**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Adubação potássica e lâminas de irrigação na produção de biomassa
e óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**

Jefferson Vieira José

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2014**

Jefferson Vieira José
Engenheiro Agrícola

**Adubação potássica e lâminas de irrigação na produção de biomassa e óleo
essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2014**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

José, Jefferson Vieira

Adubação potássica e lâminas de irrigação na produção de biomassa e óleo essencial do manjerição (*Ocimum basilicum* L.) / Jefferson Vieira José. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014. 163 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Coeficiente da cultura 2. Rendimento de óleo essencial 3. Potássio 4. Manejo de irrigação I. Título

CDD 633.83
J83a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico,
aos meus queridos pais
que esperaram
por este momento:

Osmar Emidio José
e
Edinar Vieira José.

Ofereço,
aos meus irmãos, pelo incentivo:

Jeeziel Vieira José
e
Gedilene Vieira José.

Aos meus avós, tios, primos, cunhados e sobrinhas,
por todo carinho.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade da realização deste curso de pós-graduação.

À Professora orientadora, Dra. Patricia Angélica Alves Marques, pela orientação dedicada, estímulo, apoio, valiosos aconselhamentos a mim oferecidos e por conceder-me boas condições de trabalho.

Aos Professores Dr. Sérgio Nascimento Duarte, Dr. Fernando Campos Mendonça e Dr. Talles Miller por suas sugestões e opiniões no exame de qualificação, para a melhoria e engrandecimento dessa pesquisa, em especial ao Dr. Sérgio por apoio e amizade em todos os momentos.

Aos Professores Dr. Marcos Vinicius Folegatti, Dr. Rubens Duarte Coelho e Dr. José Antônio Frizzone pelo empréstimo de equipamentos.

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), através do Professor Nilson Borlina Maia pela doação das plantas de manjerição.

Aos Professores da Universidade Estadual de Maringá – UEM; Prof. Dr. Altair Bertonha, Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço, Prof. Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves, Prof. Dra. Maria Magdalena Ferreira Ribas e Prof. Dr. Roberto Rezende pelos ensinamentos, apoio e por colocar-me no caminho da ciência.

Aos amigos Cornélio Alberto Zolin e Janaina Paulino pelo constante apoio e incentivo nessa jornada científica.

Aos meus irmãos de orientação, Daniel Soares Alves e Hermes Soares da Rocha, que com toda dedicação e experiência me auxiliaram em todas as etapas desta pesquisa. Muito obrigado!

Aos amigos de moradia, Adriano Diotto, Eusímio Felisbino Fraga Junior, Jonathan Vásquez Lizcano e Marcos Antonio Correa Matos do Amaral, pela companhia e momentos de alegria e amizade.

Me sinto honrado pelos amigos acima citados e aos demais amigos: Bruno Marçal, Carlos José Gonçalves, Conan Salvador, Daniel Leal, Diego Brandão, Everaldo, Fernando Barbosa, João Paulo Francisco, Lívia Previatello da Silva, Lucas da Costa Santos, Osvaldo Nogueira, Rafael Dreