pelo Laboratório de Cultura de Tecidos, do Setor de Plantas medicinais do Departamento de Agricultura (DAG) da UFLA. Foram produzidas por meio de cultivo *in vitro*, a partir de plantas matrizes. Posteriormente foram colocadas em substrato de cultivo em bandejas de 128 células. Após 30 dias, conforme

pode ser observado na Figura 2A e na Figura 2B, com, em média, 0,10 m de altura, foram transplantadas em vasos plásticos de 13 L, preenchidos com solo e esterco bovino na proporção 2:1, respectivamente. Foi colocado uma muda por vaso.

Figura 2 – Comprimento (A) e aspecto geral (B) das mudas de *Melissa officinalis* L. na data do transplante do experimento I.



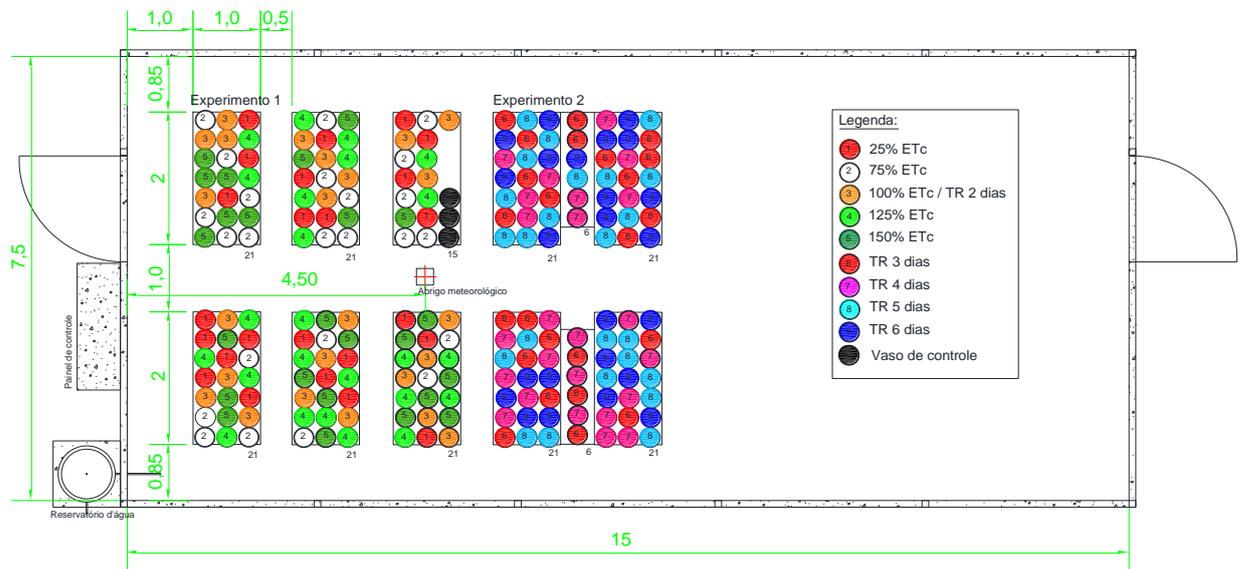
Fonte: Do autor (2019).

Cinco dias antes do transplante das mudas, foi aplicado um volume de água nos vasos até que a percolação se iniciasse e a seguir, estes foram cobertos por filme plástico para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Os vasos foram colocados em bancadas de estrutura metálica e cobertura de telado metálico.

### 3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado nos dois experimentos foi o de blocos casualizados, conforme croqui de distribuição apresentado na Figura 3. A caracterização do estudo em relação aos tratamentos e repetições adotados em cada experimento está descrito no item 3.8 (experimento I) e item 3.9 (experimento II).

Figura 3 – Alocação dos experimentos (I e II) e distribuição dos tratamentos no interior do ambiente protegido.



Fonte: Do autor (2019).

### 3.5 Práticas culturais

Por meio de observações diárias foi verificado a presença de plantas daninhas, pragas e doenças, durante toda a condução dos experimentos. Quando detectado a presença de plantas daninhas estas foram retiradas imediatamente. Em ambos os ciclos de cultivo não foram observados pragas e/ou doenças em quantidade significativa nos experimentos que justificassem um controle com uso de produtos químicos.

### 3.6 Caracterização do sistema de irrigação

Adotou-se o sistema de irrigação por gotejamento, sendo composto por um reservatório de água com capacidade de 1.000 L, conjunto motobomba de  $\frac{1}{2}$  cv, cabeçal de controle em PVC com filtro de disco, válvula de tomada de pressão, válvula antivácuo e válvula de controle de 1". Para cada tratamento foi utilizada uma válvula hidráulica de acionamento por comando elétrico, acionadas por meio de um controlador programável digital (Figura 4). Na linha principal, nas linhas secundárias e nas linhas de irrigação foram usados polietileno (PEBD) com diâmetro nominal (DN) igual a 16 mm. Foram usados gotejadores autocompensantes do tipo

*on-line* com vazão nominal de  $4 \text{ L h}^{-1}$ , sendo um gotejador por vaso e microtubos para direcionar a água para a superfície dos vasos.

Figura 4 – Controlador digital utilizado para programação das irrigações durante a condução dos experimentos.



Fonte: Do autor (2019).

### 3.7 Avaliação da uniformidade de emissão de água pelo sistema de irrigação

Antes do transplante das mudas para os vasos e após a colheita foram realizadas avaliações da uniformidade de emissão de água pelo sistema de irrigação.

Foram calculados o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente de distribuição de Christiansen (CUC) conforme proposto por Christiansen (1942) e Keller e Karmeli (1975), Equação 1 e Equação 2, respectivamente, em ambas as épocas de cultivo. Devido à alocação dos experimentos e à distribuição dos tratamentos, foram determinadas as vazões de todos os gotejadores do sistema de irrigação, o qual foi mantido durante toda avaliação sob pressão constante de  $1,5 \text{ kgf cm}^{-2}$ , dividindo-as de acordo com os tratamentos aplicados, de modo a avaliar a vazão média por tratamento e posteriormente obter o CUD e CUC geral para todo o sistema.

$$CUD = \frac{Y_{25}}{Y_m} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

CUD: coeficiente de uniformidade e distribuição (%);

$Y_{25}$ : média de 25% do total dos gotejadores com as menores vazões, ( $L h^{-1}$ );

$Y_m$ : média das vazões de todos os microaspersores ( $L h^{-1}$ ).

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |Q_i - Q_m|}{N * Q_m} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

CUC: coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

$Q_i$ : vazão média de cada gotejador ( $L h^{-1}$ );

$Q_m$ : vazão média de todos os gotejadores, ( $L h^{-1}$ );

N: número de gotejadores.

A partir dos resultados de CUD e CUC obtidos, calculados pela Equação 1 e Equação 2, respectivamente, foi possível classificar a uniformidade de emissão de água do sistema conforme parâmetros propostos por Mantovani (2002), descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos coeficientes CUD e CUC segundo Mantovani (2002).

CUD (%)	CUC (%)	Classificação
> 90	> 84	Excelente
80 – 90	68 – 84	Bom
70 – 80	52 – 68	Razoável
60 – 70	36 – 52	Ruim
< 60	< 36	Inaceitável

Fonte: Mantovani (2002).

### 3.8 Caracterização do experimento I

No experimento I foram avaliados tratamentos de irrigação que constaram de cinco volumes de água de reposição de água, definidos por: 25%, 75%, 100%, 125% e 150% do volume de água evapotranspirado pela cultura (ETc) entre duas irrigações consecutivas. Foi utilizado quatro repetições, com seis vasos por repetição por tratamento, totalizando 120 vasos, ou seja, 120 plantas.

A frequência de irrigação adotada no experimento I, foi de dois dias e o volume de água aplicado foi definido pela diferença média da pesagem diária de três vasos adicionais, definidos como vasos de controle (vc). Ou seja, a diferença entre a massa média dos vasos do dia anterior, considerado como massa úmida e a massa média dos vasos do dia de irrigação, considerado como massa seca, definiu o volume de água aplicado.

### 3.9 Caracterização do experimento II

No experimento II foi avaliada a frequência de irrigação, com tratamentos de dois, três, quatro, cinco e seis dias e reposição de 100% da ETc acumulada no período. Não foi adotada a frequência de irrigação de apenas um dia, visto que em cultivos comerciais os produtores de *Melissa officinalis* L. não fazem irrigação diária, devido à umidade excessiva que essa frequência pode causar, prejudicando a produção de óleo essencial.

Cada tratamento teve quatro repetições com seis vasos e uma planta por vaso, totalizando 120 plantas.

Assim, como no experimento I, o volume de água aplicado foi definido pela pesagem diária de três vasos adicionais (os mesmos usados no experimento I) e irrigados com volume igual ao consumido pela evapotranspiração (ETc) diária, acumulada na frequência de irrigação adotada em cada tratamento.

#### 3.10 Características avaliadas

As características de crescimento e desenvolvimento avaliadas foram altura da planta (AP), diâmetro de caule (DC), biomassa seca de folhas (MSF), biomassa seca de raiz (MSR), relação parte aérea e raiz (RPAR), área foliar (AF), produção (PO) e rendimento de óleo (RO), produtividade da água em relação à produção de massa seca (PAMS) e produtividade da água em relação à produção de óleo essencial (PAPO), em ambos os experimentos (I e II) e nas diferentes épocas de condução dos experimentos (verão e primavera).

### **3.10.1 Altura da planta**

A altura da planta foi medida semanalmente em três plantas de cada tratamento, escolhidas aleatoriamente no início dos experimentos, utilizando régua graduada em centímetro. Foram considerados como altura, a distância entre o nível do solo e o ápice do ramo principal (Figura 5A).

### **3.10.2 Diâmetro de caule**

O diâmetro de caule foi obtido utilizando-se paquímetro digital com unidades em milímetro (Figura 5B). Para essa avaliação padronizou-se a leitura tendo como referência o nível do solo. A medida foi determinada a cinco centímetros acima do nível do solo. Foram realizadas leituras semanais nas mesmas três plantas por tratamento, nas quais foram realizadas as avaliações de altura de planta.

### **3.10.3 Área foliar**

Para a avaliação da área foliar, no final de cada ciclo de cultivo, foi feito o corte de três plantas por tratamento. As folhas foram separadas dos caules e passadas no integralizador de área foliar modelo LI-3100 do fabricante LICOR<sup>®</sup>, conforme pode ser observado na Figura 5C.

Figura 5 – Avaliação de crescimento, altura (A), diâmetro de caule (B) e avaliação de área foliar (C).



Fonte: Do autor (2019).

#### 3.10.4 Biomassas

Para as avaliações de biomassa fresca e seca foi realizada a colheita das plantas no final de cada ciclo de cultivo (verão e primavera) de cada um dos experimentos. Foi feito o corte de cinco plantas por repetição por tratamento, totalizando 20 plantas por tratamento. O corte foi realizado ao nível do solo, portanto, houve a separação entre a parte aérea e a raiz.

Para determinação das biomassas foi utilizada balança com precisão de cinco gramas.

A biomassa fresca da parte aérea (MFA) foi determinada por planta, sendo na sequência, calculada a média por tratamento. Posteriormente, foram retiradas e separadas todas as folhas das 20 plantas, sendo determinada a média de biomassa fresca de folhas (MFF) por tratamento.

Na sequência, as folhas e os caules foram separados por repetição e tratamento, adicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar com temperatura igual a 40 °C e 60 °C, para folhas e caule, respectivamente, até atingirem massa constante. O limite de 40 °C para as folhas foi considerado no intuito de evitar volatilização do óleo essencial contido nos tricomas das folhas.

Foram escolhidos aleatoriamente três vasos com raiz remanescente do corte das plantas para avaliação. Os vasos foram retirados e a separação da raiz do composto solo mais esterco bovino foi feita através de jatos de água. Após a separação, as plantas foram colocadas para pré-secagem por 24 h ao ar sob temperatura e umidade natural. Decorrido as 24 h foi determinada a biomassa fresca de raiz (MFR) em balança de precisão de cinco gramas.

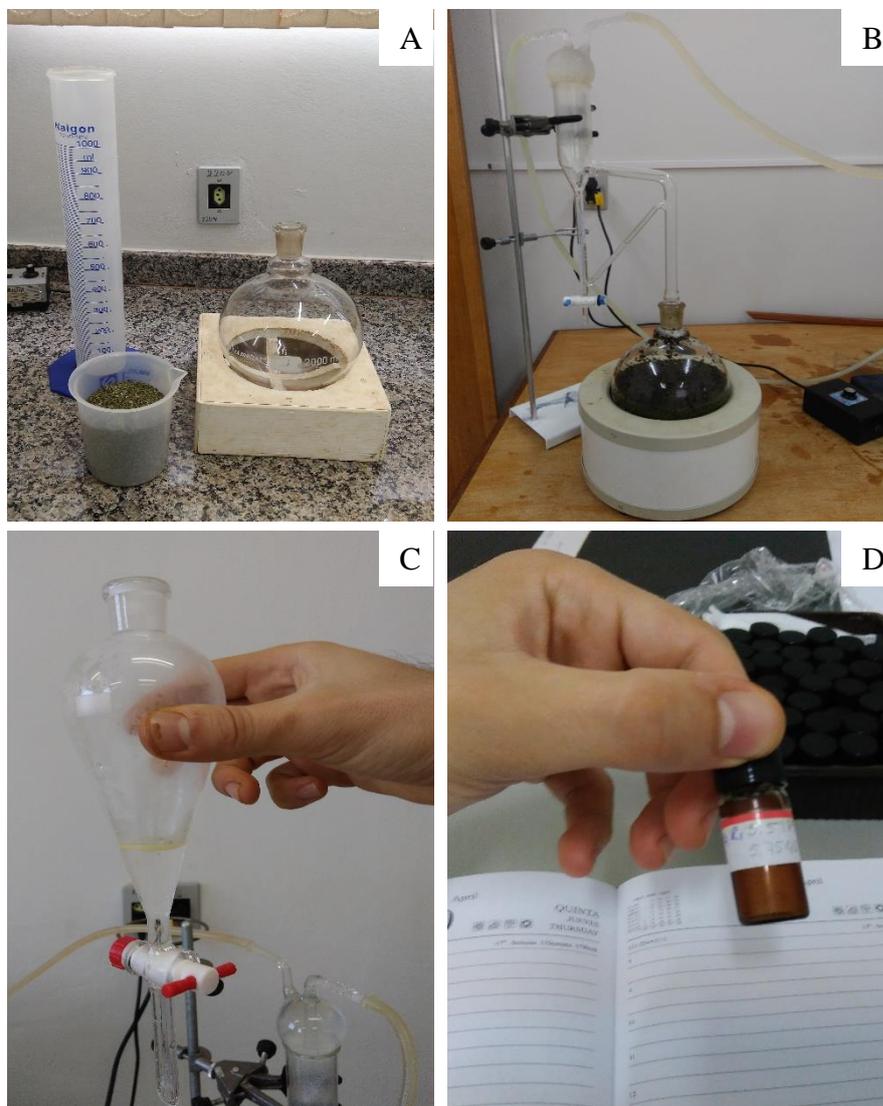
### **3.10.5 Extração do óleo essencial**

Antes da extração do óleo essencial a umidade residual do material vegetal seco foi determinada por radiação no infravermelho, utilizando balança MB45 Ohaus®, com secagem programada para 105 °C por 5 min. Os resultados foram expressos em perda percentual de umidade em massa através da média de três determinações, utilizando 2 g das folhas de *Melissa officinalis* L. cada determinação e os valores obtidos empregados nos cálculos dos teores e rendimentos de óleo essencial.

A extração do óleo essencial de *Melissa officinalis* L. foi realizada pelo processo de hidrodestilação. Utilizando-se 70 g de biomassa seca das folhas (MSF), em 1200 mL de água destilada (Figura 6A) por um período de 90 min, com quatro repetições por tratamento, em aparelho de Clevenger modificado (Figura 6B). O óleo essencial foi purificado por partição líquido-líquido com diclorometano (3x15 mL) (Figura 6C). A fase orgânica foi reunida e tratada com cerca de 5 g de sulfato de magnésio anidro durante 30 min. Após esse período a solução foi filtrada e armazenada em frascos de vidro, o solvente evaporado em evaporador rotatório, sob temperatura e pressão controladas (Figura 6D).

Após a extração, foram determinados o rendimento e a produção de óleo essencial na base seca das folhas.

Figura 6 – Preparação da amostra (A), processo de hidrodestilação usando aparelho de Clevenger modificado (B), final do processo de destilação com separação por densidade (C) e armazenamento do óleo essencial obtido (D).



Fonte: Do autor (2019).

### 3.10.6 Rendimento de óleo essencial

Para quantificação do rendimento de óleo essencial, previamente à extração, através da balança MB45 Ohaus®, determinou-se a massa de todos os frascos utilizados no armazenamento do óleo extraído. Após a extração, a massa do conjunto frasco mais óleo essencial foi determinado, obtendo-se a massa total de óleo pela diferença entre a massa do conjunto e a massa do respectivo frasco utilizado naquele tratamento.

A fim de aumentar a precisão dos valores obtidos, no cálculo do rendimento foi considerada a umidade residual da biomassa seca de folhas, determinada previamente conforme descrito no item 3.10.5.

Posteriormente, o rendimento de óleo essencial foi calculado pela razão entre a massa total de óleo essencial extraído e a biomassa seca de folha corrigida pela umidade residual utilizada (Equação 3).

$$RO = \frac{MO}{MSF'} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

RO: rendimento de óleo essencial (%);

MO: massa total de óleo extraído da amostra (g);

MSF': biomassa de folha seca corrigida pela umidade (g).

### 3.10.7 Produção de óleo essencial por planta

A produção de óleo essencial por planta foi obtida pelo produto entre a biomassa média de folhas secas por planta e o rendimento de óleo essencial (Equação 4).

$$PO = MSF_{\text{médio}} * RO \cdot 1000 \quad (4)$$

Em que:

PO: produção de óleo essencial (mg planta<sup>-1</sup>);

MSF<sub>médio</sub>: biomassa média de folhas secas por planta (g planta<sup>-1</sup>);

RO: rendimento de óleo (%).

### 3.10.8 Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas

Produtividade da água é um conceito que representa a relação entre a produção de uma determinada cultura, em termos de biomassa ou rendimento, e o volume total de água utilizado durante todo seu ciclo. Tem sido importante no intuito de quantificar a eficiência pelo uso da água, no objetivo de racionalizar seu uso (HALSEMA; VICENT, 2012).

No cálculo da produtividade da água em relação à produção de biomassa seca de folhas foi considerada a produção de biomassa média de folhas secas por planta e o volume total de água aplicado por planta durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da *Melissa officinalis* L. (Equação 5).

$$PAMS = \frac{MSF_{\text{média}}}{V_{\text{ap}}} \quad (5)$$

Em que:

PAMS: produtividade da água em relação a produção de biomassa seca ( $\text{g L}^{-1}$ );

$MSF_{\text{média}}$ : biomassa média de folhas secas por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ );

$V_{\text{ap}}$ : volume total de água aplicado por planta durante o ciclo da cultura ( $\text{L planta}^{-1}$ ).

### 3.10.9 Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial

De modo semelhante ao item 3.10.8, no cálculo da produtividade da água em relação à produção de óleo essencial, foi considerada a produção média de óleo essencial por planta e o volume total de água aplicado por planta no ciclo da cultura (Equação 6).

$$PAPO = \frac{PO}{V_{\text{ap}}} \quad (6)$$

Em que:

PAPO: produtividade de água em relação a produção de óleo essencial ( $\text{mg L}^{-1}$ );

PO: produção média de óleo essencial por planta ( $\text{mg planta}^{-1}$ );

$V_{\text{ap}}$ : volume total de água aplicado por planta durante o ciclo da cultura ( $\text{L planta}^{-1}$ ).

## 3.11 Variáveis meteorológicas

Diariamente a temperatura mínima e máxima do ar, bem como a umidade relativa do ar, mínima e máxima, dentro do ambiente protegido foram monitoradas e registradas, através de um termo-higrômetro digital modelo *Perception II*<sup>TM</sup> do fabricante Davis<sup>®</sup> (Figura 7).

Figura 7 – Termohigrômetro utilizado no monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar dentro do ambiente protegido.



Fonte: Do autor (2019).

Os dados de clima de temperatura, umidade do ar e precipitação (chuva) do ambiente local externo ao ambiente protegido, também foram monitorados e registrados no intuito de compará-los, e avaliar a influência deles sobre os dados internos ao ambiente protegido. Os dados externos ao ambiente protegido foram obtidos por meio de uma estação climatológica instalada próxima ao local do experimento e pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Tais dados foram disponibilizados e baixados do endereço virtual do INMET.

### **3.12 Análises estatísticas**

Os dados amostrados foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias de Scott-Knott a nível de significância de 5%. Quando obtido efeito significativo dos tratamentos sobre as características avaliadas, foi realizada análise de regressão.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional Sisvar, versão 5.3 (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Duração dos ciclos de cultivo

O primeiro cultivo ocorreu no verão, entre os dias 27 de dezembro de 2016, quando houve o transplântio das mudas e 28 de março de 2017, quando foi observado que a cultura estabeleceu o pico de crescimento, sendo realizada a colheita das plantas. A duração do ciclo da cultura foi de 90 dias. O segundo cultivo, também definido entre o transplântio e a colheita, ocorreu predominantemente na primavera, entre 22 de agosto de 2017 e 02 de dezembro de 2017. Teve duração de ciclo de 100 dias.

Em consonância com essas datas e épocas de cultivo, as repetições no tempo (ciclos) foram denominadas “verão” e “primavera”. Em ambos os experimentos e ciclos, a aplicação dos tratamentos foi iniciada aos 20 dias após transplântio (DAT).

Segundo Couto (2006) e Lorenzi e Matos (2002), o ciclo de vida da *Melissa officinalis* L. varia entre 90 a 120 dias, no verão e inverno, respectivamente. Portanto, a duração de ambos os ciclos nos experimentos, foi de acordo com os valores encontrados na literatura.

Apesar da pouca diferença, 10 dias, o menor ciclo obtido durante o cultivo no verão, pode ser explicado pela característica de plasticidade fenotípica da cultura, conforme citado por Bortolo, Marques e Pacheco (2009) e Meira et al. (2013). Sob altas temperaturas, a *Melissa officinalis* L. tende a acelerar o seu desenvolvimento fenológico, a fim de garantir a reprodução da espécie.

### 4.2 Resultados da avaliação de uniformidade do sistema de irrigação

A Tabela 2 representa os valores de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e os valores de Coeficiente de Uniformidade de Christansen (CUC), bem como suas respectivas classificações.

Nas duas avaliações realizadas no período referente ao cultivo de primavera, foram obtidos valores superiores aos valores das avaliações realizadas no cultivo de verão. De acordo com tais resultados, no cultivo de verão a uniformidade de emissão do sistema de irrigação pode ser classificada como “boa”, visto que os valores obtidos para o CUD e CUC na primeira avaliação (26/12/2016) foram iguais a 75% e 87%, respectivamente. Na segunda avaliação (27/03/2017), foram obtidos valores iguais a 81% e 90%, para o CUD e CUC, respectivamente.

Os valores de CUD e CUC foram, no cultivo de primavera, na primeira avaliação (21/08/2017), iguais a 87% e 92%, respectivamente. Na segunda avaliação (01/12/2017) os valores foram iguais a 89% e 92%, respectivamente. Tais valores permitiram classificar a uniformidade de emissão do sistema de irrigação no cultivo de primavera como “excelente”.

Tabela 2 – Vazão média por tratamento, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen do sistema de irrigação com respectiva classificação nos diferentes experimentos e épocas de cultivo.

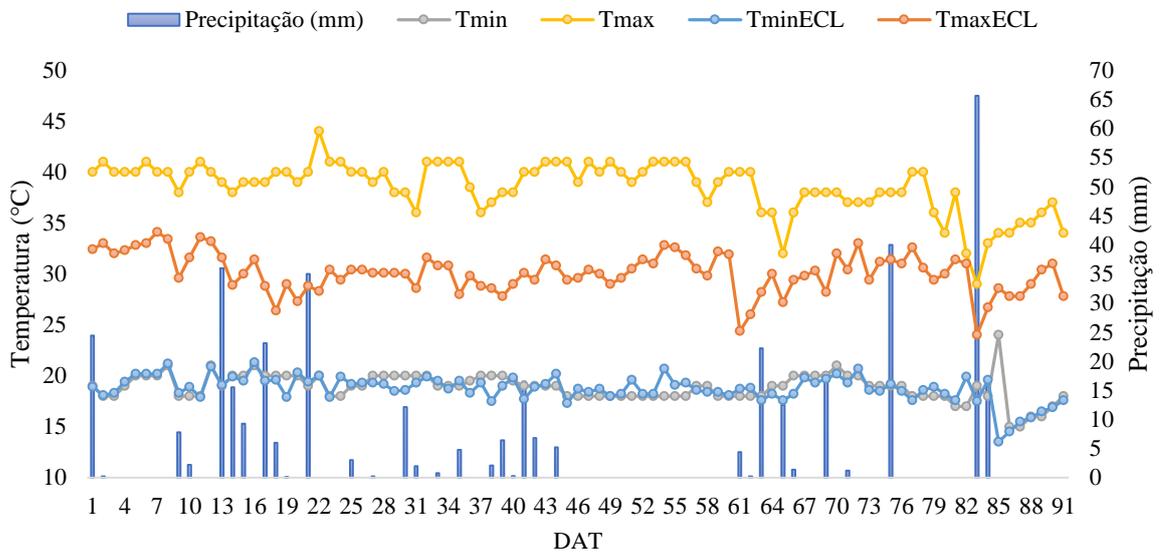
Época	Verão		Primavera	
	26/12/2016	27/03/2017	21/08/2017	01/12/2017
Tratamento	Vazão média (L h <sup>-1</sup> )			
25% ETc	3,90	4,23	4,07	4,05
75% ETc	3,96	3,95	4,09	4,10
100% ETc	4,10	4,08	3,97	4,07
125% ETc	4,19	4,24	4,09	4,15
150% ETc	3,96	3,48	4,01	3,95
2 dias	4,10	4,08	3,97	4,07
3 dias	3,93	3,81	3,81	3,95
4 dias	4,10	4,23	4,07	4,10
5 dias	3,79	3,89	4,11	3,90
6 dias	3,74	3,98	3,99	3,95
CUD	75% (Bom)	81% (Bom)	87% (Excelente)	89% (Excelente)
CUC	87% (Bom)	90% (Bom)	92% (Excelente)	92% (Excelente)

Fonte: Do autor (2019).

### 4.3 Condições meteorológicas durante o desenvolvimento dos experimentos

A caracterização do clima, dentro e fora do ambiente protegido, no período de desenvolvimento dos experimentos pode ser observada na Figura 8 e na Figura 9. Na Figura 8 são apresentados os valores de precipitação e a variação diária da temperatura mínima e máxima do ar, enquanto que na Figura 9 são apresentados os valores de precipitação e umidade relativa do ar mínima e máxima.

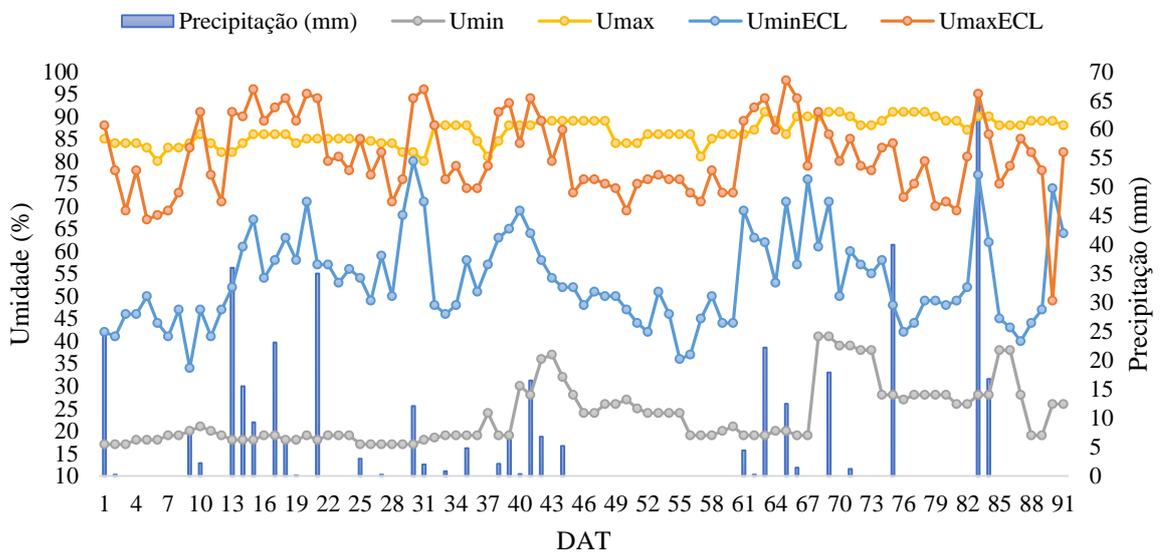
Figura 8 – Precipitação ocorrida e variação diária da temperatura mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo verão.



\*ECL – Estação climatológica de Lavras, MG.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 9 – Precipitação ocorrida e variação diária da umidade mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo verão.



\*ECL – Estação climatológica de Lavras, MG.

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 8, pode-se observar que os valores de temperatura máxima dentro do ambiente protegido foram maiores do que os registrados na estação meteorológica referente ao

clima local fora do ambiente protegido. Efeito já esperado pela ação da cobertura plástica que possui ação de aumentar a irradiância e que, conseqüentemente, aumenta o déficit de pressão de vapor, provocando aumento nos valores de temperatura. Já os valores diários de temperatura mínima dentro do ambiente protegido foram semelhantes quando comparados com os valores fora do ambiente protegido.

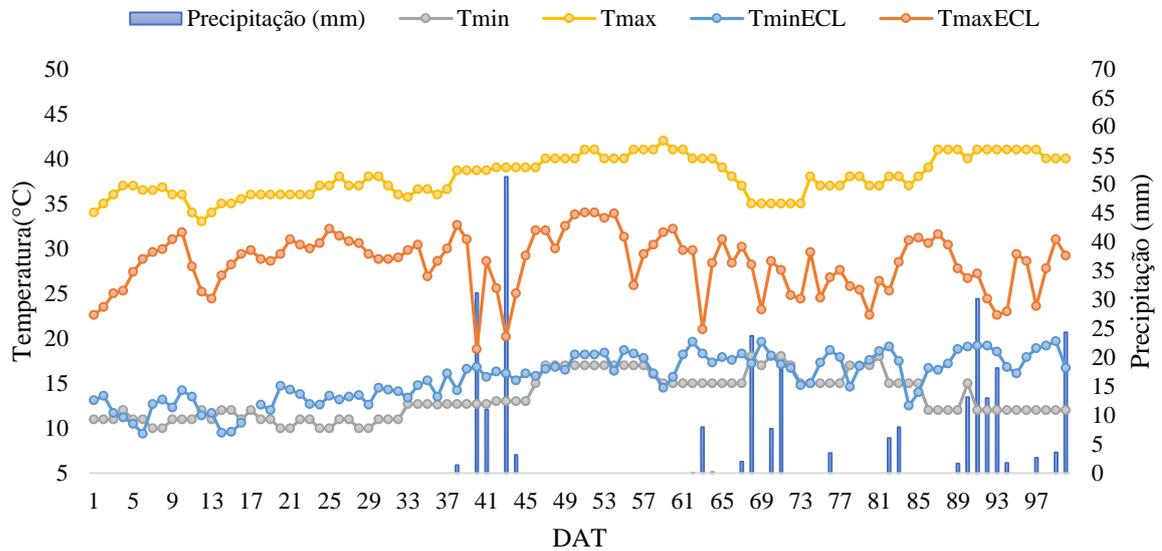
A temperatura mínima média durante a condução do experimento no cultivo de verão foi de 18,9 °C dentro do ambiente protegido, enquanto que, a temperatura mínima média fora do ambiente protegido foi de 18,8 °C. A temperatura máxima média ocorrida durante o mesmo período dentro do ambiente protegido foi de 38,6 °C, fora do ambiente protegido a temperatura máxima média foi de 30,1 °C. De acordo com Saeb e Glohamrezaee (2012) o intervalo considerado ideal para o bom crescimento e desenvolvimento da *Melissa officinalis* L. é entre 15 °C e 35 °C. Portanto, tendo analisado os valores de temperatura ocorridos durante o experimento conduzido no cultivo verão, pode-se concluir que esses estão próximos da variação indicada para o cultivo da *Melissa officinalis* L.

Na Figura 9, em que se apresenta dados do cultivo verão, pode-se verificar que houve menor oscilação nos valores de umidade relativa do ar máxima dentro do ambiente protegido, quando comparados com a umidade relativa do ar fora do ambiente protegido. Tal fato pode ser explicado pela formação de um microclima, bastante influenciado pelas frequentes irrigações que eram realizadas e menor incidência de ventos no interior do ambiente protegido. Observa-se que as precipitações ocorridas durante o experimento tiveram maior influência sobre a variação da umidade máxima fora do ambiente protegido do que dentro dela.

Apesar de apresentar menor oscilação, a umidade máxima média durante a condução do experimento no cultivo verão, dentro do ambiente protegido, apresentou valor próximo ao valor da umidade máxima média fora da mesma. Os valores foram de 86,54 e 81%, para dentro e fora do ambiente protegido, respectivamente. Durante toda a condução do cultivo verão, os valores diários de umidade mínima dentro do ambiente protegido foram menores do que os valores fora. A umidade mínima média dentro do ambiente protegido foi de 33,59% e a umidade mínima média fora do ambiente protegido foi de 53,6%.

A precipitação, temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa mínima e máxima do ar ocorrida durante a condução do experimento na primavera, podem ser observadas na Figura 10 e na Figura 11.

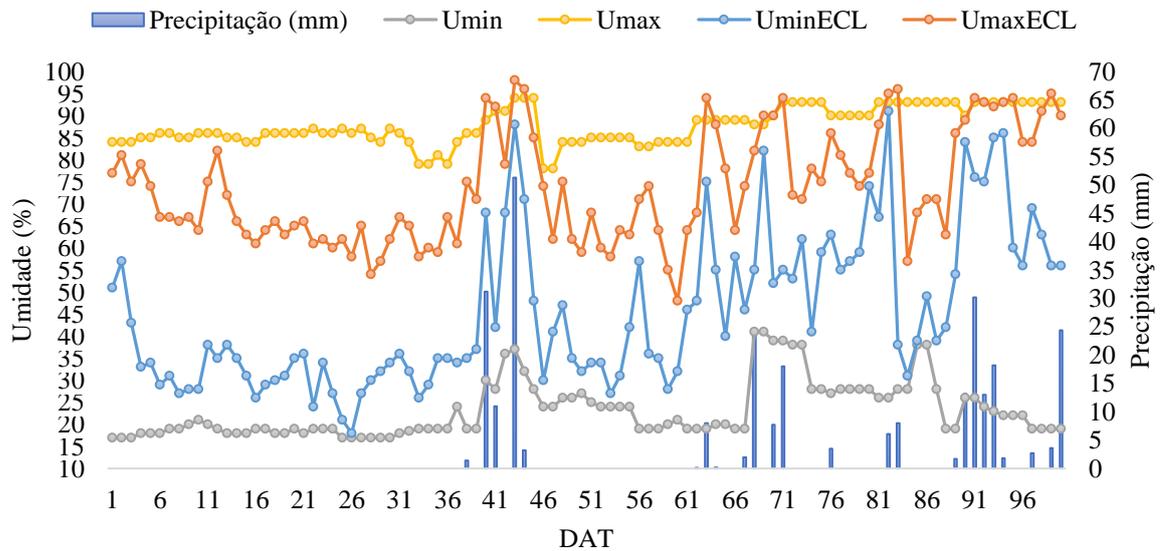
Figura 10 – Precipitação ocorrida e variação diária da temperatura mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo primavera.



\*ECL – Estação climatológica de Lavras, MG.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 11 – Precipitação ocorrida e variação diária da umidade mínima e máxima, dentro e fora do ambiente protegido, ao longo da condução do experimento no cultivo primavera.



\*ECL – Estação climatológica de Lavras, MG.

Fonte: Do autor (2019).

Devido ao efeito provocado pela cobertura plástica, os valores de temperatura máxima diária dentro do ambiente protegido foram superiores quando comparados aos valores de temperatura máxima fora do ambiente protegido. No interior do ambiente protegido a temperatura máxima média durante a condução do experimento foi de 38,58 °C, enquanto que no ambiente externo foi de 28,6 °C. Os valores de temperatura mínima média foram iguais a 14 °C e 16,5 °C, dentro e fora do ambiente protegido, respectivamente. Tendo em vista o intervalo entre 15 °C e 30 °C, citados por Saeb e Glohamrezaee (2012), considerado ótimo para o cultivo da *Melissa officinalis* L., e os valores médios de temperatura mínima e máxima ocorridos durante a condução do experimento na primavera, pode-se concluir que a cultura se desenvolveu na faixa ideal para seu cultivo.

A umidade média relativa do ar dentro do ambiente protegido variou entre 24,32% e 88,32%, para mínima e máxima, respectivamente. Fora do ambiente protegido a variação foi de 48,2% e 74,5%, para mínima e máxima, respectivamente. Devido a fatores climáticos, como principalmente vento e precipitação, observa-se maior oscilação nos valores diários de umidade no ambiente fora do ambiente protegido.

#### **4.4 Experimento I (volume de água repostado ao solo)**

##### **4.4.1 Volume de água aplicado**

Na Tabela 3 encontram-se os valores de volume médio de água aplicado por planta por irrigação, volume de água aplicado por planta na fase de estabelecimento da cultura (referente ao pegamento e aclimatação das mudas no ambiente protegido), volume de água aplicado por planta após o estabelecimento da cultura (tratamentos) e variação do volume total de água aplicado por planta nos tratamentos em relação ao tratamento de 100% ETc ( $\Delta_v$ ), durante os 90 dias de ciclo da cultura da *Melissa officinalis* L. no experimento conduzido no ciclo verão. Foram realizados, no período, 45 eventos de irrigação, sendo 35 irrigações realizadas com diferenciação de volume aplicado, com frequência de irrigação de dois dias.

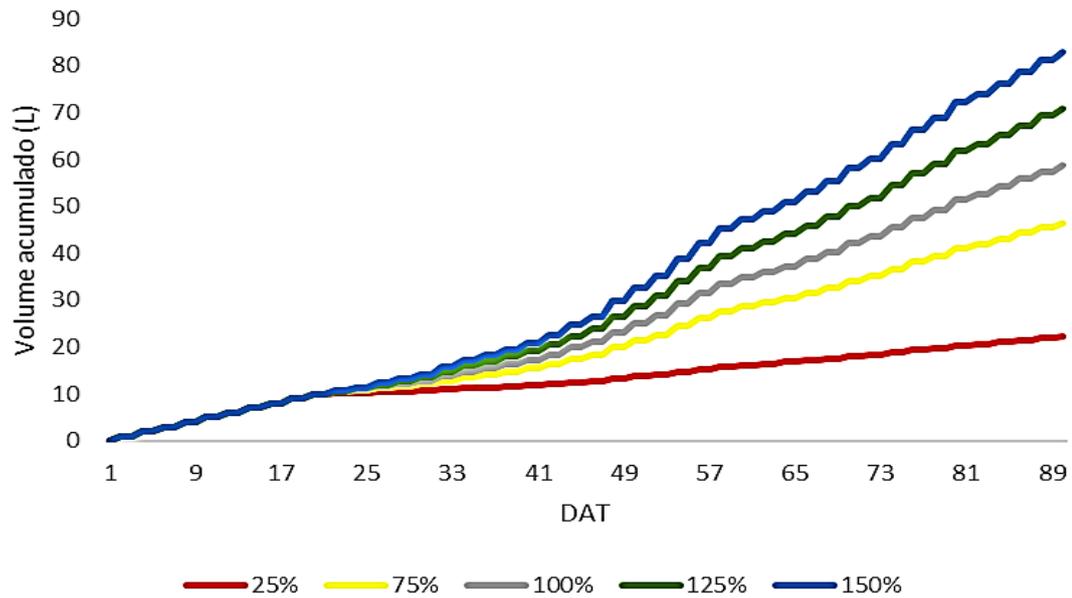
Tabela 3 – Volume médio por evento de irrigação, volume total aplicado por planta até o estabelecimento e após o estabelecimento da cultura e diferença do volume total em relação ao volume aplicado no tratamento com 100% da ETc no experimento conduzido durante o cultivo verão.

Tratamento	Volume médio aplicado por irrigação (L planta <sup>-1</sup> )	Volume aplicado até estabelecimento da cultura (L planta <sup>-1</sup> )	Volume aplicado após o estabelecimento (L planta <sup>-1</sup> )	$\Delta v$ (L planta <sup>-1</sup> )
25% ETc	0,348	10,0	12,163	- 36,489
75% ETc	1,043	10,0	36,489	-12,163
100% ETc	1,390	10,0	48,651	-
125% ETc	1,738	10,0	60,814	12,163
150% ETc	2,085	10,0	72,977	24,326

Fonte: Do autor (2019).

Os volumes de água acumulados que foram aplicados por tratamento podem ser observados na Figura 12. Observa-se que até nos 20 DAT não houve diferenciação entre os tratamentos. Após os 20 DAT, ainda na fase inicial do experimento, houve pequena diferenciação entre os volumes de água repostos pela irrigação. A diferença foi se acentuando ao longo da condução do experimento, permitindo uma grande variação do volume de água aplicado no final do ciclo da cultura. Os volumes de água totais acumulados aplicados foram 22,163, 46,489, 58,651, 70,814 e 82,977 L planta<sup>-1</sup>, para os tratamentos: 25%, 75%, 100%, 125% e 150% ETc, respectivamente. Esses valores evidenciam a ocorrência de uma ampla variação no volume de água repostos ao solo.

Figura 12 – Variação do volume de água acumulado aplicado nos tratamentos ao longo do ciclo da cultura no cultivo verão.



Fonte: Do autor (2019).

Os valores de volume médio de água aplicado por irrigação, volume total de água aplicado no estabelecimento e após o estabelecimento da cultura, bem como, os valores de variação do volume total de água aplicado nos tratamentos em relação ao tratamento de 100% ETc ( $\Delta v$ ), durante os 100 dias de ciclo da *Melissa officinalis* L. no experimento conduzido durante o cultivo primavera, encontram-se na Tabela 4. Nesse ciclo foram realizados 50 eventos de irrigação, sendo 40 irrigações com diferenciação do volume aplicado (aplicação dos tratamentos) e com frequência de irrigação de dois dias.

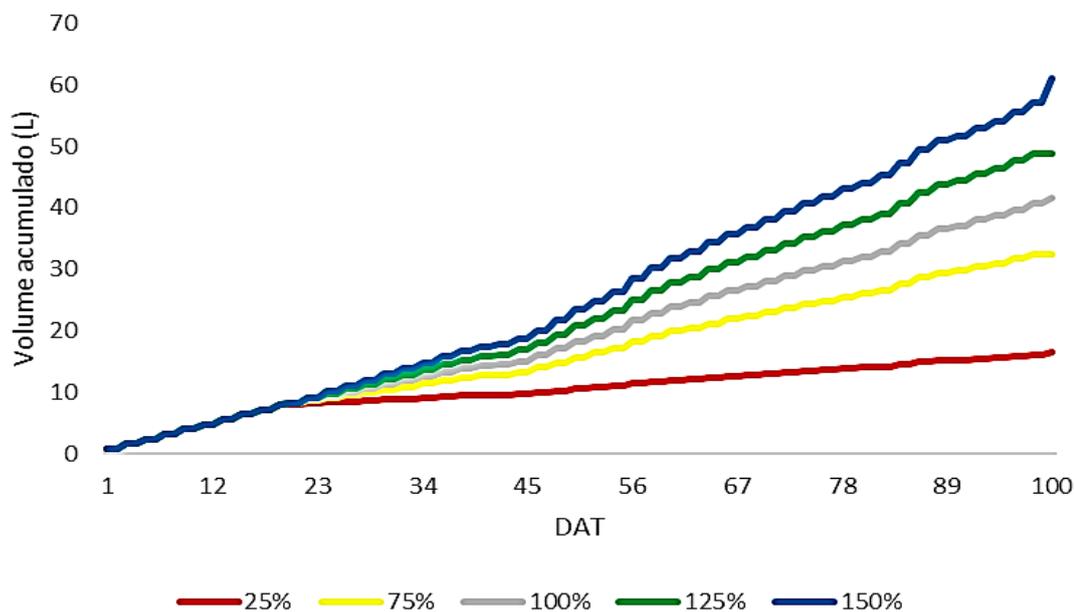
Tabela 4 – Volume médio por evento de irrigação, volume total aplicado por planta até estabelecimento e após o estabelecimento da cultura e diferença do volume total em relação ao volume aplicado no tratamento com 100% da ETc no experimento conduzido durante o cultivo primavera.

Tratamento	Volume médio aplicado por irrigação (L planta <sup>-1</sup> )	Volume aplicado até estabelecimento da cultura (L planta <sup>-1</sup> )	Volume aplicado após o estabelecimento (L planta <sup>-1</sup> )	$\Delta v$ (L planta <sup>-1</sup> )
25% ETc	0,205	8,0	8,425	- 25,274
75% ETc	0,598	8,0	24,521	-9,179
100% ETc	0,822	8,0	33,699	-
125% ETc	0,997	8,0	40,868	7,168
150% ETc	1,294	8,0	53,066	19,367

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 13 encontram-se representadas as variações dos volumes acumulados aplicados nos tratamentos durante a condução do experimento no ciclo primavera. Assim como ocorreu na fase verão, pode-se observar que até os 20 DAT não houve diferenciação entre os tratamentos, e que, ainda na fase inicial do experimento, houve pequena diferenciação entre os volumes de água repostos pela irrigação. Ao final do experimento os volumes totais acumulados aplicados foram 16,425, 32,521, 41,699, 48,868 e 61,066 L planta<sup>-1</sup> nos tratamentos de 25%, 75%, 100%, 125% e 150% ETc, respectivamente.

Figura 13 – Variação do volume de água acumulado aplicado nos tratamentos ao longo do ciclo da cultura no cultivo primavera.



Fonte: Do autor (2019).

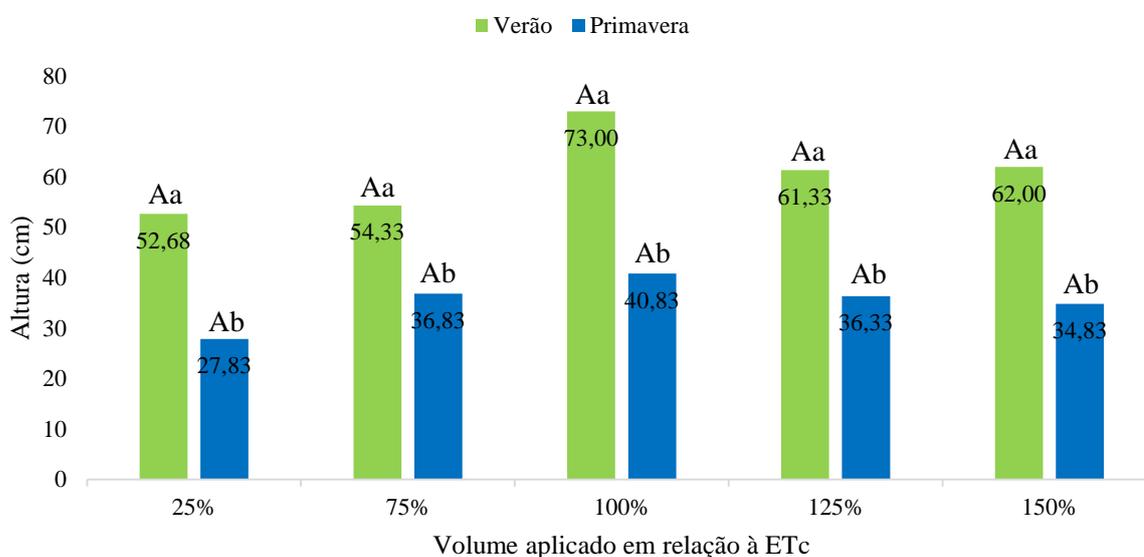
#### 4.4.2 Altura de planta

No experimento conduzido durante o verão, o início da aplicação dos tratamentos foi aos 20 DAT. A aplicação dos tratamentos teve duração de 70 dias, sendo que o tratamento de 100% ETc recebeu um volume total de 48,651 litros, distribuídos em 35 eventos de irrigação, com volume médio aplicado de 1,390 litros por irrigação. No experimento conduzido na primavera o início da aplicação dos tratamentos também foi aos 20 DAT, no entanto a duração do ciclo de cultivo foi maior, teve duração de 81 dias. Nesse experimento o tratamento de 100% ETc recebeu um volume total de 33,699 L planta<sup>-1</sup>, em 41 eventos de irrigação, com volume médio de 0,822 L planta<sup>-1</sup> distribuídos por irrigação.

A altura da *Melissa officinalis* L., segundo Lorenzi e Matos (2002) e Silva (2015), varia de 40 a 80 cm. Quando cultivada em ambiente protegido, mantendo sob controle as principais variáveis edafoclimáticas, como: temperatura, irrigação, adubação e radiação, e fitossanitárias, com garantia da qualidade genética da muda, pode atingir 100 cm ou mais.

Na Figura 14, pode-se verificar a resposta de crescimento em altura, de acordo com os volumes de água aplicado em cada tratamento para cada época de cultivo, verão e primavera.

Figura 14 – Valores médios de altura do ramo principal em função do volume de água reposto ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Foi possível verificar que as respostas obtidas para o parâmetro de crescimento altura em função do volume de água aplicado durante o verão, foram condizentes com os valores encontrados em literatura, como os resultados de Lorenzi e Matos (2002) e Silva (2015). Os valores de média de altura de planta variaram entre 52,68 e 73 cm, para os tratamentos de 25% e 100% ETc, respectivamente. No entanto, não houve estatisticamente, variação significativa (Skott-Knott, 5%) entre os valores das médias de alturas de plantas em função das lâminas aplicadas. Martins (2017) obteve resultado semelhante em experimento com manjerição (*Ocimum basilicum* L.). O autor verificou ausência de efeito significativo das lâminas aplicadas (100%, 75% e 50% ETm) sobre as médias de altura de planta.

No experimento conduzido durante a primavera, os valores das médias de altura, também não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, variando entre 27,83 e 40,83 cm, para os tratamentos de 25% e 100% ETc, respectivamente. Observa-se que essas médias estão abaixo da variação obtida no experimento conduzido durante o verão, bem como, abaixo da variação citada em literatura (40 a 80 cm) considerada padrão para a cultura. Meira et al. (2013) analisando a influência da lâmina de irrigação (25%, 50%, 100%, 125% e 150% ET<sub>0</sub>) sobre o crescimento em altura da *Melissa officinalis* L. obtiveram valores semelhantes aos obtidos no experimento conduzido durante a primavera. No entanto, os valores desses autores

apresentaram comportamento linear positivo, desenvolvendo-se à medida que aumentaram as lâminas de irrigação aplicadas. Os valores de altura de planta variaram entre 20,58 a 30,17 cm para os tratamentos de 25% ET<sub>0</sub> e 150% ET<sub>0</sub>, aos 80 dias de cultivo, respectivamente.

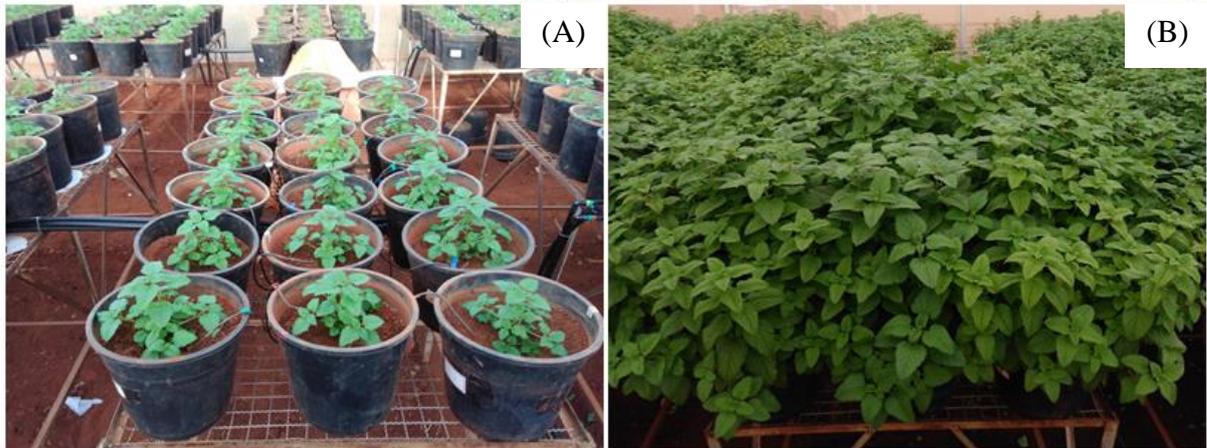
Não obstante a *Melissa officinalis* L. seja uma planta exigente em solos úmidos e bem drenados (LORENZI; MATOS, 2002), o déficit hídrico provocado pelos tratamentos de 25% e 75% ET<sub>c</sub>, em ambas as épocas de cultivo, não foram suficientes para provocar diferença significativa nos valores de média de altura em relação aos demais tratamentos. Apesar do baixo volume aplicado nos tratamentos de 25% e 75% ET<sub>c</sub>, a oscilação da umidade do solo nesses tratamentos era baixa, pois a irrigação era realizada em alta frequência, com turno de rega fixo de dois dias. Tal fato pode ter minimizado o efeito do déficit hídrico sobre as plantas. Além do mais, durante todo experimento, em ambas as épocas de cultivo, o volume de água aplicado foi sempre o mesmo - aquele pré-estabelecido nos tratamentos, tendo as plantas se adaptado à condição de estresse.

Nos tratamentos de 125% e 150% ET<sub>c</sub>, as lâminas não tiveram efeito significativo sobre as médias de altura, visto que grande parte do volume de água aplicado foi drenado. Não ficando disponível às plantas na maior parte do tempo devido ao pequeno volume dos vasos.

Outro fato que pode ter influenciado sobre a não diferenciação entre as médias de altura em relação aos tratamentos aplicados em ambos os ciclos de cultivo, foi o espaçamento entre os vasos utilizado durante a condução do experimento. Com o desenvolvimento da cultura, houve sobreposição lateral entre os ramos das plantas, modificando a arquitetura natural destas. Tal fato limitou o crescimento dos ramos no sentido lateral, devido ao sombreamento provocado, obrigando as plantas a se desenvolverem em altura.

Na Figura 15 pode ser observado o desenvolvimento das plantas aos 30 DAT e a ocorrência da sobreposição dos ramos laterais ao final do ciclo, com 90 DAT, no cultivo conduzido durante o verão.

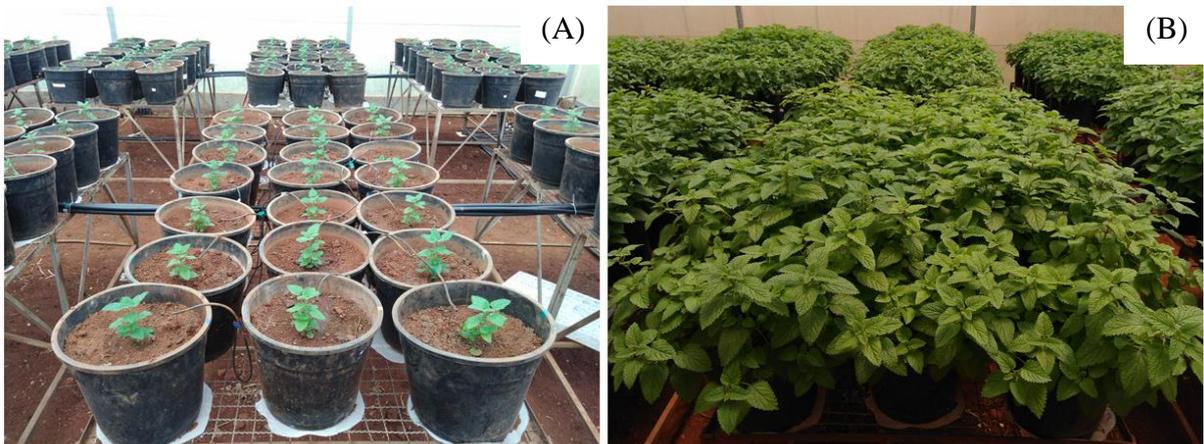
Figura 15 – Desenvolvimento inicial (A) e sobreposição dos ramos laterais ao final do ciclo da cultura (B) no cultivo de verão.



Fonte: Do autor (2019).

O desenvolvimento aos 30 DAT e a ocorrência de sobreposição dos ramos laterais no final do ciclo da cultura, aos 100 DAT, no cultivo desenvolvido durante a primavera, podem ser observados na Figura 16.

Figura 16 – Desenvolvimento inicial (A) e sobreposição dos ramos laterais ao final do ciclo da cultura (B) no cultivo de primavera.

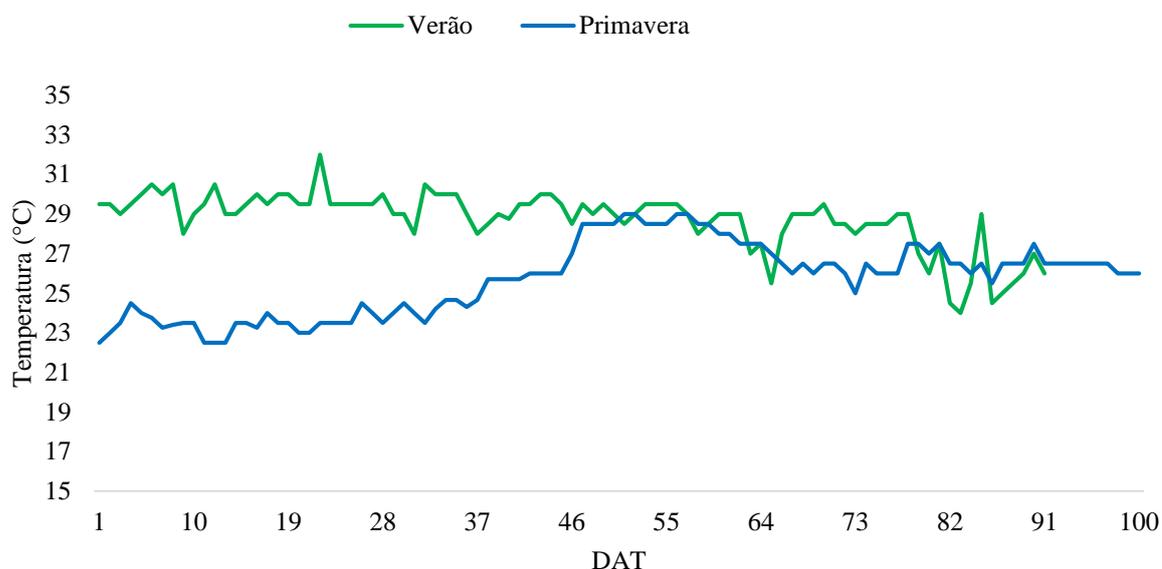


Fonte: Do autor (2019).

Quando comparado os valores das médias de altura em função dos tratamentos entre as diferentes épocas de condução dos experimentos, obteve-se diferença estatística significativa entre todos os tratamentos. Em todos eles, os valores das médias de altura do experimento conduzido no verão foram maiores do que as médias dos tratamentos do experimento conduzido na primavera. Tal fato pode ser explicado ao se observar a Figura 17. Nesta encontra-se a

variação da temperatura média diária no interior do ambiente protegido durante a condução dos experimentos em ambas as épocas de cultivo.

Figura 17 – Temperatura média diária durante a condução dos experimentos em ambas as épocas de cultivo.



Fonte: Do autor (2019).

De acordo com Gobbo Neto e Lopes (2007), apesar de as espécies terem, ao longo de sua evolução, se adaptado ao seu habitat, as plantas frequentemente são capazes de existir em uma considerável faixa de temperatura. A faixa em que ocorrem as variações anuais, mensais e diárias na temperatura é um dos fatores que exerce maior influência em seu crescimento e desenvolvimento. De acordo com Saeb e Glohamrezaee (2012) o melhor intervalo de temperatura para a cultura da *Melissa officinalis* L. é entre 15 e 35 °C, no entanto Manukyan e Schnitzler (2006) observaram que a *Melissa officinalis* L. possui influência direta da temperatura sobre seu crescimento, desenvolvendo-se bem com o aumento da temperatura.

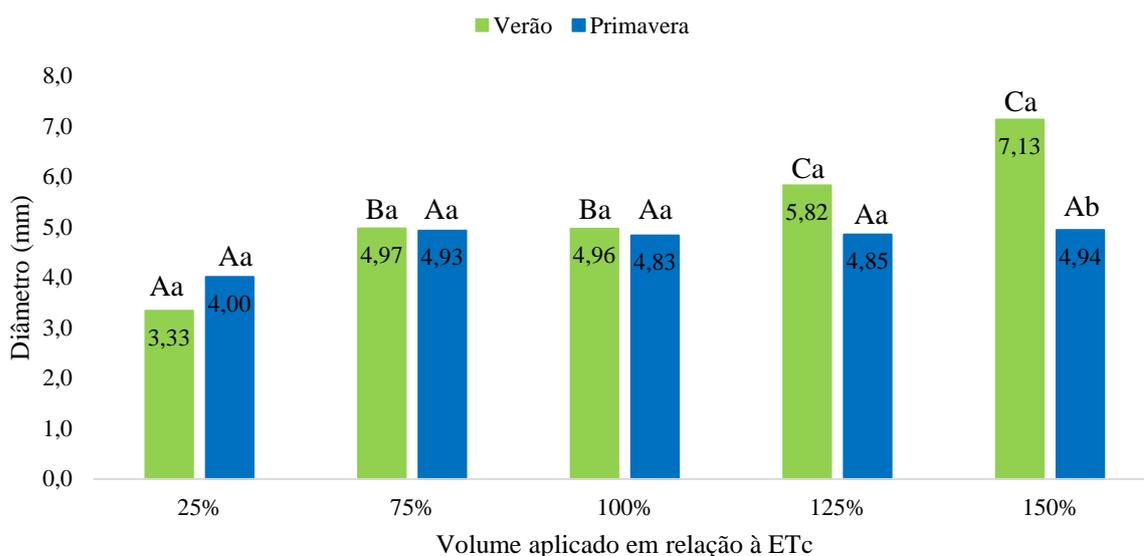
Pela Figura 17, observa-se que os valores de temperatura média diária no experimento conduzido no verão foram maiores do que os valores de temperatura média diária do experimento conduzido na primavera. Especialmente nos primeiros 30 dias da fase inicial do ciclo, o que pode ter retardado muito o crescimento da cultura. A temperatura média nos primeiros 30 dias foram 29,63 °C e 23,47 °C para o cultivo no verão e primavera, respectivamente. Considerando todo ciclo do experimento conduzido no verão, a temperatura média foi igual a 28,72 °C, enquanto que a temperatura média ao longo do experimento conduzido na primavera foi de 25,70 °C. Podendo com esse fato, justificar os maiores valores

de crescimento em altura neste experimento. Caldas et al. (2017) avaliando a taxa de crescimento de *Melissa officinalis* L. ao longo do ciclo de desenvolvimento, observaram que as maiores taxas de crescimento ocorreram durante fase inicial com pico de crescimento aos 60 dias e posterior redução da taxa de crescimento em altura.

#### 4.4.3 Diâmetro de caule

Na Figura 18 estão representados os valores médios de diâmetro de caule em função do volume de água repostado ao solo em relação à ETc e entre as épocas de cultivo, verão e primavera.

Figura 18 – Valores médios de diâmetro de caule em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

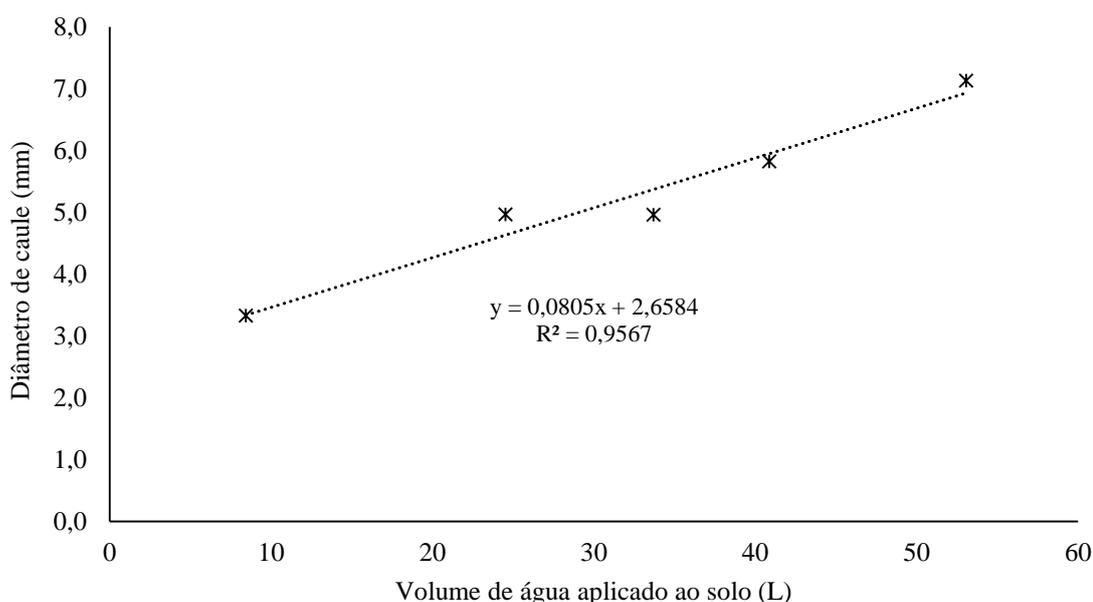
No cultivo de primavera não foi observada diferença significativa entre as médias de diâmetro de caule em relação aos tratamentos. A variação entre os valores das médias foi de 4,0 mm a 4,94 mm, para os tratamentos de 25% e 150% ETc, respectivamente. Resultado semelhante foi obtido por Martins (2017) analisando o crescimento em diâmetro do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). A autora não encontrou diferença significativa para as médias de

diâmetro de caule em razão da variação do regime hídrico adotado (50%, 75% e 100% ETm). De acordo com a autora tal fato indica a existência de mecanismos fisiológicos do manjeriço para mitigar a deficiência hídrica, como fechamento hidropassivo. Fenômeno semelhante pode ter ocorrido entre as plantas de *Melissa officinalis* L. na primavera, na busca de adaptação a condição de estresse.

No cultivo de verão, houve variação significativa entre as médias em função dos tratamentos aplicados. O diâmetro de caule da *Melissa officinalis* L. foi diretamente influenciado pelo volume de água repostos nos vasos. Houve aumento nos valores das médias à medida em que se aumentou o volume de reposição de água. O menor valor obtido foi com o tratamento com reposição de 25% ETc, neste a média foi igual a 3,33 mm. Entre os tratamentos com reposição de 75% e 100% ETc, com médias de 4,97 mm e 4,96 mm, respectivamente, não se observou diferença estatística significativa. As maiores médias apresentadas pertenceram aos tratamentos de 125% e 150% ETc, com 5,82 mm e 7,13 mm, respectivamente. No entanto, entre esses dois últimos tratamentos (125% e 150% ETc) não foi verificada diferença significativa.

Para o experimento conduzido no verão foi realizada análise de regressão entre os valores de volume de água aplicado e os resultados de diâmetro de caule (Figura 19). Foi ajustada uma equação polinomial de primeiro grau e o coeficiente de correlação ( $r^2$ ) obtido foi igual 0,956.

Figura 19 – Regressão polinomial entre os valores de volume de água aplicado ao solo e diâmetro de caule.



Resultados contrastantes aos encontrados no cultivo de verão foram observados por Meira et al. (2013), quando em experimento com a *Melissa officinalis* L. Os autores obtiveram variação do desenvolvimento do diâmetro de caule não linear em função da lâmina de água irrigada. No estudo, os autores verificaram que a lâmina adequada para aumentar a espessura do diâmetro foi de 75% ET<sub>0</sub> e que a lâmina de 125% ET<sub>0</sub> prejudicou o desenvolvimento do caule.

Alvarenga et al. (2012), verificaram a influência de sete lâminas de irrigação (50%, 75%, 100%, 120%, 140%, 165% e 190% ET<sub>0</sub>) sobre o crescimento em termos de diâmetro na cultura do *Lippia sidoides* (alecrim-pimenta). Concluíram que o crescimento da cultura foi influenciado positivamente pela irrigação, apresentando maiores valores em diâmetro para as maiores lâminas aplicadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Figueiredo et al. (2009), para a mesma espécie. De acordo com esses autores, pode-se inferir que a maior oferta hídrica acelerou o crescimento da planta, ou ainda que, no caso da *Melissa officinalis* L. cultivada durante o verão, o déficit hídrico provocado pelas menores lâminas afetou significativamente o desenvolvimento de caule da cultura.

O contraste entre os resultados de significância entre os tratamentos nas diferentes épocas de cultivo, pode ser explicado pela maior variação verificada entre os valores das médias dos tratamentos no cultivo de verão em relação à primavera, em suma, provocado pelos efeitos dos tratamentos das extremidades, ou seja, 25%, 125% e 150% ET<sub>c</sub>.

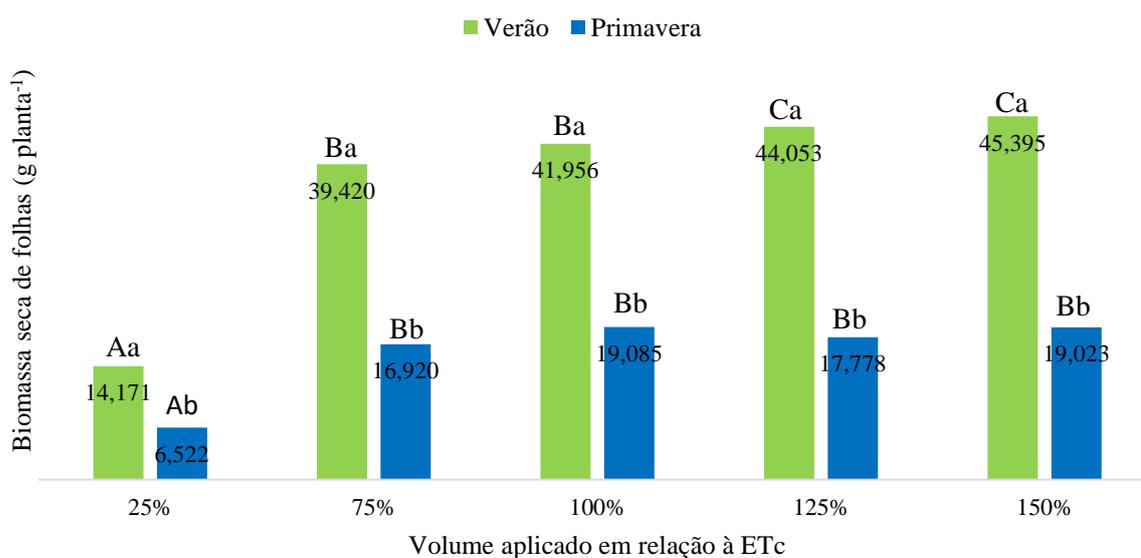
O único tratamento em que se verificou diferença estatística significativa, quando comparados os resultados de diâmetro entre as diferentes épocas de condução, foi o tratamento com 150% de reposição da ET<sub>c</sub>, com médias iguais a 7,13 e 4,94 mm, para as épocas de cultivo verão e primavera, respectivamente.

#### **4.4.4 Biomassa seca de folhas**

Os resultados de biomassa seca de folhas em função do volume de água aplicado nas diferentes épocas de cultivo podem ser observados na Figura 20. Nota-se que no cultivo ocorrido no verão foi verificada diferença significativa entre os tratamentos, sendo que, com o aumento da quantidade de água repostada, houve tendência de aumento nos valores das médias de biomassa seca de folhas, evidenciando uma correlação positiva entre o aumento da disponibilidade hídrica e o aumento da produção de biomassa seca pela cultura. Esses resultados corroboram com a afirmação de Andrade e Casali (1999) e Ming (1994) citado por Pravuschi

et al. (2010): a água é essencial à vida e ao metabolismo das plantas, portanto, seria esperado que em ambientes com maior disponibilidade hídrica a produção de vegetal fosse maior. Ainda de acordo com Castro, Kluge e Peres (2005), plantas cultivadas sob boas condições de umidade do solo apresentam crescimento superior aos tratamentos sob déficit hídrico.

Figura 20 – Valores médios de biomassa seca de folhas em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

O tratamento com reposição de 25% ETC foi o que apresentou menor média de biomassa seca de folhas, com valor igual a 14,171 g planta<sup>-1</sup>. Entre os tratamentos 75% e 100% ETC não foi verificada diferença significativa, as médias foram iguais a 39,420 e 41,956 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre os tratamentos 125% e 150% ETC, também não foi verificada diferença significativa. Nestes ocorreram as maiores médias, 44,053 e 45,395 g planta<sup>-1</sup> para 125% e 150% ETC, respectivamente.

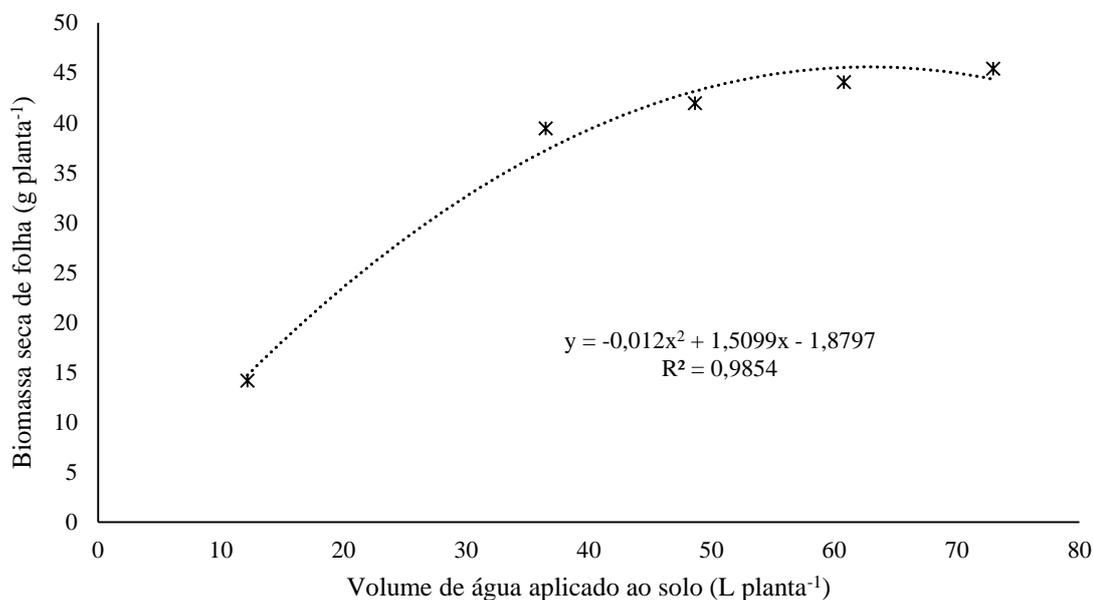
Os resultados obtidos neste experimento corroboram com os resultados obtidos por Abbaszadeh, Farahani e Morteza (2009), Boeira (2018), Farahani et al. (2009), Marques et al. (2015), Meira et al. (2013) e Silva et al. (2002). De acordo com os autores, os incrementos nos valores de biomassa seca de folhas, pode ser explicado devido à associação entre fortes radiações ocorridas nas épocas de cultivo e a boas condições hídricas, o que faz aumentar a taxa fotossintética, o consumo de água por transpiração, aumentar a absorção de nutrientes e

consequentemente, aumentar a produção de folhas. Ou seja, a interação entre tais fatores, principalmente devido à boa disponibilidade hídrica, pode ter possibilitado os maiores incrementos nos valores das médias de biomassa seca nos tratamentos com maior aplicação de água.

Carvalho et al. (2003) e Silva et al. (2002), obtiveram resultados semelhantes em estudo com a *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae) e artemísia, respectivamente, em que o aumento do déficit hídrico diminuiu a produção de biomassa seca das plantas. Araújo e Ferreira (1997) e Correia e Nogueira (2004), trabalhando com amendoim submetido à déficit hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento, observaram uma expressiva redução na matéria seca da parte aérea em todos os tratamentos. Boeira (2018), analisou a influência de diferentes tratamentos de irrigação (25%, 75% e 100% ETc) e tipos de água (água convencional e água tratada magneticamente) sobre a produção de biomassa seca de folhas na cultura da *Melissa officinalis* L. De acordo com o autor os maiores resultados de biomassa seca de folhas médios ocorreu nos tratamentos com maiores volumes de água aplicados ao solo e que não houve influência significativa dos diferentes tipos de água aplicada sobre a biomassa seca de folhas.

Através de análise de regressão foi ajustada uma equação, com coeficiente de correlação ( $r^2$ ) igual a 0,9854, entre valores de volume de água aplicado ao solo e biomassa seca de folhas, para o experimento conduzido no verão (Figura 18). Por meio dessa equação pode-se determinar que o volume de reposição igual a 63,1 L planta<sup>-1</sup> por ciclo de cultivo (o que assemelha e corresponde aproximadamente ao tratamento de reposição de 125% ETc, conforme pode ser observado na Tabela 3), em termos de valor absoluto, determinou a maior produção de biomassa seca de folhas (45,616 g planta<sup>-1</sup>).

Figura 21 – Regressão polinomial entre os valores de volume de água aplicado ao solo e biomassa seca de folhas.



Fonte: Do autor (2019).

Em relação ao cultivo de primavera, houve diferenciação somente no volume de reposição de 25% ETc em relação aos demais tratamentos. Neste, a média de biomassa seca de folhas foi severamente reduzida, tendo apresentado valor igual a 6,522 g planta<sup>-1</sup>. Essa observação se deve ao baixo volume de reposição de água aplicado nesse tratamento. De acordo com Meira et al. (2013) e Taiz e Zeiger (2013), no intuito de reduzir a perda de água por transpiração, o estresse, contrário da boa disponibilidade hídrica, induz à redução do número de folhas, que por consequência reduz a biomassa seca de folhas. Nos demais tratamentos não foi possível verificar efeito significativo da variação do volume de água repostado sobre o parâmetro biomassa seca de folhas. As médias foram de 16,920, 19,085, 17,778 e 19,023 g planta<sup>-1</sup>, para os tratamentos com reposição do volume de água de 75%, 100%, 125% e 150% ETc, respectivamente.

Foi verificada diferença significativa entre todos os tratamentos quando comparados entre as diferentes épocas de cultivo. Os resultados de biomassa seca de folhas do experimento conduzido durante o verão foram, em média 56,66%, superiores aos resultados do experimento conduzido na primavera. A máxima diferença obtida entre as diferentes épocas ocorreu no tratamento com reposição de 125% ETc, 59,64%. Essas diferenças podem ser explicadas considerando a variação da temperatura média diária no interior do ambiente protegido durante a condução dos experimentos, visto que, maiores temperaturas médias promovem um maior

desenvolvimento das plantas (MANUKYAN; SCHNITZLER, 2006), conforme já discutido no parâmetro de crescimento altura, considerando a Figura 14.

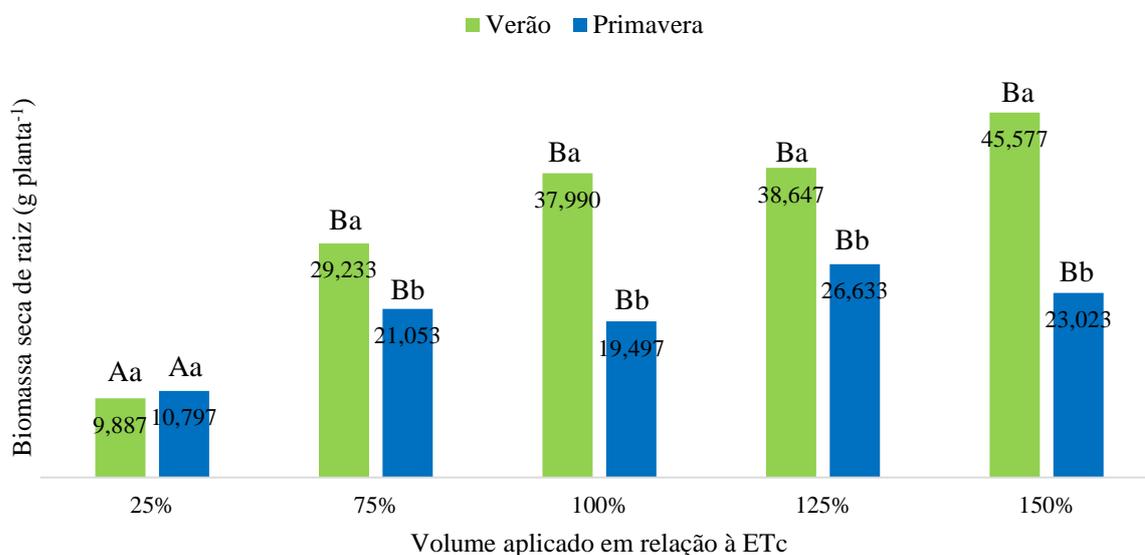
#### **4.4.5 Biomassa seca de raiz**

Correia e Nogueira (2004) afirmam que, em condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas investem mais biomassa no sistema radicular, objetivando aumentar a capacidade de absorção de nutrientes. De acordo com Santos e Carlesso (1998), o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular, aumentando a densidade e o comprimento das raízes para que atinjam zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo, no intuito de aumentar a eficiência de absorção de água e nutrientes. No entanto, com este experimento não foi possível observar esses fatos. Em ambas as épocas de cultivo o tratamento com menor disponibilidade de água no solo (com reposição de 25% ETc) foi o que apresentou o menor desenvolvimento em termos de biomassa seca de raiz, com médias iguais a 9,887 e 10,797 g planta<sup>-1</sup>, para o experimento conduzido durante o verão e primavera, respectivamente.

Nas duas épocas de condução foi o único tratamento que apresentou diferença estatística significativa em relação aos demais tratamentos (75%, 100%, 125% e 150% ETc). A explicação pode estar relacionada ao fato de que o déficit hídrico promovido pelo tratamento com reposição de apenas 25% ETc afetou drasticamente o desenvolvimento das plantas, por consequência reduziu o desenvolvimento do sistema radicular da cultura, sendo que nos demais tratamentos, o regime hídrico adotado não foi suficiente para promover diferenças significativas entre os valores das médias de biomassa seca de raiz.

Na Figura 22 pode ser observado os resultados de biomassa seca de raiz em relação ao volume de água repostos ao solo nas diferentes épocas de condução dos experimentos.

Figura 22 – Valores médios de biomassa seca de raiz em função do volume de água reposto ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



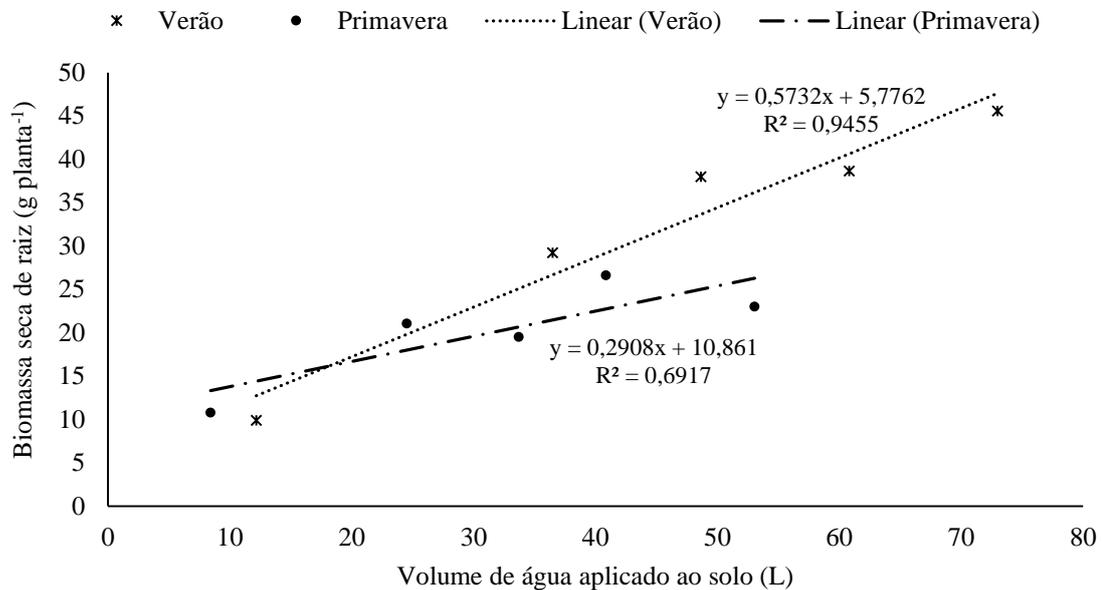
Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

No experimento conduzido durante o verão as médias foram 29,233, 37,990, 38,647 e 45,577 g planta<sup>-1</sup> para os tratamentos de 75%, 100%, 125% e 150% ETc, respectivamente. No experimento conduzido durante a primavera, como pode ser observado na Figura 22, as médias em geral foram menores e diferiram significativamente das médias obtidas com o experimento desenvolvido durante o verão nos respectivos tratamentos. Somente o tratamento com reposição de 25% da ETc não apresentou diferença significativa entre as épocas de condução dos experimentos. Na primavera as médias foram iguais a 21,053, 19,497, 26,633 e 23,023 g planta<sup>-1</sup> de biomassa seca de raiz para os tratamentos de 75%, 100%, 125% e 150% ETc, respectivamente.

Apesar de apenas o tratamento com 25% ETc ter apresentado diferença estatística em relação aos demais tratamentos em ambos os experimentos, foram realizadas análises de regressão e ajustadas duas equações lineares representando a correlação entre o volume de água aplicado ao solo e a produção de biomassa seca de raiz nas diferentes épocas de cultivo (Figura 23). Os coeficientes de correlação ( $r^2$ ) foram iguais a 0,9455 e 0,6917, para o experimento cultivado no verão e primavera, respectivamente.

Figura 23 – Regressão e correlação entre os valores de volume de água aplicado ao solo e produção de biomassa seca de raiz nas diferentes épocas de cultivo.



Fonte: Do autor (2019).

Lordêllo (2015) verificou que a disponibilidade hídrica afetou significativamente a produção de biomassa seca de raiz de *Mentha piperita*. Ao analisarem diferentes regimes de irrigação baseados na capacidade de campo (100%, 80%, 60% e 40%) verificaram que a maior produção de matéria seca de raiz foi obtida com o menor nível de umidade do solo, 40% da capacidade de campo. Correia e Nogueira (2004) analisaram o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de amendoim sob duas condições hídricas (irrigação sob controle e suspensão total da irrigação) em diferentes épocas de avaliação (7, 14, 21, 28 e 35 dias). Os autores observaram diferença estatística significativa em todas as épocas de avaliação nos dois tratamentos hídricos, sendo que os maiores valores médios foram obtidos com o tratamento com suspensão da irrigação. Concluíram que o déficit hídrico promovido pelo tratamento com suspensão da irrigação reduziu a alocação de biomassa das folhas e dos caules e aumentou a biomassa das raízes. Outros trabalhos têm demonstrado esse efeito sobre o desenvolvimento do sistema radicular, como o de Silva et al. (2002) para a *Melaleuca alternifolia* Cheel, e o de Jaleel et al. (2008), com a *Catharanthus roseus*.

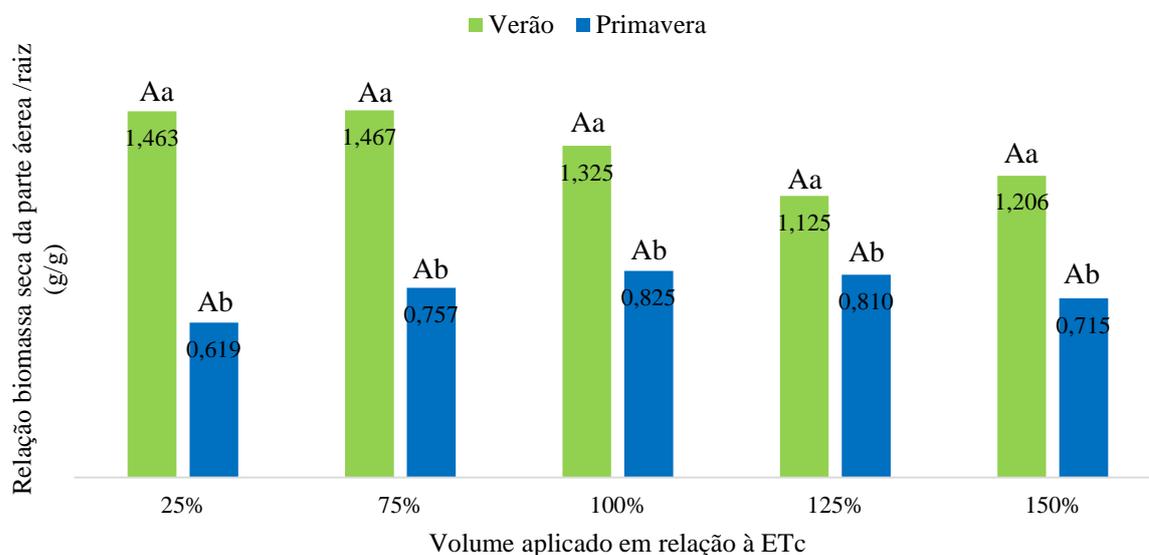
#### 4.4.6 Relação parte aérea/raiz

Considerando as análises estatísticas realizadas em ambas as épocas de cultivo, verão e primavera, dentro da mesma época não foi verificada diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos para o parâmetro relação biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz (relação parte aérea/raiz). De modo que no experimento conduzido durante o verão as médias variaram entre 1,125 e 1,463, nos tratamentos com reposição de 125% e 25% ETc, respectivamente. No experimento conduzido durante a primavera as médias variaram entre 0,619 e 0,825, nos tratamentos com reposição de 25% e 100% ETc, respectivamente.

De acordo com os resultados representados na Figura 24, pode-se verificar que no experimento conduzido durante o verão, a parte aérea das plantas (folhas e caules) teve um maior desenvolvimento do que o apresentado no sistema radicular. No entanto, quando analisado o experimento conduzido durante a primavera, observa-se efeito contrário, ou seja, as médias de biomassa seca do sistema radicular apresentaram valores superiores às médias de biomassa seca da parte aérea. Tal fato valida a hipótese de que no experimento conduzido na primavera as plantas foram sensíveis à diminuição da temperatura média diária, o que provocou menor crescimento das plantas consequentemente menor desenvolvimento da parte aérea.

Segundo Gobbo Neto e Lopes (2007), a faixa em que ocorrem as variações anuais, mensais e diárias na temperatura é um dos fatores que exerce maior influência em seu crescimento e desenvolvimento. Saeb e Glohamrezaee (2012) relataram que o melhor intervalo de temperatura para a cultura da *Melissa officinalis* L. é entre 15 e 35 °C, no entanto Manukyan e Schnitzler (2006) observaram que a *Melissa officinalis* L. possui influência direta da temperatura sobre seu crescimento, desenvolvendo-se bem com o aumento dessa temperatura. Considerando os valores médios de temperatura diária em ambas as épocas de cultivo, principalmente quando considerado os primeiros 30 DAT, observa-se que no verão as médias foram superiores às ocorridas na primavera, podendo justificar o maior crescimento das plantas no verão.

Figura 24 – Valores médios da relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 5 estão representados os dados de produção de biomassa fresca de folhas entre os tratamentos nas diferentes épocas de condução dos experimentos. Observa-se que, no experimento conduzido durante o verão, a produção de biomassa fresca de folhas foi em média 147,37% superior à produção de biomassa fresca de folhas do experimento conduzido durante a primavera, comprovando o maior desenvolvimento das plantas durante o cultivo de verão e justificando os valores das médias dos tratamentos entre as épocas de cultivo.

Boeira (2018), Farahani et al. (2009), Lopes et al. (2011) e Meira et al. (2013), obtiveram resultados que vão de encontro com os resultados obtidos neste experimento. Os autores verificaram relação direta entre o aumento do déficit hídrico e a diminuição da produção de biomassa fresca de folhas, o que salienta a importância do uso da irrigação na cultura da *Melissa officinalis* L.

No entanto, como descrito por Lopes et al. (2011), embora o desenvolvimento da cultura tenha efeito positivo com aumento do volume de reposição de água ao solo, deve-se atentar para a irrigação de culturas da família Lamiaceae, a fim de não onerar o custo de produção, visto que a água é um bem de custo elevado e que sua aplicação em excesso, além de não ser fator limitante para a espécie, como os valores de temperatura, acarretará maiores perdas, tanto por evaporação quanto por percolação, além de poder reduzir a produção de óleo essencial.

Tabela 5 – Valores de biomassa fresca de folhas e diferença por tratamento nas duas épocas de condução dos experimentos.

Tratamento	Biomassa fresca de folhas (g planta <sup>-1</sup> )		
	Verão	Primavera	Diferença
25%	60,660 <sup>Aa</sup>	24,764 <sup>Ab</sup>	35,896
75%	152,194 <sup>Ba</sup>	60,331 <sup>Bb</sup>	91,863
100%	162,859 <sup>Ba</sup>	68,186 <sup>Bb</sup>	94,673
125%	171,890 <sup>Ba</sup>	65,165 <sup>Bb</sup>	106,725
150%	160,080 <sup>Ba</sup>	67,549 <sup>Bb</sup>	92,531

Valores seguidos de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente dentro da mesma época, assim como valores seguidos de mesma letra minúscula na linha não diferem entre épocas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

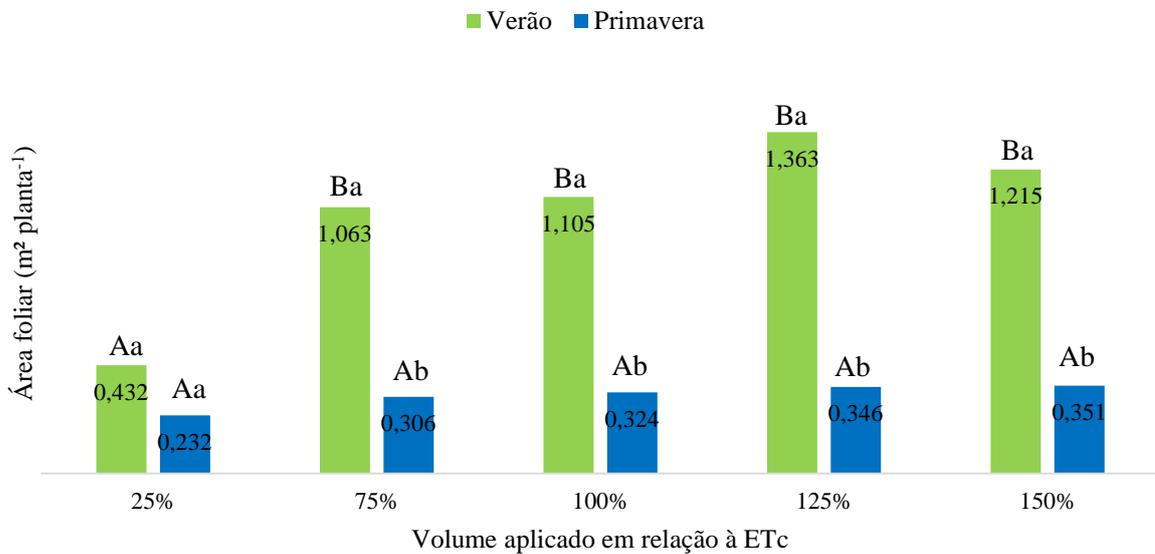
Fonte: Do autor (2019).

Lôrdello (2015), analisou a influência da disponibilidade hídrica sobre a relação raiz parte aérea (R/PA) na cultura da *Mentha piperita*, tendo obtido o maior valor com o menor nível de umidade em relação à capacidade de campo (40%). De acordo com o autor, o déficit hídrico provocou um maior efeito no crescimento radicular do que na parte aérea, influenciando no crescimento da relação matéria seca da raiz/parte aérea. Jaleel et al. (2008) e Silva et al. (2002), também observaram esse comportamento nas culturas da *Melaleuca alternifolia* Cheel e na *Catharanthus roseus*, respectivamente. Assim como Pinheiro et al. (2005) na cultura do *coffea canephora* e Figueirôa, Barbosa e Simabukuro (2004) com a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). De acordo com esses autores, com objetivo de adaptar ao déficit hídrico, na tentativa de alcançar água em maiores profundidades do solo, as plantas adotaram a estratégia de investir em seu desenvolvimento radicular e limitar seu crescimento na parte aérea, ocasionando maior realocação de matéria seca para raiz (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SAMABUKURO, 2004).

#### 4.4.7 Área foliar

Na Figura 25 estão apresentados os resultados das médias de área foliar em função dos diferentes volumes de reposição de água e em relação as diferentes épocas de cultivo dos experimentos.

Figura 25 – Valores médios de área foliar por planta em função do volume de água reposto ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

No experimento conduzido durante o verão, o tratamento com reposição de 25% ETc foi o que apresentou menor média, 0,432 m<sup>2</sup>, sendo o único tratamento que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Portanto, entre os volumes de reposição iguais a 75%, 100%, 125% e 150% ETc, não foi observada diferença estatística significativa, sendo que suas médias foram iguais a 1,063, 1,105, 1,363 e 1,215 m<sup>2</sup>, respectivamente.

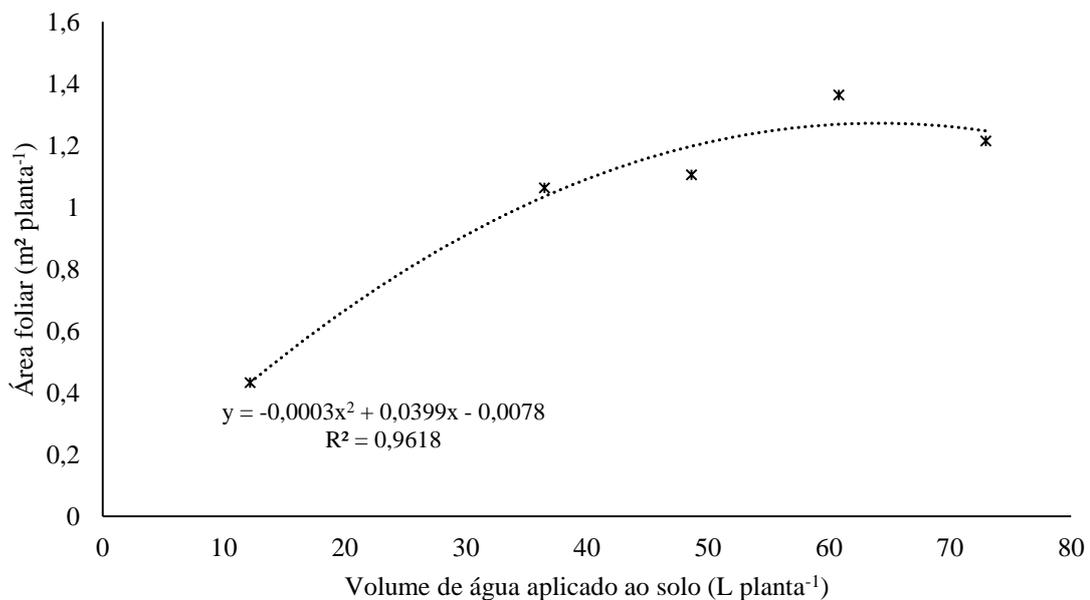
Semelhante aos resultados obtidos neste experimento com o cultivo de verão, foram os resultados que Boeira (2018) obteve com a mesma cultura e mesmo local de experimentação. Analisando a influência de diferentes volumes de reposição (25%, 75%, 100%, 125% e 150% ETc) e de dois tipos de água de irrigação (convencional e tratada magneticamente), tendo desenvolvido seu experimento em grande parte do tempo no outono (entre 12 de março e 09 de junho, 2018), o autor obteve diferença significativa somente entre o tratamento de 25% ETc em relação aos demais tratamentos. Neste trabalho não foi verificado efeito dos diferentes tipos de água sobre a área foliar. De acordo com Boeira (2018), o estresse provocado pelo volume de reposição de apenas 25% ETc, induziu a redução do número de folhas, o que conseqüentemente diminuiu a área foliar.

Bettaieb et al. (2009) verificaram que para a sálvia (*Salvia officinalis* L.) o déficit hídrico causa redução significativa do seu crescimento, com conseqüente diminuição da área foliar, e os efeitos desse estresse se tornam mais pronunciados com o aumento da magnitude do estresse.

De acordo com Fernández, Mc Innes e Cothren (1996), a área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico. Ressalta-se que, como descrito por Taiz e Zeiger (2013), quando submetidas a drásticos estresses hídricos, as plantas adotam a estratégia de reduzir seu número de folhas, no intuito de reduzir a perda de água por transpiração e garantir sua sobrevivência. Fato que pode explicar a redução da área foliar no tratamento com reposição de apenas 25% ETc.

Foi realizada análise de regressão entre os diferentes valores de reposição de água no solo e as respostas de produção em termos de área foliar. A equação polinomial de segundo grau permitiu melhor ajuste, com coeficiente de correlação igual a 0,9618 (Figura 26). Através dessa equação foi possível determinar que o volume de reposição de água igual a 62 L planta<sup>-1</sup>, que corresponde aproximadamente ao tratamento de 125% da ETc, produziu a maior, em termos de valor absoluto, área foliar (1,31 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) no experimento conduzido no verão.

Figura 26 – Correlação entre os valores de volume de água aplicado ao solo e área foliar no experimento conduzido durante o verão.



Fonte: Do autor (2019).

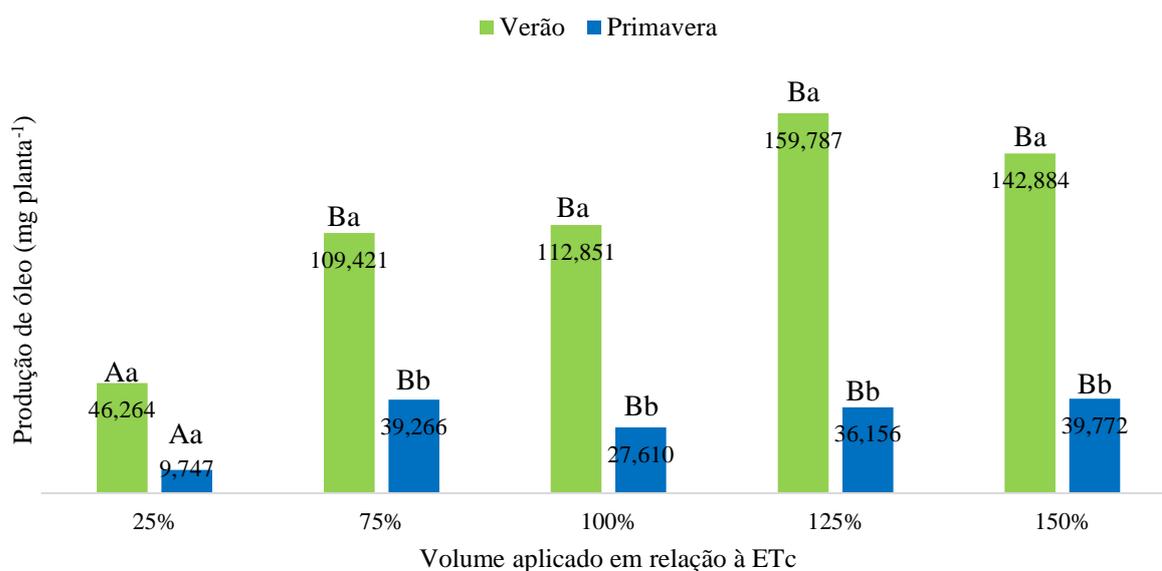
No experimento conduzido na primavera não foi verificada diferença significativa entre os valores das médias de área foliar. As médias foram iguais a 0,232, 0,306, 0,324, 0,346 e 0,351 m<sup>2</sup>, para os tratamentos com reposição de 25%, 75%, 100%, 125% e 150% ETc, respectivamente.

Observa-se que no verão as médias foram superiores aos valores obtidos com o experimento desenvolvido na primavera. A variação média entre os valores de área foliar entre as épocas foi de 66,78%, o que representa em média 0,724 m<sup>2</sup> de área foliar a mais no experimento conduzido durante o verão em relação ao experimento conduzido durante a primavera. A diferença máxima obtida entre as épocas foi no tratamento com reposição de 125% ETc, 1,017 m<sup>2</sup>. Essa diferença pode ser explicada devido a maior produção de biomassa fresca de folhas ocorrida no verão, conforme pode ser observado na Tabela 5.

#### 4.4.8 Produção e rendimento de óleo essencial

Na Figura 27, pode ser observado os valores médios de produção de óleo em relação ao volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de condução dos experimentos.

Figura 27 – Valores médios de produção de óleo essencial em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

No experimento conduzido no verão, os valores médios de produção de óleo variaram entre 46,264 e 159,787 mg planta<sup>-1</sup>, nos tratamentos com reposição de 25% e 125% da ETc, respectivamente. No entanto, entre os tratamentos com reposição de 75%, 100%, 125% e 150% da ETc, com média de produção de óleo igual a 109,421, 112,851, 159,787 e 142,884 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente, não foi observada diferença estatística significativa.

De forma semelhante ao ocorrido no experimento conduzido no verão, no entanto com valores em média 114% menores, no experimento conduzido na primavera, a mínima e a máxima média de produção de óleo foram obtidas nos tratamentos com 25% e 150% de reposição da ETc, respectivamente. Tais valores foram de 9,747 e 39,772 mg planta<sup>-1</sup>, para 25% e 150% da ETc, respectivamente. Não foi observado efeito significativo dos tratamentos com reposição de 25%, 75%, 100% e 125% ETc, sobre a produção de óleo essencial. Os valores das médias desses tratamentos foram 9,747, 39,266, 27,610 e 36,156 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Quando analisada a produção de óleo entre as diferentes épocas, somente não foi observada diferença significativa entre as médias no tratamento com reposição de 25% ETc, o que pode ser explicado pelo baixo volume de reposição de água nesse tratamento, e que, conseqüentemente, provocou um drástico déficit hídrico nas plantas e afetou a produção de óleo essencial em ambas as épocas de cultivo.

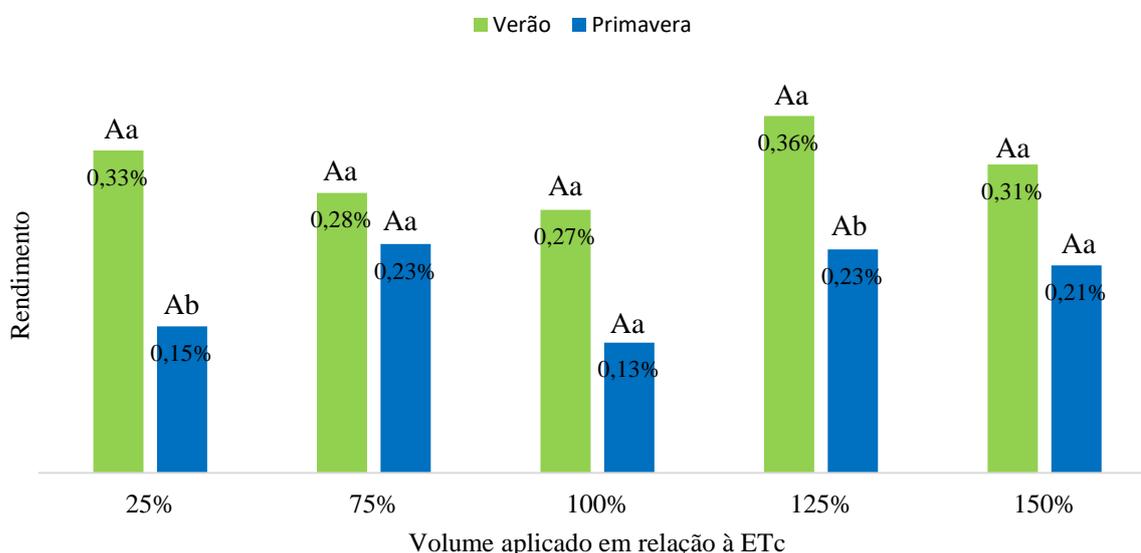
Boeira (2018) obteve resultado semelhante ao obtido neste experimento. Ao analisar a produção de óleo essencial na cultura da melissa sob diferentes volumes de reposição de água (25%, 75%, 100% e 125% da ETc), obteve diferença significativa a nível de 5% somente no tratamento irrigado com 25% ETc em relação aos demais tratamentos. Entre os volumes de reposição de 75%, 100% e 125% da ETc o autor não verificou diferença significativa. No tratamento com 25% de reposição a média foi de 11,98 mg planta<sup>-1</sup>, nos demais tratamentos as médias foram iguais a 32,34, 29,23 e 33,04 mg planta<sup>-1</sup>, para 75%, 100% e 125% da ETc, respectivamente. Nota-se que esses valores são bem próximos aos valores obtidos no experimento conduzido na primavera, no entanto, substancialmente inferiores aos obtidos com o experimento cultivado no verão.

Meira et al. (2013), também em estudo com a *Melissa officinalis* L., obtiveram comportamento linear negativo entre a produção de óleo essencial e a irrigação, visto que a maior produção foi obtida com a aplicação da menor lâmina, 50% da ET<sub>0</sub>. De acordo com os autores, boas condições ambientais beneficiam a produção de biomassa, já condições adversas favorecem a produção de substâncias secundárias, que são aquelas que não estão diretamente relacionadas com o processo de crescimento, desenvolvimento e reprodução dos vegetais, como

o óleo essencial. O mesmo comportamento foi verificado por Alvarenga et al. (2011), na cultura da *Melissa officinalis* L., Abbaszadeh, Farahani e Morteza (2009), Abreu e Mazzafera (2005), Farahani et al. (2009) e Silva et al. (2002), em que a produção (mL) e o teor (%) de óleo essencial foram reduzidos nos maiores volumes de reposição de água. Ressalta-se, porém, que, neste estudo, não foi verificado tal comportamento, visto que o déficit hídrico provocado pelo volume de reposição de apenas 25% da ETc, provavelmente, foi muito drástico, afetando significativamente a produção de óleo essencial.

Na Figura 28, podem ser observados os valores médios de rendimento de óleo em função do volume de reposição de água no solo. Nota-se que em ambas as épocas de cultivo não foi verificado efeito significativo dos tratamentos sobre o rendimento de óleo. Resultado que difere dos obtidos por Boeira (2018), Farahani et al. (2009), Meira et al. (2013) e Ozturk et al. (2004), dentre outros autores, que observaram que, em geral, as espécies de plantas medicinais tendem a aumentar o rendimento de óleo essencial com a diminuição do volume de água repostado através da irrigação.

Figura 28 – Valores médios de rendimento de óleo essencial em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

O maior rendimento obtido por Boeira (2018) foi com o tratamento de 25% ETc, 0,41%. Farahani et al. (2009), obteve 0,30% de rendimento com o menor volume de água

aplicado em seu experimento, 20% da capacidade de campo. Ozturk et al. (2004) obteve rendimentos máximos variando entre 0,12% e 0,16%, sendo o maior valor obtido com a reposição de 50% da ETc.

No experimento conduzido no verão, os valores médios de rendimento de óleo variaram entre 0,27% a 0,36%, nos tratamentos com reposição de 100% e 125% ETc, respectivamente. No experimento conduzido na primavera a variação foi de 0,13%, no tratamento de 100% ETc, e 0,23%, nos tratamentos com reposição de 75% e 125% da ETc. Entre as diferentes épocas de cultivo, os tratamentos com reposição de 75%, 100% e 150%, não diferiram entre si, já os tratamentos com 25% e 125%, foram influenciados pela época de cultivo e apresentaram diferença significativa.

Os valores de rendimento de óleo essencial obtidos em ambas as épocas de cultivo estão dentro do intervalo citado por Colussi et al. (2011) 0,02 a 0,40%, para a cultura da *Melissa officinalis* L. Essa grande variação no intervalo se deve à falta de padronização e controle da qualidade da matéria prima utilizada para extração do óleo essencial nos diferentes estudos realizados por diferentes autores.

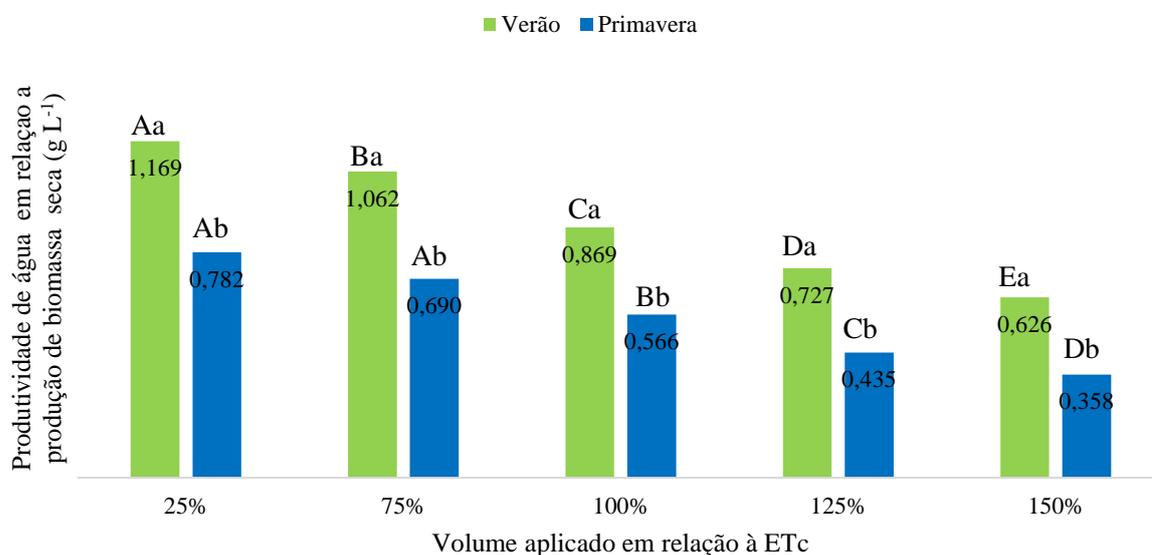
#### **4.4.9 Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas**

Os valores de produtividade da água em relação à produção de biomassa seca de folhas em função do volume de reposição de água no solo podem ser observados na Figura 29.

Nota-se que, em geral, em ambos os experimentos houve aumento no valor da produtividade da água com a diminuição do volume de água repostado ao solo. Portanto, em ambas as épocas de cultivo, o tratamento que recebeu 25% da ETc foi o que apresentou maior resultado, 1,169 e 0,782 g L<sup>-1</sup>, para o experimento cultivado no verão e primavera, respectivamente. Assim como, em ambas as épocas de cultivo, o tratamento que recebeu 150% ETc apresentou menor valor médio de produtividade da água em relação à produção de massa seca de folhas, 0,626 e 0,358 g L<sup>-1</sup>, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente.

Os demais tratamentos apresentaram médias iguais a 1,062, 0,869 e 0,727 g L<sup>-1</sup>, no experimento conduzido no verão e 0,690, 0,566 e 0,435 g L<sup>-1</sup>, no experimento conduzido na primavera, para os tratamentos com reposição de água no solo de 75%, 100% e 125% ETc, respectivamente.

Figura 29 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas em função do volume de água repostado ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Considerando o conceito de produtividade da água (volume unitário utilizado na produção de uma determinada quantidade, em massa ou volume, de produto vegetal), e o comportamento observado entre o volume de água repostado ao solo e a produção de massa seca de folhas, nota-se que com aumento do volume de reposição aplicado houve menor eficiência pelo uso da água. O déficit hídrico provocado pelos tratamentos com menor volume de reposição reduziu significativamente a produção de biomassa fresca e, conseqüentemente, biomassa seca de folhas. Tal fato pode justificar o maior aproveitamento do uso da água nos tratamentos que receberam menor volume de reposição, pela maior produção de biomassa em relação ao volume de água aplicado durante todo o ciclo da cultura.

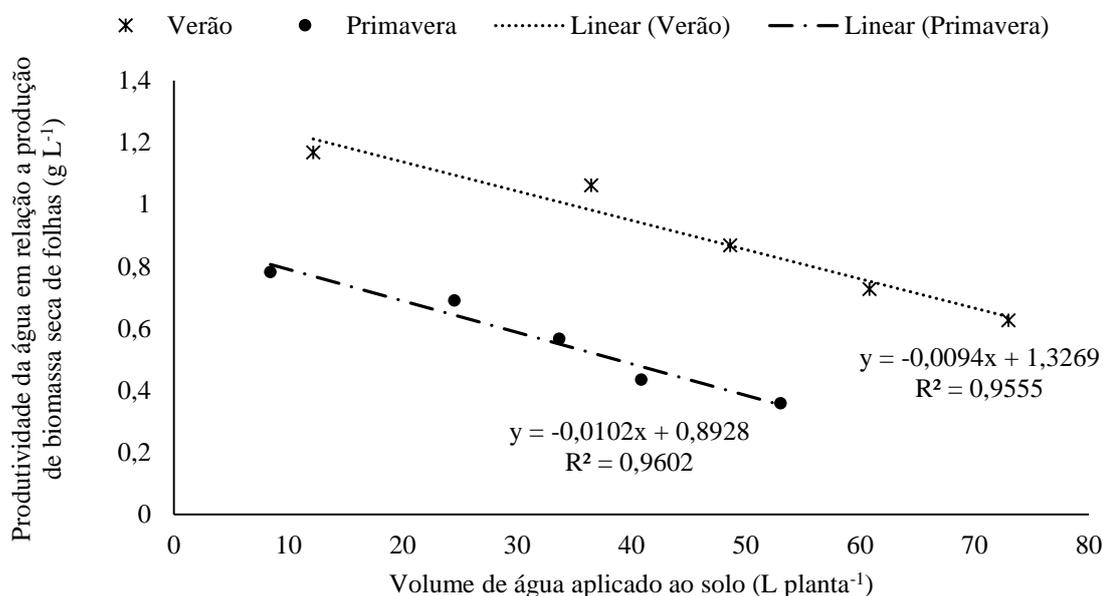
Quando analisada a produtividade da água entre as diferentes épocas de cultivo, obteve-se como resultado valores estatisticamente diferentes em todos os tratamentos, ou seja, independente do tratamento, a época de cultivo influenciou significativamente o parâmetro produtividade da água, tendo o experimento conduzido no verão apresentado, em média 26,23% maiores valores quando comparado com o experimento conduzido na primavera.

Observa-se que, pela menor produção, no experimento conduzido na primavera houve menor aproveitamento da água, visto que a razão entre os valores de biomassa seca de folhas e volume de água repostos ao solo foram menores.

O conceito de produtividade da água é relativamente recente e poucos são os trabalhos que abordam o tema. Em espécies de plantas medicinais, praticamente é inexistente esses trabalhos. No entanto, Boeira (2018) analisou a influência de diferentes regimes hídricos sobre a produtividade da água em relação à produção de massa seca de *Melissa officinalis* L., sendo que os resultados obtidos nesse experimento vão de encontro aos resultados obtidos pelo autor. Os maiores valores obtidos por Boeira (2018), foram conseguidos com os tratamentos com menores valores de reposição de água no solo, 25% e 75% ETc, apresentando produtividade da água igual a 0,59 e 0,58 g L<sup>-1</sup>, respectivamente. Com o tratamento de 125% da ETc, a produtividade obtida por Boeira (2018) foi de 0,38 g L<sup>-1</sup>. Tais valores são próximos aos obtidos no experimento conduzido na primavera, no entanto, abaixo daqueles obtidos com o experimento conduzido no verão.

A equação do tipo polinomial de primeiro grau (linear) foi a que permitiu melhor ajuste entre os valores de volume de reposição de água no solo e de produtividade da água em função da produção de massa seca de folhas (Figura 30). Os coeficientes de correlação (r<sup>2</sup>) obtidos foram iguais a 0,9555 e 0,9602, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente.

Figura 30 – Correlação entre os valores de volume de reposição de água ao solo e produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas em ambas as épocas de condução dos experimentos.



Fonte: Do autor (2019).

#### 4.4.10 Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial

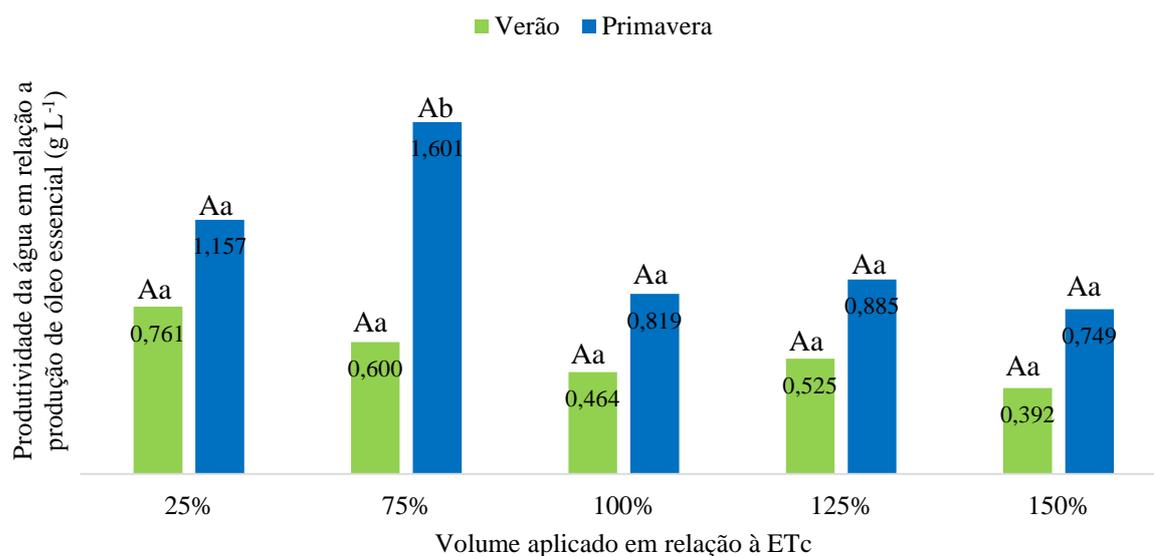
Na Figura 31 está representada a produtividade da água em relação à produção de óleo essencial em função do volume de água repostado ao solo. Em ambas as épocas de condução dos experimentos, verificou-se que não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a produtividade da água em relação à produção de óleo essencial. No experimento conduzido no verão, os valores médios variaram entre 0,392 e 0,761 mg L<sup>-1</sup>, nos tratamentos com reposição de 150% e 25% ETc, respectivamente. Na primavera as médias variaram entre 0,749 e 1,601 mg L<sup>-1</sup>, para 150% e 75% ETc, respectivamente.

Com exceção do tratamento de 75% da ETc, não houve efeito significativo da época de condução sobre a produtividade da água em relação à produção de óleo essencial em todos os tratamentos. No tratamento com reposição de 75% da ETc, os valores médios de produtividade da água em relação à produção de óleo essencial foram iguais a 0,600 e 1,601 mg L<sup>-1</sup>, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente.

Os valores de produtividade da água em relação à produção de óleo essencial obtidos neste experimento estão próximos aos obtidos por Boeira (2018). Este autor obteve valores máximos iguais a 2,31 e 1,74 mg L<sup>-1</sup>, com tratamentos de 25% e 75% ETc, respectivamente.

Boeira (2018) observou que, com o aumento do volume de água reposto, devido ao baixo rendimento de óleo essencial na cultura da *Melissa officinalis* L., os valores de produtividade da água em relação à produção de óleo tendem a diminuir.

Figura 31 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de óleo essencial e em função do volume de água reposto ao solo nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

## 4.5 Experimento II (frequência de irrigação)

### 4.5.1 Número de irrigações realizadas

No experimento conduzido durante o verão, na fase de estabelecimento da cultura (até 20 DAT), foi aplicado um volume total igual a 10 L planta<sup>-1</sup> por tratamento em 10 eventos de irrigação. Após a fase de estabelecimento, deu-se início a aplicação dos tratamentos. Foi distribuído um volume médio igual a 47,766 L planta<sup>-1</sup> por tratamento. Na Tabela 6, encontram-se os valores relativos às irrigações realizadas neste período. Estão discriminados o número de irrigações realizadas em cada tratamento, o volume médio de água aplicado por planta por irrigação, volume total de água aplicado por planta durante os 70 dias de execução dos tratamentos e a variação entre o do número de eventos de irrigação realizados nos tratamentos em relação ao tratamento com frequência de irrigação de dois dias ( $\Delta Ni$ ).

Tabela 6 – Número de irrigações, volume médio, volume total e variação de eventos de irrigação por tratamento em relação ao tratamento com frequência de irrigação de dois dias no experimento conduzido no verão.

Frequência de irrigação (dias)	Número de irrigações (Ni)	Volume médio aplicado (L planta <sup>-1</sup> )	Volume total aplicado (L planta <sup>-1</sup> )	ΔNi
2	35	1,390	48,651	-
3	23	2,098	48,251	12
4	17	2,790	47,439	18
5	14	3,475	48,651	21
6	11	4,167	45,839	24

Fonte: Do autor (2019).

Na fase primavera, no período de estabelecimento da *Melissa officinalis* L., ou seja, até os 20 DAT, foram distribuídos oito litros de água em cada tratamento em 10 eventos de irrigação. O número de irrigações, volume médio e volume total de água aplicado por planta por tratamento, assim como a diferença entre o número de eventos de irrigação realizados nos tratamentos em relação ao tratamento com frequência de irrigação de dois dias, podem ser observados na Tabela 7. Tais valores são relativos ao período de pós estabelecimento da cultura, que teve duração de 90 dias. Nessa fase, foi aplicado um volume médio igual a 41,733 L planta<sup>-1</sup> entre os tratamentos.

Tabela 7 – Número de irrigações, volume médio, volume total e variação de eventos de irrigação por tratamento em relação ao tratamento com frequência de irrigação de dois dias no experimento conduzido na primavera.

Frequência de irrigação (dias)	Número de irrigações (Ni)	Volume médio aplicado (L planta <sup>-1</sup> )	Volume total aplicado (L planta <sup>-1</sup> )	ΔNi
2	41	0,822	33,700	-
3	28	1,697	47,525	13
4	21	2,263	47,525	20
5	17	2,796	47,525	24
6	14	2,314	32,393	27

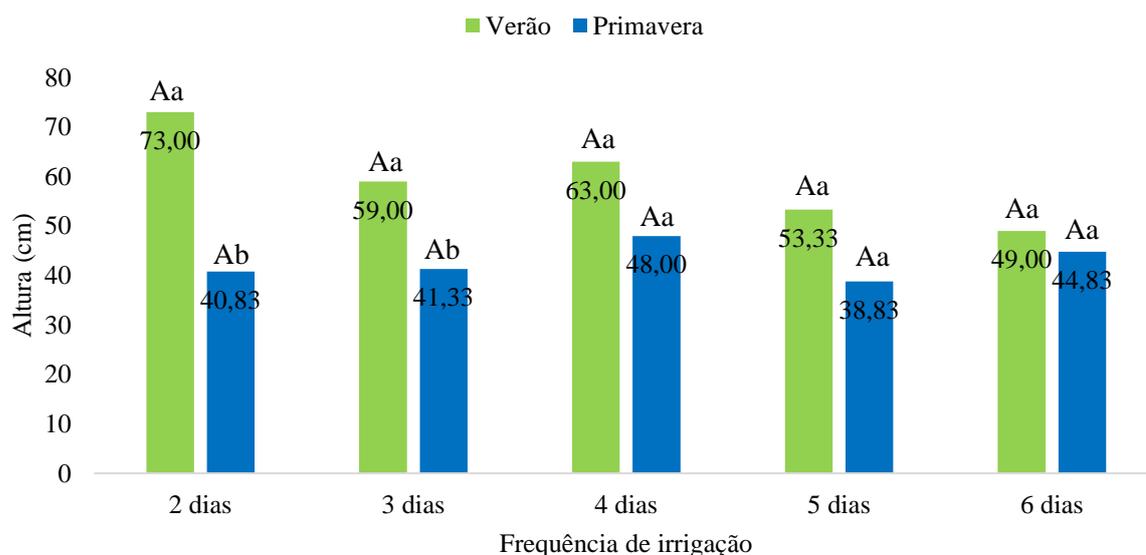
Fonte: Do autor (2019).

#### 4.5.2 Altura de planta

O valor médio de água aplicada nos vasos no experimento conduzido durante o verão foi de 47,766 L, distribuídos de 11 até 35 eventos de irrigação, para o tratamento com irrigação a cada seis e a cada dois dias, respectivamente. No experimento conduzido durante a primavera, o valor médio de água aplicado nos vasos para todo ciclo foi de 41,733 L planta<sup>-1</sup>, distribuídos de 14 até 41 eventos de irrigação, para o tratamento com irrigação a cada seis e a cada dois dias, respectivamente.

De acordo com os dados da Figura 32, pode-se verificar a média de altura de final de planta em relação à frequência de irrigação adotada (dois, três, quatro, cinco ou seis dias).

Figura 32 – Valores médios de altura do ramo principal em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Verificou-se que no experimento conduzido durante o verão, a variação da média de altura foi de 49 a 73 cm, para os tratamentos com frequência de irrigação de seis e dois dias, respectivamente. No experimento conduzido durante a primavera, a variação foi de 38,83 a 48 cm, para as frequências de irrigação de cinco e quatro dias, respectivamente.

Nota-se que, em ambas as épocas de cultivo, os valores das médias de altura obtidos estão próximos do intervalo citado na literatura (LORENZI; MATOS; 2002; SILVA, 2015). Mesmo nos tratamentos em que houve maior intervalo de tempo entre irrigações consecutivas, o que pode ter provocado maior variação nos valores de umidade do solo, conseqüentemente maior variação no total de água disponível às plantas e que pode ter submetido as plantas a um déficit hídrico por maior intervalo de tempo, não foram suficientes para afetar a altura final das plantas. Logo, em ambos os ciclos de cultivo, verão e primavera, não foram determinadas diferenças significativas entre os tratamentos, a nível de 5% de significância, pelo teste de Skott-Knott.

De acordo com Soares et al. (2013), em situações em que ocorre variação da disponibilidade de água adequada e a restrição hídrica, a variação do consumo de água causa reflexos sobre os processos fisiológicos nas plantas. As variações no metabolismo podem em alguns casos não causar diferenças no crescimento das plantas dependendo do manejo de irrigação.

Ainda, de acordo com Taiz e Zeiger (2013), o estresse hídrico induz a redução do número de folhas, apresentando-se assim uma estratégia de sobrevivência para reduzir a perda de água por transpiração. Por consequência ocorre redução na taxa fotossintética e, com isso, menor crescimento em altura da planta. No entanto, neste trabalho não foi possível observar a diferenciação entre as alturas de plantas em relação à variação da intensidade do déficit hídrico acumulado ao longo dos intervalos entre irrigação.

O espaçamento adotado pode ter mitigado o efeito do estresse hídrico acumulado sobre o crescimento em altura da *Melissa officinalis* L. em ambas as épocas de cultivo. Na medida em que a cultura foi se desenvolvendo houve sobreposição dos ramos laterais entre os tratamentos, provocando sombreamento e, conseqüentemente, redução no crescimento dos ramos nesse sentido, havendo maior tendência da planta crescer em altura, causando um estiolamento delas.

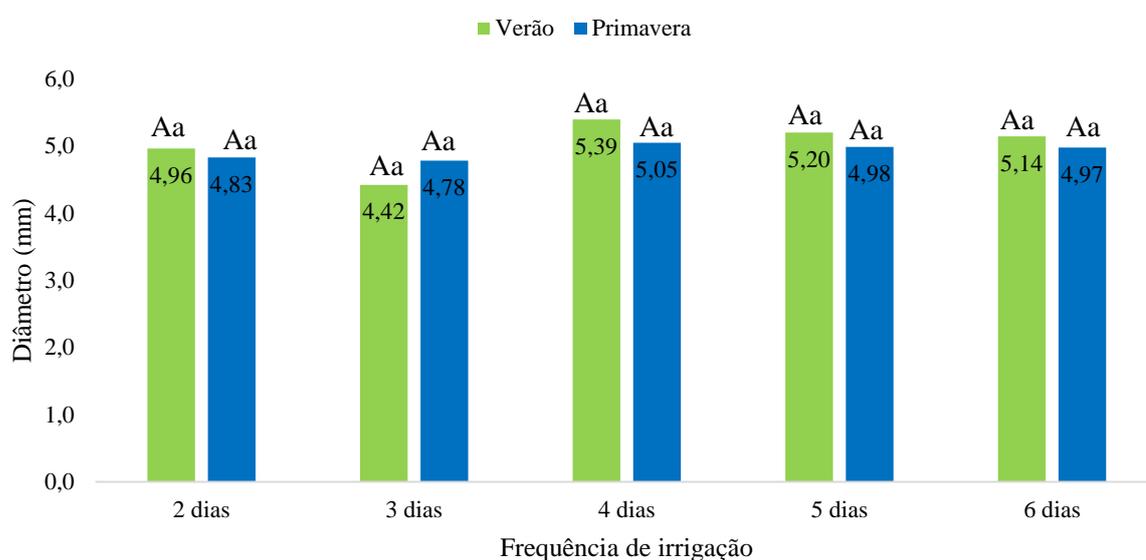
Em relação às menores médias de altura de planta obtidas no experimento conduzido na primavera em comparação ao experimento conduzido no verão, a justificativa se dá devido as médias de temperatura neste experimento terem sido maiores quando comparados com o cultivo na primavera. Principalmente pelo fato de que na fase inicial de cultivo, até 30 DAT, as temperaturas médias do ar no interior do ambiente protegido, no cultivo de verão, terem sido maiores do que no cultivo desenvolvido durante a primavera (Figura 14). Visto que, a fase inicial de cultivo, fase vegetativa, é de suma importância no crescimento e desenvolvimento da cultura da *Melissa officinalis* L., ocorrendo nessa fase as maiores taxas de crescimento em

altura, como verificado em trabalhos de Caldas et al. (2017) e Meira et al. (2013). Ainda, de acordo com Manukyan e Schnitzler (2006) a temperatura do ar possui influência direta sobre o crescimento e o desenvolvimento da *Melissa officinalis* L., desenvolvendo-se melhor em maiores temperaturas médias do ar.

### 4.5.3 Diâmetro de caule

Na Figura 33 encontram-se os resultados de diâmetro de caule em relação às frequências de irrigação adotadas nas diferentes épocas de condução dos experimentos, verão e primavera.

Figura 33 – Valores médios de diâmetro de caule em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Em ambas as épocas de cultivo a frequência de irrigação não afetou significativamente o desenvolvimento em termos de diâmetro de caule. No verão os valores das médias variaram entre 4,42 e 5,39 mm, para os tratamentos de três e quatro dias, respectivamente. Na primavera as médias variaram entre 4,78 e 5,05 mm, para os tratamentos com três e quatro dias de intervalo entre irrigações consecutivas, respectivamente. Analisando os tratamentos entre as diferentes épocas, também não foi verificada diferença significativa.

Dias et al. (2011) e Targino et al. (2017) não verificaram efeito significativo da interação entre a frequência de irrigação e o diâmetro de caule na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). Padrón et al. (2015), em estudo com o pimentão (*Capsicum annuum*), verificaram que a frequência de irrigação não influenciou significativamente o diâmetro de caule. Caldas et al. (2017) não obtiveram efeito significativo da frequência de irrigação sobre a taxa de crescimento em função da variação de diâmetro na *Melissa officinalis* L.

No tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill), Pires et al. (2006) observaram efeito significativo da frequência de irrigação em relação ao diâmetro da haste, somente após os 140 dias após transplante (DAT), com menor desenvolvimento do diâmetro quando as irrigações ocorreram em dias alternados, quando comparado à irrigação duas vezes ao dia.

Alvarenga et al. (2012) e Figueiredo et al. (2009), obtiveram correlação positiva entre o aumento da disponibilidade hídrica e o aumento do diâmetro de caule na cultura do alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham). Pereira Filho et al. (2014), observou que a frequência de irrigação influenciou significativamente o desenvolvimento do diâmetro de caule na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). Os autores observaram que os maiores valores de diâmetro de caule foram obtidos com as maiores frequências de irrigação.

Os resultados observados neste experimento permitem concluir que na cultura da *Melissa officinalis* L., a frequência de irrigação não exerce influência sobre a variável de crescimento diâmetro de caule.

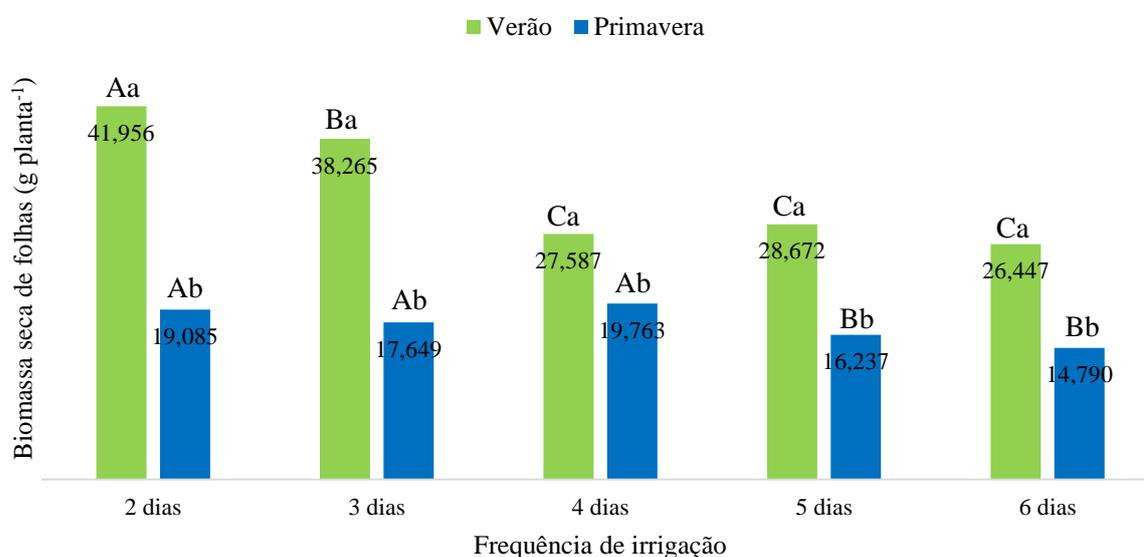
#### **4.5.4 Biomassa seca de folhas**

Na Figura 34 encontram-se os valores das médias de biomassa seca de folhas em função da frequência de irrigação adotada em ambas as épocas de cultivo.

No experimento desenvolvido durante o verão foi observada diferença significativa entre os tratamentos, verificando-se correlação positiva entre o aumento da frequência de irrigação e o aumento nos valores das médias de biomassa seca de folhas.

O tratamento com frequência de irrigação de dois dias apresentou média de biomassa seca de folhas igual a 41,956 g planta<sup>-1</sup>, em sequência o tratamento com três dias, com biomassa igual a 38,265 g planta<sup>-1</sup>. Entre os tratamentos com frequência de irrigação com quatro, cinco e seis dias não foi observada diferença significativa, suas médias foram iguais a 27,587, 28,672 e 26,447 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Figura 34 – Valores médios de biomassa seca de folhas em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Assim como no experimento desenvolvido no verão, no experimento conduzido durante a primavera, também foi verificada diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, tal diferença ficou restrita entre os tratamentos com frequência de irrigação de até quatro dias e tratamentos com frequência de irrigação acima de cinco dias. Ou seja, entre os tratamentos com dois, três e quatro dias de frequência de irrigação, não foi observada diferença significativa e suas médias foram iguais a 19,085, 17,649 e 19,763 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre os tratamentos com cinco e seis dias de intervalo entre duas irrigações consecutivas, também não houve diferença. Suas médias foram iguais a 16,237 e 14,790 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

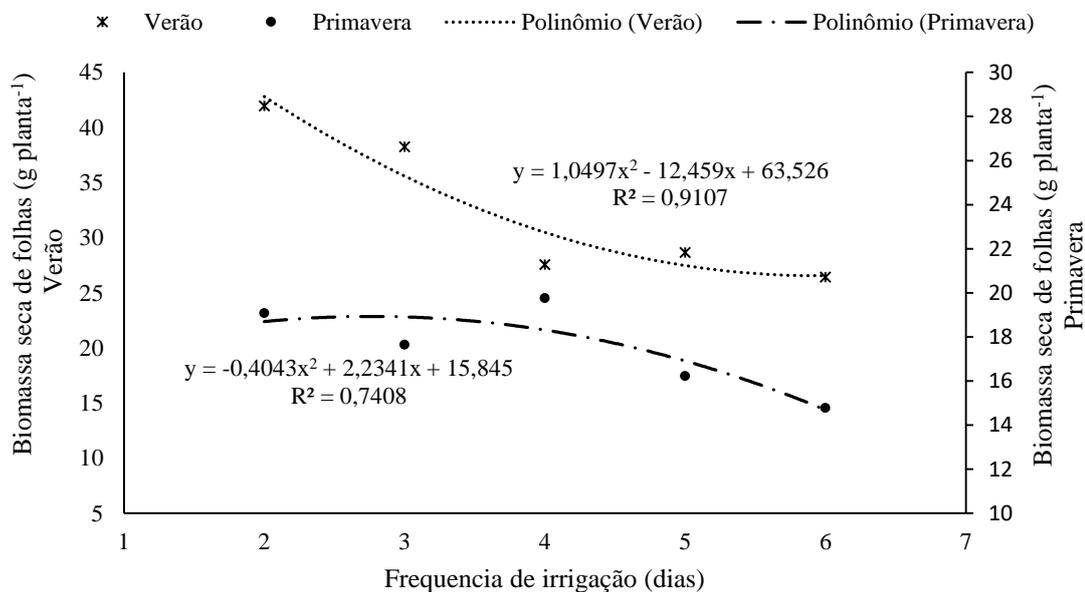
Entre as diferentes épocas de cultivo foi verificada diferença significativa entre todos os tratamentos. A máxima diferença foi obtida no tratamento com dois dias de frequência de irrigação, 22,871 g planta<sup>-1</sup>, sendo que a menor diferença foi obtida no tratamento com quatro dias, 7,824 g planta<sup>-1</sup>.

Foi verificado em ambas as épocas de cultivo que o déficit hídrico acumulado, provocado principalmente pelos tratamentos com menor frequência de irrigação, afetou significativamente a produção de biomassa seca de folhas, tendo-se observado correlação direta

entre a diminuição da frequência de irrigação e diminuição da produção de biomassa seca de folhas.

Na Figura 35, encontram-se duas equações polinomiais de segundo grau, as quais foram elaboradas por meio de regressão a fim de descrever o comportamento da produção de biomassa seca de folhas em função do intervalo entre duas irrigações consecutivas (frequência de irrigação), considerando o volume aplicado em cada tratamento conforme descrito na Tabela 4 e Tabela 5. Os coeficientes de correlação obtidos foram iguais a 0,9107 e 0,7408, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente.

Figura 35 – Correlação entre os valores de biomassa seca de folhas e frequência de irrigação nas diferentes épocas de condução dos experimentos.



Fonte: Do autor (2019).

Tais resultados corroboram com os resultados obtidos por Alvarenga (2012), Boeira (2018), Lopes et al. (2011), dentre outros autores. Costa Filho, Encarnação e Oliveira (2006), constataram que o solo mantido a 100% da capacidade de campo, promoveu a maior alocação de matéria seca em *Ocimum gratissimum*, acelerando o desenvolvimento da planta e que maiores frequências de irrigação favoreceram a produção.

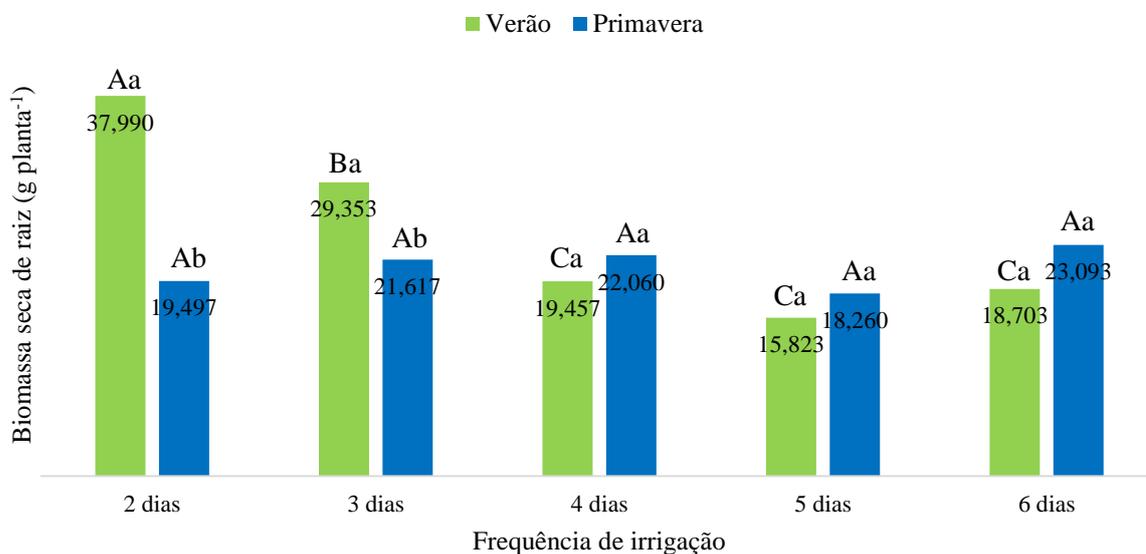
Segundo Khan et al. (2012), com maiores frequências de irrigação ocorre maior solubilização dos nutrientes do solo e maior disponibilização destes ao longo do tempo de cultivo, o que gera manutenção do equilíbrio na transpiração e fotossíntese.

De acordo com Castro et al. (2010), plantas cultivadas sob boas condições de umidade do solo apresentam crescimento superior aos tratamentos sob déficit hídrico. Wahid (2004) ressalta que, plantas que se desenvolvem sob estresses ambientais, tendem a apresentarem modificações morfológicas, como redução na massa seca das folhas e, conseqüentemente, da parte aérea. Segundo Griffiths e Parry (2002), a redução da produção de matéria seca, em plantas sujeitas ao déficit hídrico, se torna mais visível na medida em que a exposição ao déficit é mais prolongada.

#### 4.5.5 Biomassa seca de raiz

Na Figura 36 encontram-se os resultados das médias de biomassa seca de raiz em relação as frequências de irrigação adotadas em ambas as épocas de condução dos experimentos, verão e primavera.

Figura 36 – Valores médios de biomassa seca de raiz em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

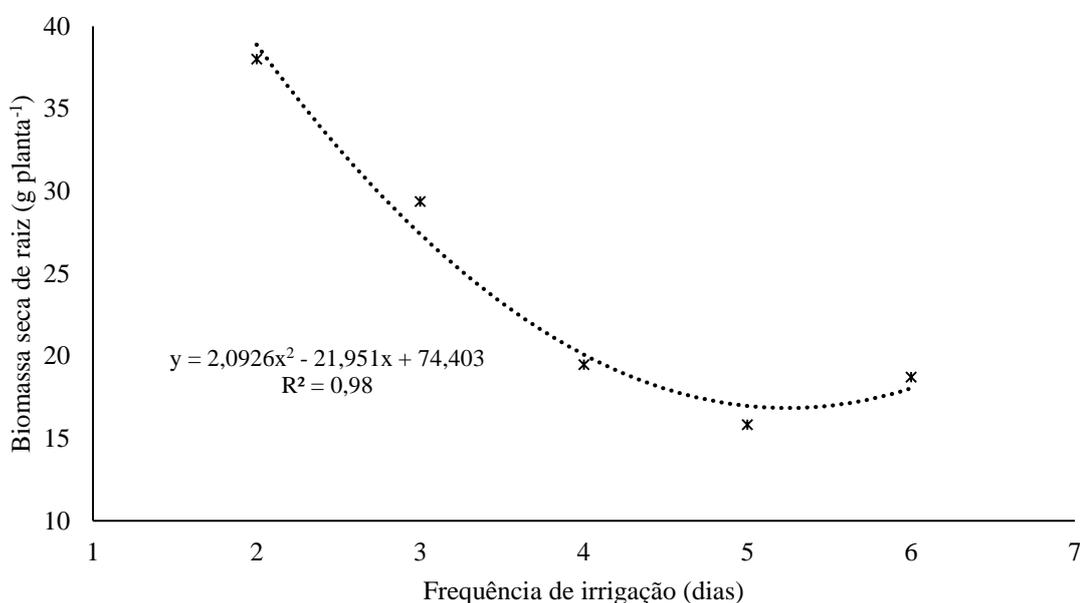
Fonte: Do autor (2019).

No experimento conduzido durante o verão a maior produção de biomassa seca de raiz foi obtida no tratamento com menor frequência de irrigação (2 dias), 37,990 g planta<sup>-1</sup>. Esse tratamento diferiu estatisticamente do tratamento com frequência de três dias, com média de

biomassa seca de raiz igual a  $29,353 \text{ g planta}^{-1}$  e dos demais tratamentos, com quatro, cinco e seis dias de frequência de irrigação, com médias iguais a  $19,457$ ,  $15,823$  e  $18,703 \text{ g planta}^{-1}$ , respectivamente.

Entre esses três últimos tratamentos não foi observada diferença estatística significativa e através de análise de regressão foi ajustada uma equação polinomial, na qual obteve-se coeficiente de correlação ( $r^2$ ) igual a  $0,98$  entre valores de biomassa seca de raiz e as frequências de irrigação adotadas em cada tratamento (Figura 37).

Figura 37 – Correlação entre os valores de biomassa seca de raiz e frequência de irrigação no experimento conduzido durante o verão.



Fonte: Do autor (2019).

No experimento conduzido durante a primavera as médias variaram entre  $18,260$  e  $23,093 \text{ g planta}^{-1}$ , para os tratamentos com frequência de irrigação de cinco e seis dias, respectivamente. No entanto, nessa época de cultivo, não foi observado efeito da frequência de irrigação sobre o diâmetro de caule das plantas.

Observa-se que entre os tratamentos com dois e três dias de frequência de irrigação, houve diferença significativa entre os valores de diâmetro quando comparado entre as diferentes épocas, obtendo-se maiores valores de médias com o cultivo de verão. Já entre os demais tratamentos, quatro, cinco e seis dias de intervalo, não foi verificada diferença significativa.

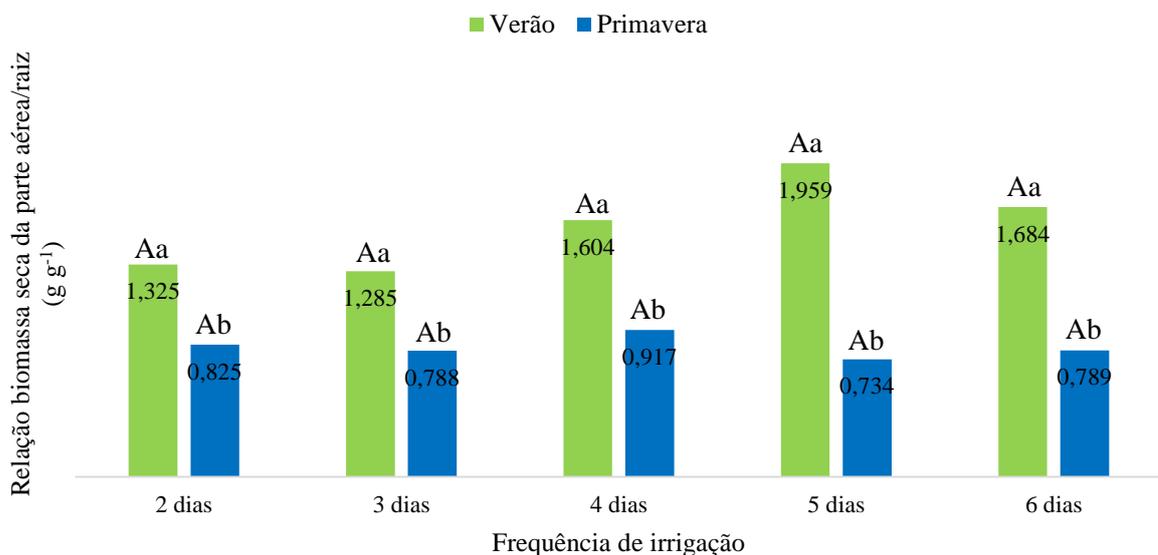
Padrón et al. (2015) analisaram o efeito de duas frequências de irrigação (diária e a cada dois dias) sobre o desenvolvimento do sistema radicular do pimentão (*Capsicum annum*).

Os autores observaram que as variáveis de crescimento foram influenciadas pelos tratamentos e mostraram que à medida em que diminuiu a frequência de irrigação houve diminuição do comprimento, largura e área do sistema radicular.

#### 4.5.6 Relação parte aérea/raiz

Na Figura 38 estão representados os resultados da relação entre a biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz função da frequência de irrigação adotada em ambas as épocas de condução dos experimentos.

Figura 38 – Valores médios de relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

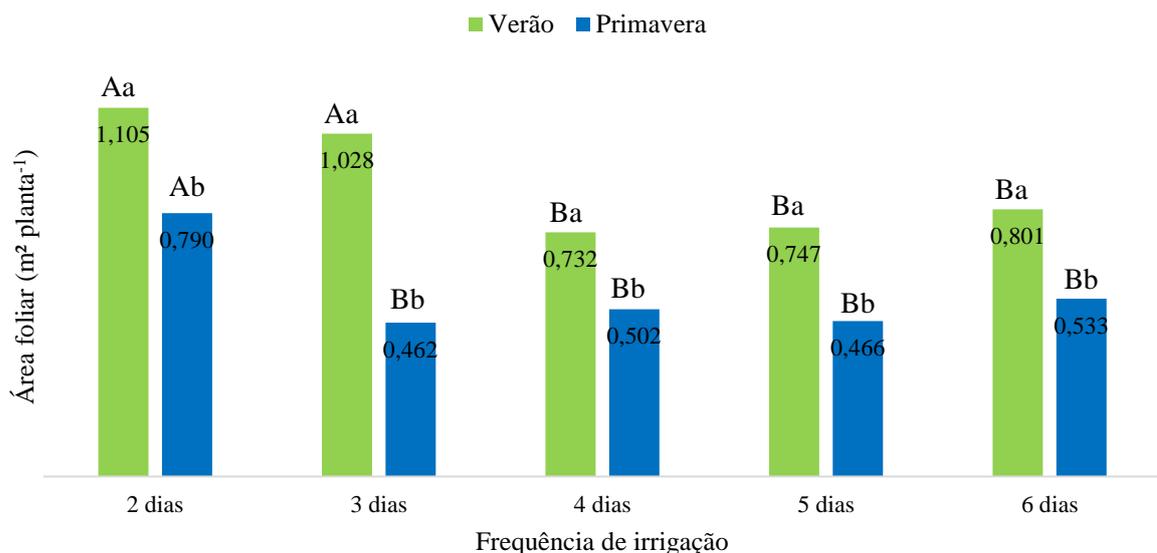
Em ambas as épocas de cultivo, verão e primavera, não foi verificada diferença significativa entre as médias do parâmetro relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca do sistema radicular entre os tratamentos. No experimento conduzido no verão as médias variaram entre 1,285 e 1,959, para os tratamentos com três e cinco dias de frequência de irrigação, respectivamente. Na primavera as médias foram menores e em todos os tratamentos diferiram estatisticamente do cultivo de verão. Os valores variaram entre 0,734 e

0,917, para os tratamentos com cinco e quatro dias de frequência de irrigação, respectivamente. De forma análoga à análise realizada no “Experimento I”, neste experimento, os menores valores de relação entre biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de raiz obtidos com o cultivo na primavera, se deve a menor produção de biomassa fresca nessa época quando comparada à produção no experimento cultivado no verão.

#### 4.5.7 Área foliar

Através da Figura 39 pode-se observar que, no experimento conduzido durante o verão, os tratamentos com dois e três dias de frequência de irrigação foram os que apresentaram os maiores valores de área foliar, 1,105 e 1,028 m<sup>2</sup>, respectivamente. No entanto, entre esses dois tratamentos não foi verificada diferença estatística significativa. Entre os tratamentos com quatro, cinco e seis dias de frequência de irrigação, também não foi verificada diferença significativa, mas diferiram dos tratamentos com dois e três dias de frequência de irrigação. As médias foram iguais a 0,732, 0,747 e 0,801 m<sup>2</sup>, para os tratamentos com quatro, cinco e seis dias de frequência, respectivamente.

Figura 39 – Valores médios de área foliar em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

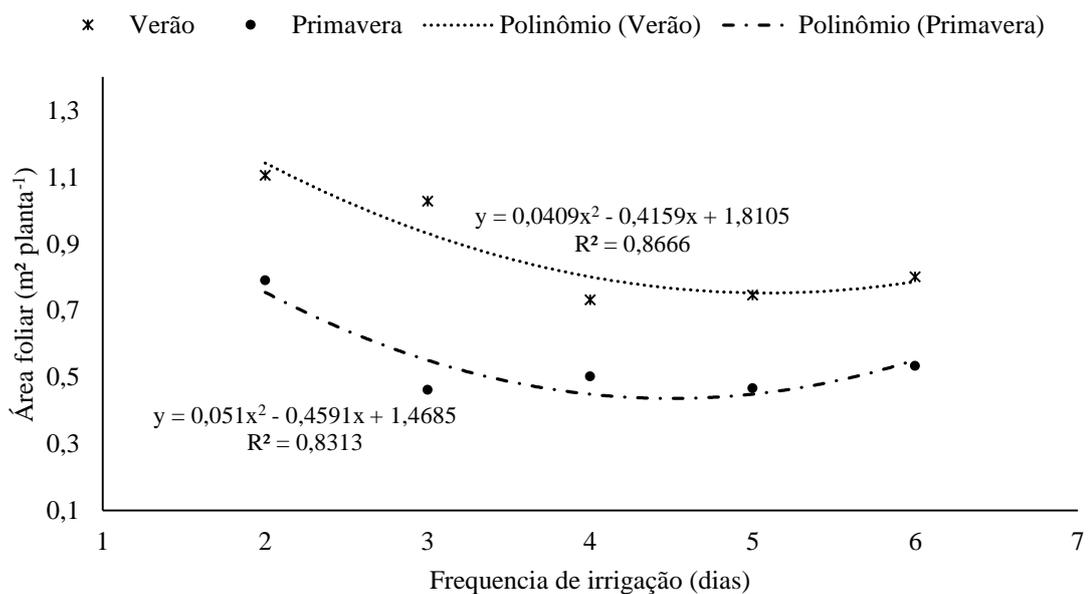
No experimento conduzido durante a primavera, a maior média ocorreu no tratamento com 2 dias de frequência de irrigação, 0,790 m<sup>2</sup>, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Entre os tratamentos com três, quatro, cinco e seis dias de frequência de irrigação, com médias iguais a 0,462, 0,502, 0,466 e 0,533 m<sup>2</sup>, respectivamente, não foi verificada diferença significativa.

Observa-se que, entre as épocas de cultivo, em todos os tratamentos, as médias do experimento conduzido no verão foram superiores às médias do experimento desenvolvido na primavera. Fato que pode ser explicado pela maior produção de biomassa fresca da parte aérea provocado pela diferença de temperatura média diária ao longo da condução dos experimentos, conforme pode ser observado na Figura 14.

Na Figura 40 encontram-se as equações obtidas por regressão e as curvas elaboradas por meio desta, a fim de descrever o comportamento dos valores de área foliar em função da frequência de irrigação adotada e em relação aos valores de volume de água aplicados no solo, conforme descritos na Tabela 6 e Tabela 7.

Para ambas as épocas de cultivo a equação que permitiu melhor ajuste foi a equação do tipo polinomial de segundo grau. Os coeficientes de correlação obtidos foram iguais a 0,8666 e 0,8313, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente.

Figura 40 – Correlação entre os valores de área foliar por planta e frequência de irrigação em ambas as épocas de condução dos experimentos.



Souza et al. (2000) enfatizam que aplicações de água com maior frequência permitem melhor distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura, reduzindo as perdas de água por drenagem e os períodos de estresse hídrico, favorecendo um melhor desenvolvimento vegetativo das culturas.

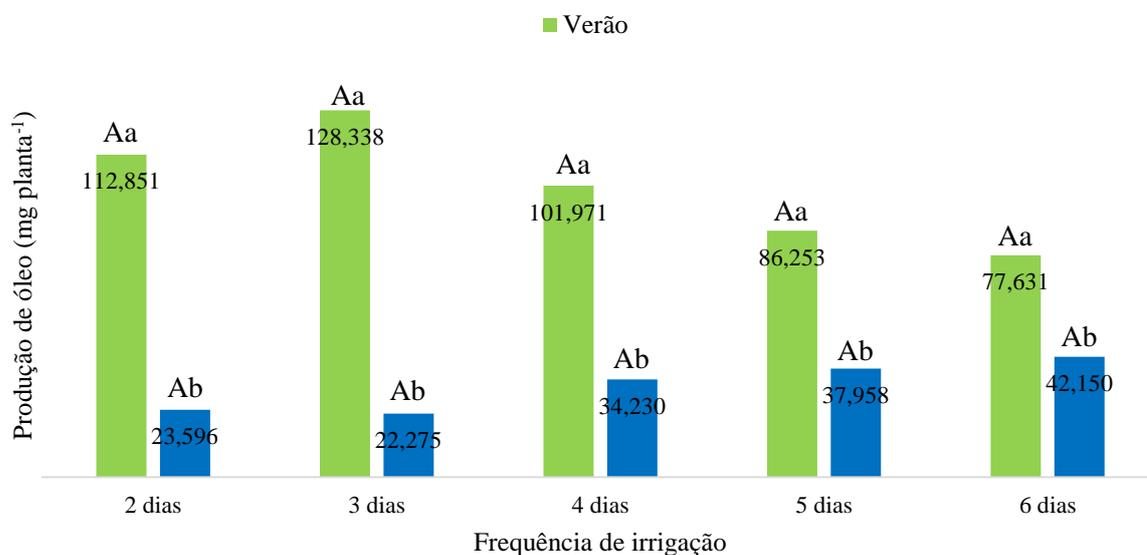
Pereira Filho et al. (2014), verificaram que maiores frequências de irrigação proporcionaram ganho substancial de área foliar na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.), encontrando valor máximo no tratamento com maior frequência de irrigação (2 eventos de irrigação por dia). O incremento de área foliar obtido com a maior frequência quando comparado com o tratamento com menor frequência de irrigação foi de 113,70%. De acordo com os autores o menor valor de área foliar obtido com a menor frequência de irrigação (um evento de irrigação a cada cinco dias) indica sensibilidade da cultura à menor disponibilidade hídrica no solo, por ocasião do possível déficit hídrico ocorrido entre duas irrigações sucessivas.

Melo et al. (2010), em melanciaira, observaram que a expansão da área foliar é afetada negativamente pelo déficit hídrico. Segundo os autores, nessa situação, verifica-se diminuição no tamanho das folhas e maior resistência estomática, evidenciando um mecanismo para evitar maior perda de água por transpiração.

#### **4.5.8 Produção e rendimento de óleo essencial**

Conforme pode ser observado na Figura 41, em que estão representados os valores de produção de óleo essencial em função da frequência de irrigação adotada. Nota-se que os tratamentos não tiveram efeito significativo em ambas as épocas de cultivo.

Figura 41 – Valores médios de produção de óleo essencial em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Apesar de não apresentar diferença estatística significativa, no experimento conduzido no verão, a variação máxima entre os valores das médias de produção foi de 50,707 mg planta<sup>-1</sup>, entre os tratamentos com intervalo de seis e três dias entre irrigações consecutivas. Nesses tratamentos o valor das médias foram de 77,631 e 128,338 mg planta<sup>-1</sup>, nos tratamentos com seis e três dias de frequência de irrigação, respectivamente.

A época de condução do experimento influenciou significativamente a produção de óleo essencial em todos os tratamentos. Sendo que, no experimento conduzido na primavera a produção de óleo essencial foi em média 3,5 vezes menor do que a produção de óleo obtida no experimento conduzido no verão. Os valores das médias de produção de óleo no experimento conduzido na primavera variaram entre 22,275 e 42,150 mg planta<sup>-1</sup>, nos tratamentos com três e seis dias de frequência de irrigação, respectivamente.

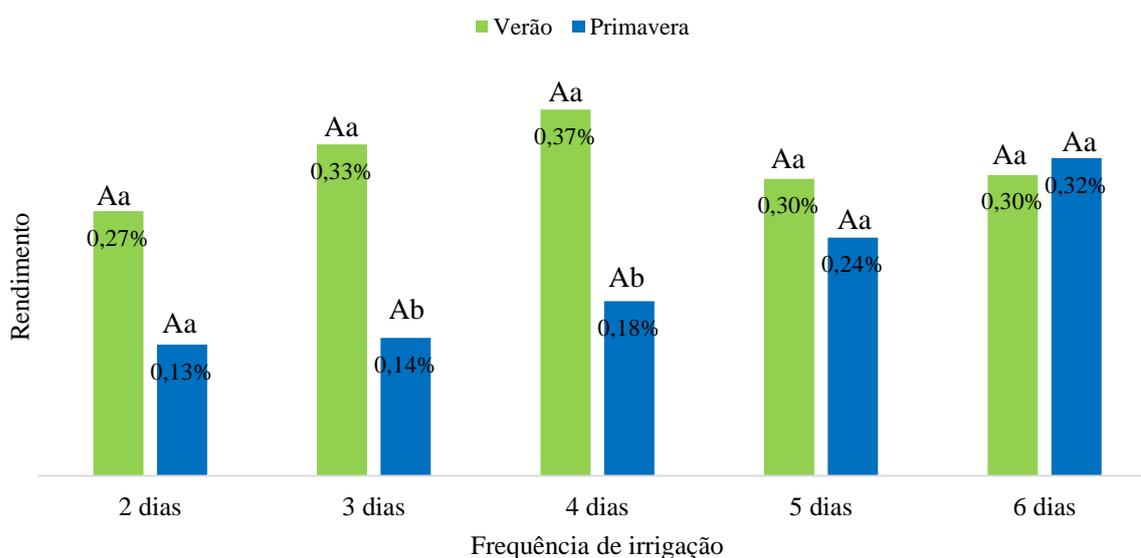
Na Figura 42 estão representados os valores de rendimento de óleo essencial em função das frequências de irrigação adotadas. Assim como na produção de óleo essencial, a frequência de irrigação não afetou significativamente o rendimento de óleo em ambas as épocas de condução dos experimentos.

No entanto, quando analisada a influência das épocas de cultivo, houve efeito significativo somente nos tratamentos com três e quatro dias de frequência de irrigação. No

tratamento com três dias de frequência, as médias foram iguais a 0,33% e 0,14%, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente. Já no tratamento com 4 dias de frequência, obteve-se médias iguais a 0,37% e 0,18%, para o experimento conduzido no verão e primavera, respectivamente.

Em todos os tratamentos e independentemente da época de cultivo, os valores das médias de rendimento de óleo essencial obtidos nesse experimento ficaram próximos do intervalo encontrado em literatura e citado por Colussi et al. (2011), 0,02 a 0,40%. Conforme já mencionado, tal variação se deve pela falta de padronização e controle da qualidade da matéria-prima para a produção do óleo essencial de *Melissa officinalis* L.

Figura 42 – Valores médios de rendimento de óleo essencial em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



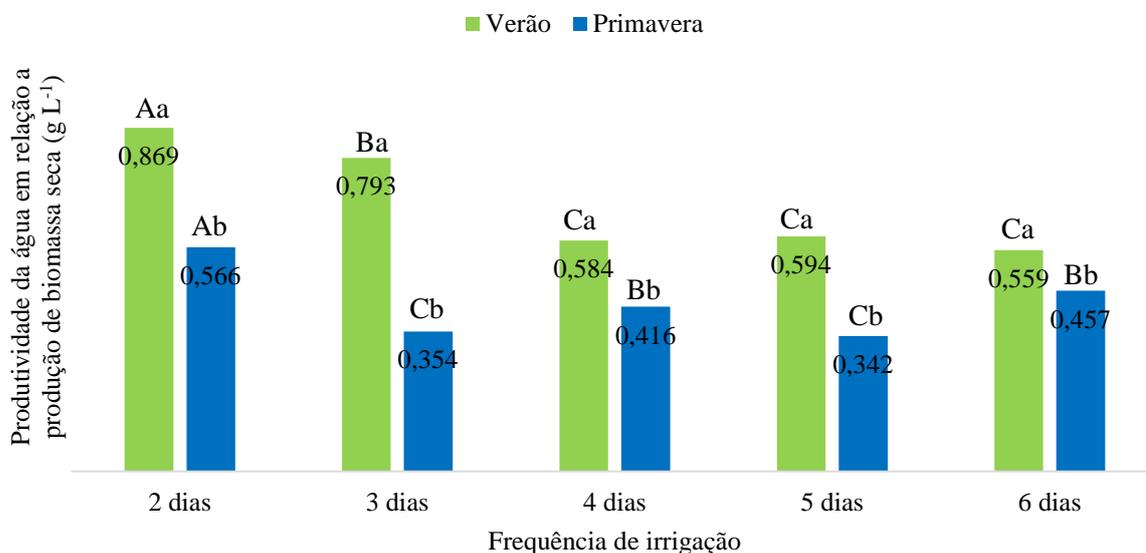
Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

#### 4.5.9 Produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas

Os resultados de produtividade da água em relação a produção de massa seca de folhas e em função da frequência de irrigação adotada, podem ser observados na Figura 43.

Figura 43 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de massa seca de folhas e em função da frequência de irrigação adotada nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

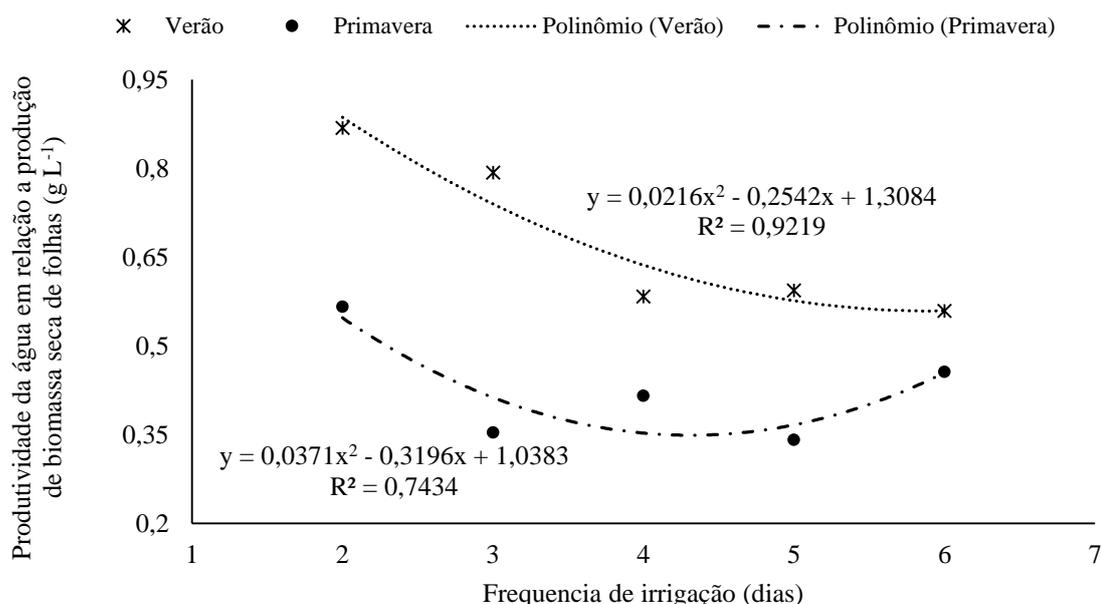
Verificou-se no experimento conduzido no verão, diferença estatística significativa entre os valores das médias. Apesar do volume de água repostado ao solo nos diferentes tratamentos ter sido o mesmo, foi observada tendência de diminuição dos valores das médias à medida em que houve aumento no intervalo entre irrigações consecutivas. Portanto, o maior valor obtido foi com o tratamento com frequência de dois dias entre irrigações, 0,869 g L<sup>-1</sup>. Na sequência o tratamento com três dias de frequência, com 0,793 g L<sup>-1</sup>. Os menores valores foram obtidos nos tratamentos com quatro, cinco e seis dias entre irrigações consecutivas, 0,584, 0,594 e 0,559 g L<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre esses últimos tratamentos não foi verificada diferença estatística significativa.

O experimento conduzido na primavera também apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Apesar do maior valor obtido (0,566 g L<sup>-1</sup>) ter ocorrido no tratamento com a menor frequência de irrigação (dois dias), não foi verificada uma relação bem definida entre o aumento da frequência de irrigação e aumento da produtividade da água em função da produção de massa seca de folhas. Visto que, entre os tratamentos com quatro e seis dias de frequência não foi verificada diferença significativa, e seus valores foram estatisticamente diferentes e superiores aos valores das médias dos tratamentos com três e cinco dias.

Ao analisar a influência da época de cultivo sobre a produtividade da água, verificou-se efeito significativo em todos os tratamentos, tendo-se obtido valores superiores no experimento cultivado no verão em relação ao cultivo de primavera. As maiores diferenças foram encontradas nos tratamentos com menores frequências de irrigação, 0,303 e 0,439 g L<sup>-1</sup>, entre os tratamentos com dois e três dias de intervalo, respectivamente.

Foi realizada análise de regressão e obtidas duas equações polinomiais de segundo grau e duas curvas que permitiram modelar o comportamento dos valores de produtividade da água em função da frequência de irrigação adotada (FIGURA 44). Os coeficientes de correlação obtidos foram iguais a 0,9219 e 0,7434, para o experimento conduzido no verão e primavera respectivamente.

Figura 44 – Correlação entre os valores de produtividade da água em relação a produção de biomassa seca de folhas e frequência de irrigação em ambas as épocas de cultivo.

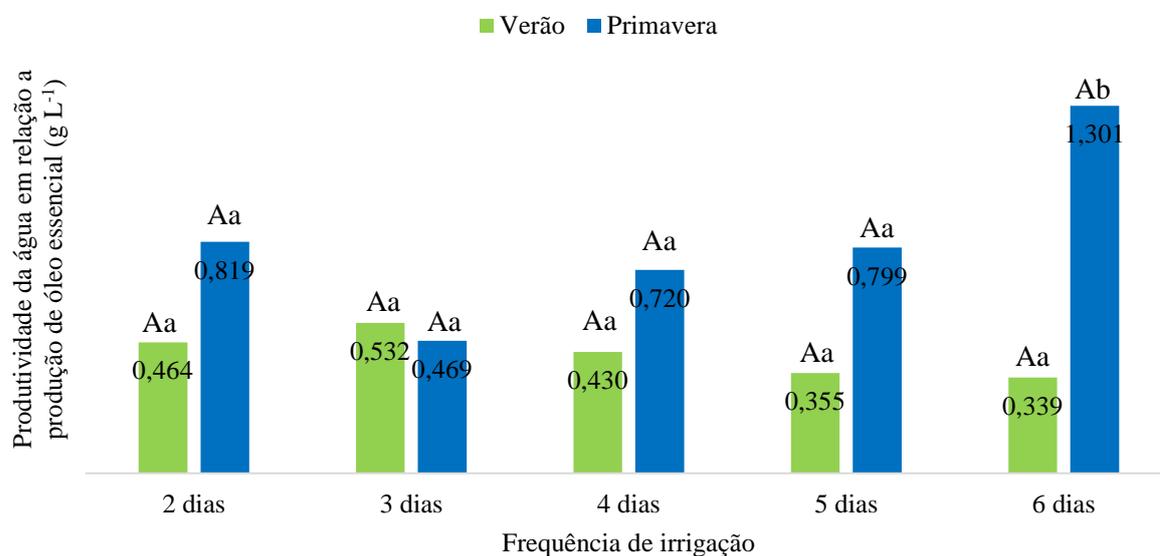


Fonte: Do autor (2019).

#### 4.5.10 Produtividade da água em relação a produção de óleo essencial

Na Figura 45 estão os resultados de produtividade da água em relação à produção de óleo essencial e em função da frequência de irrigação adotada em ambas as épocas de condução dos experimentos. Por meio desta figura, nota-se que não houve efeito significativo dos tratamentos em ambas as épocas de cultivo.

Figura 45 – Valores médios de produtividade da água em relação a produção de óleo essencial em função das diferentes frequências de irrigação adotadas nas diferentes épocas de cultivo.



Valores seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma época de cultivo, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre épocas diferentes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

No experimento conduzido no verão os valores das médias variaram entre 0,339 e 0,532 g L<sup>-1</sup>, nos tratamentos com seis e três dias de frequência de irrigação, respectivamente. Já no experimento conduzido na primavera os valores variaram entre 0,469 e 1,301 g L<sup>-1</sup>, nos tratamentos com três e seis dias de frequência, respectivamente.

Houve efeito significativo das épocas de cultivo sobre a produtividade da água em relação à produção de óleo essencial somente no tratamento com o maior intervalo entre irrigações consecutivas (seis dias de frequência). A diferença entre os valores das médias foi de 0,962 g L<sup>-1</sup>, tendo o experimento cultivado na primavera apresentado o maior valor (1,301 g L<sup>-1</sup>) em relação ao cultivo de verão, o que de fato provocou diferença significativa entre os valores das médias. Entre os demais tratamentos não foi verificado efeito da frequência de irrigação em relação à época de cultivo.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi desenvolvido, com observância nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- o volume de reposição de água no solo e a frequência de irrigação não afetou o crescimento, em termos de altura e diâmetro de caule, da *Melissa officinalis* L.; mas afetou a produção de biomassa, produzindo mais com aumento do volume e aumento da frequência de irrigação;

- o volume de reposição de água no solo e a frequência de irrigação não apresentaram influência sobre rendimento de óleo essencial;

- a produção de óleo essencial somente foi afetada pelo volume de reposição de água no solo;

- o volume de reposição de água no solo e a frequência de irrigação afetou a produtividade da água, tanto em relação à produção de biomassa seca, quanto à produção de óleo essencial. Com o aumento do volume de reposição e aumento da frequência de irrigação, ocorreu diminuição da produtividade da água.

- ocorreu grande influência da época de cultivo sobre grande maioria dos parâmetros avaliados, especialmente sobre a produção de biomassa seca de folhas e sobre a produção de óleo essencial, os dois principais produtos comerciais na cultura da *Melissa officinalis* L. Portanto, os dados obtidos podem auxiliar no planejamento econômico e até mesmo nas simulações de produção de *Melissa officinalis* L.

## REFERENCIAS

- ABBASZADEH, B.; FARAHANI, H. A.; MORTEZA, E. Effects of irrigation levels on essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.). **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, Amman, v. 3, n. 1, p. 53-56, 2009.
- ABREU, I. N.; MAZZAFERA, P. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 43, n. 3, p. 241-248, 2005.
- ALVARENGA, A. A. et al. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 53-60, 2003.
- ALVARENGA, I. C. A. et al. Fator de resposta do alecrim-pimenta a diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 462-468, out./dez. 2012.
- ANDRADE, F. M. C.; CASALI, V. W. D. **Plantas medicinais e aromáticas**: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário. Viçosa, MG: UFV, 1999.
- ANTUNES, M. D. C.; CAVACO, A. M. The use of essential oils for postharvest decay control: a review. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v. 25, p. 351-356, 2010.
- AOYAMA, E. M.; INDRIUNAS, A.; FURLAN, M. R. Produção de folhas em *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) em Taubaté, São Paulo. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 17, n. 1, 2011.
- ARAÚJO, W. F.; FERREIRA, L. G. R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 481-484, maio 1997.
- BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils: a review. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 46, p. 446-475, 2008.
- BARREIRO, E. J.; MANSUR, C. A. **Química medicinal**: as bases moleculares da ação dos fármacos. Porto Alegre: ArtMed, 2001. 608 p.
- BETTAIEB, I. et al. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, p. 271-275, 2009.
- BLANK, A. F. et al. Produção de mudas, altura e intervalo de corte em melissa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 780-784, jul./set. 2005.
- BOEIRA, L. S. **Produtividade da água na produção e crescimento de *Melissa officinalis* L. irrigada com água tratada magneticamente**. 2018. 66 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- BORGES, E. E. L.; RENA, A. B. Germinação de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília: Abrates, 1993. p. 83-135.

BORTOLO, D. P. G.; MARQUES, P. A. A.; PACHECO, A. C. Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 435-441, 2009.

BOZIN, B. et al. Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, p. 1822-1828, 2006.

BRASILEIRO, B. G. et al. Plantas medicinais utilizadas pela população atendida no “Programa de Saúde da Família”, Governador Valadares, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 44, n. 4, p. 629-636, out./dez. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. Brasília, 2006a. 48 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política nacional de práticas integrativas e complementares no SUS - PNPIC-SUS: atitude de ampliação de acesso**. Brasília, 2006b. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 971, de 03 de maio de 2006**. Aprova a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde. Brasília, 2006c.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 5.813, de 22 de junho de 2006**. Aprova a Política Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos e dá outras providências. Brasília, 2006d.

CALDAS, A. L. D. et al. Variação temporal da taxa de crescimento de *Melissa officinalis* L. submetida a diferentes frequências de irrigação. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INI, 2017. 1 CD-ROM.

CARBONI, T. R. **Análise de crescimento, trocas gasosas, potencial antioxidante e óleo essencial de *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare***. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Botânica) - Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 2013.

CARVALHO, L. M. et al. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.

CARVALHO, L. M. **Orientações técnicas para o cultivo de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. (Circular Técnica, 70).

CASTRO, H. G. et al. Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 308-314, jun. 2010.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. 651 p.

COLUSSI, T. C. et al. *Melissa officinalis* L.: características gerais e biossíntese dos principais metabólitos secundários. **Revista de Biologia e Farmácia**, Bragança Paulista, v. 5, n. 2, p. 89-100, 2011.

- CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 1-7, 2004.
- COSTA FILHO, L. O.; ENCARNAÇÃO, C. R. F.; OLIVEIRA, A. F. M. Influência hídrica e térmica no crescimento e desenvolvimento de *Ocimum gratissimum* L. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 8-13, 2006.
- COUTO, M. E. O. **Coleção de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 91 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 157).
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.
- DIAS, N. S. et al. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva da alface, cultivada em fibra de coco. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, p. 632-637, 2011.
- DINIZ, M. C. M. M. **Desenvolvimento e rebrota da cunhã (*Clitoria ternatea* L.) sob estresse hídrico, em associação com fungos micorrízicos-*Bradyrhizobium***. 1999. 78 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1999.
- DORMAN, H. J. D.; DEANS, S. G. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 88, p. 308-316, 2000.
- FARAHANI, H. A. et al. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. **Journal of Medicinal Plants Research**, Nsukka, v. 3, n. 5, p. 329-333, 2009.
- FARNSWORTH, N. R.; SOEJARTO, D. D. Global importance of medicinal plants. In: FARNSWORTH, N. R. **Conservation of medicinal plants**. New York: Cambridge University, 1991. p. 25-51.
- FARRANT, J. M. A comparison of mechanism of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 151, n. 1, p. 29-39, Nov. 2000.
- FÉLIX-SILVA, J. et al. Identificação botânica e química de espécies vegetais de uso popular no Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 548-555, 2012.
- FERNÁNDEZ, C. J.; Mc INNES, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1224-1233, 1996.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, L. G. R. **Fisiologia vegetal: relações hídricas**. Fortaleza: UFC, 1992. 138 p.

FIGUEIREDO, A. C.; MIGUEL, M. G. Aromatic plants, spices and volatiles in food and beverages. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v. 25, p. 251-252, 2010.

FIGUEIREDO, L. S. et al. Efeito da época de colheita na produção de fitomassa e rendimento de óleo essencial de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 154-158, 2009.

FIGUERÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 573-580, jul./set. 2004.

GOBBO NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

GONÇALVES, L. A. et al. Produção e composição do óleo essencial de Alfavaquinha (*Ocimin selloi* Benth.) em resposta a dois níveis de radiação solar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 6, n. 1, p. 8-14, 2003.

GRIFFITHS, H.; PARRY, M. A. J. Plant responses to water stress. **Annals of Botany**, London, v. 89, n. 1, p. 801-802, Apr. 2002.

GUGINSKI, G. **Análise das propriedades farmacológicas do extrato etanólico de *Melissa officinalis* L.** 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

HABER, L. L. et al. Diferentes concentrações de solução nutritiva para o cultivo de *Mentha piperita* e *Melissa officinalis*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 1006-1009, 2005.

HALSEMA, G. V.; VICENT, L. Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 108, p. 9-15, 2012.

HÄLVA, S.; CRAKER, L. E. **Manual for Northern Herb Growers**. Amherst: HSMP, 1996. 101 p.

HERNÁNDEZ, C. M. L.; FERRADA, C. A. L.; LUZ, L. A. Estudos agrícolas em *Melissa officinalis* L. (toronjil): fecha de propagación e plantación. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, Habana, v. 3, p. 93-97, 2001.

JALEEL, C. A. et al. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. **Colloids and Surfaces B: biointerfaces**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 298-303, Feb. 2008.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

- KHAN, M. M.; HANIF, M. A.; ABRAHAM, A. S. Variations in basil antioxidant contents in relation to deficit irrigation. **Journal of Medicinal Plants Research**, Nsukka, v. 6, n. 11, p. 2200-2223, 2012.
- LOPES, O. D. et al. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 548-553, 2011.
- LORDÊLLO, D. M. S. S. **Disponibilidade hídrica no crescimento, acúmulo e composição química do óleo essencial de Mentha piperita e estudo comparativo de atividades antioxidantes em espécies de mentas**. 2015. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarium, 2008. 544 p.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarium, 2002. 544 p.
- MANTOVANI, E. C. **Avalia: manual do usuário**. Viçosa, MG: DEA/UFV–PNP&D/Café Embrapa, 2002.
- MANUKYAN, A.; SCHNITZLER, W. H. Influence of air temperature on productivity and quality of some medicinal plants under controlled environment conditions. **European Journal of Horticultural Science**, Leuven, v. 71, n. 1, p. 36-44, 2006.
- MARQUES, P. A. A. et al. Consumo hídrico do manjeriço por meio de lisímetro de drenagem. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 745-761, out./dez. 2015.
- MARTINS, E. R. et al. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 220 p.
- MARTINS, I. P. **Crescimento e consumo de água por manjeriço (*Ocimum nasilicum* L.) sob diferentes regimes hídricos**. 2017. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.
- MAY, A. et al. Produtividade da biomassa de Melissa em função de intervalos de cortes e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 312-315, 2008.
- MEIRA, M. R. et al. Crescimento vegetativo, produção de fitomassa e de óleo essencial de *Melissa officinalis* L. sob diferentes lâminas de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2013nahead/a13413cr6681.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- MEIRA, M. R.; MARTINS, E. R.; MANGANOTTI, S. A. Crescimento, produção de fitomassa e teor de óleo essencial de melissa (*Melissa officinalis* L.) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 352-357, 2012.
- MELO, A. S. et al. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancieira em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MING, L. C. **Cultivation and processing of medicinal plants**. Budapest: University of Horticultural Science, 1992. 338 p.

MING, L. C. Estudo e pesquisa de plantas medicinais na agronomia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 3-9, 1994.

MONTANARI JÚNIOR, I.; PEREIRA, B.; MAGALHÃES, P. M. Ensaio comparativo da produtividade de duas variedades de *Melissa Officinalis* L. In: JORNADA PAULISTA DE PLANTAS MEDICINAIS, 3., 1997, São Paulo. **Resumos...** São Paulo, 1997.

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, S4050-S4063, ago. 2009.

OLIVEIRA, L. N. P. **Verde saúde: plantas medicinais**. Curitiba: [s.n.], 1995. 60 p.

OLIVER, A. E. et al. Non-disaccharide-based mechanisms of protection during drying. **Cryobiology**, San Diego, v. 43, n. 2, p. 151-167, Sept. 2001.

ONOFRE, S. B. et al. Physicochemical characteristics of the essential oils of *Baccharis dracunculifolia* and *Baccharis unicella* D. C. (Asteraceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 197-203, 2008.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE / FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFLNCIA. **Cuidados primários em saúde: relatório da Conferência Internacional sobre cuidados primários da saúde**, Alma-Ata, URSS, 6 a 12 de setembro de 1978. Brasília, 1979. 64 p.

OZTURK, A. et al. Effect of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 36, p. 787-792, 2004.

PADRÓN, R. A. R. et al. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 49-55, abr. 2015.

PANIZZA, S. **Plantas que curam: cheiro de mato**. 22. ed. São Paulo: IBRASA, 1997. 279 p.

PEREIRA FILHO, J. V. et al. Frequência de irrigação e aplicação de N em meloeiro irrigado por gotejamento nas condições semiáridas do Nordeste. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 11-22, 2014.

PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of  *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 1, p. 101-108, Apr. 2005.

PINTO, A. C. et al. Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. **Química Nova**, v. 25, p. 45-61, 2002.

PIRES, R. C. M. et al. Desenvolvimento vegetativo do tomateiro cultivado em diferentes volumes de substrato e frequências de irrigação em estufa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. 4 p. 1 CD-ROM.

- PRABUSEENIVASAN, S.; JAYAKUMAR, M.; IGNACIMUTHU, S. In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. **BMC Complementary and alternative Medicine**, London, v. 6, n. 39, p. 1-8, 2006.
- PRAVUSCHI, P. R. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção de óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 687-693, 2010.
- REIS, E. S. et al. Influência do meio de cultura na germinação de sementes *in vitro* e taxa de multiplicação de *Melissa officinalis* L. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 3, n. 55, p. 160-167, 2008.
- SAEB, K.; GHOLAMREZAEI, S. Variation of essential oil composition of *Melissa officinalis* L. leaves during different stages of plant growth. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, Haikou, v. 2, n. 2, p. 547-549, Feb. 2012.
- SANTOS, M. F. et al. Esterco bovino e biofertilizante no cultivo de erva-cidreira-verdadeira (*Melissa officinalis* L.). **Revista Brasileira de Plantas Medicináveis**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 355-359, 2009.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SARER, E.; KÖKDIL, G. Constituents of the essential oil from *Melissa officinalis* L. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 57, p. 89-90, 1991.
- SELMAR, D.; KLEINÄCHTER, M. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation medicinal plants. **Industrial Crops and Products**, Dakota, v. 42, p. 558-566, 2013.
- SILVA, P. A. et al. Efeito da temperatura e da luz na germinação e no vigor de sementes de *Melissa Officinalis* L. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, 2004.
- SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre as características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.
- SILVA, T. C. **Produção de biomassa, teor e composição química do óleo essencial de *Melissa Officinalis* L. sob omissão de nutrientes e em consórcio com *Achillea millefolium* L.** 2015. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- SIMÕES, C. M. O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre: UFSC, 2007.
- SIMON, J. E. et al. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. **Journal of Essential Oil Research**, Carol Stream, v. 4, n. 1, p. 71-75, 1992.
- SOARES, L. A. A. et al. Morfologia e qualidade pós-colheita do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 8, n. 1, p. 239-246, 2013.

SODRÉ, A. C. B. **Biomassa, rendimento e composição de óleo essencial de *Melissa officinalis* em função de adubação orgânica e mineral.** 2007. 48 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SOUSA, V. F. et al. Eficiência do uso de água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 183- 188, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TARGINO, A. J. O. et al. Volume de recipiente e frequência de irrigação na produção de *Lactuca sativa* L. semi-hidropônico. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2017. 1 CD-ROM.

TRENTINI, A. M. M. Registro, controle de qualidade e comércio de fitoterápicos. In: SEMINÁRIO MINEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS, 3., 1997, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 1997. p. 23-25.

VIUDA-MARTOS, M. et al. Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 43, p. 526-531, 2008.

WAHID, A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, Taipei, v. 45, p. 133-141, 2004.

WANDERER, M. **Produção de mudas e rendimento de biomassa de melissa (*Melissa officinalis* L.) sob diferentes espaçamentos de plantas e coberturas de solo.** 2004. 122 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

YUNES, R. A.; CALIXTO, J. B. **Plantas medicinais sob a ótica da química medicinal moderna.** Chapecó: Argos, 2001. cap. 8, p. 297-315.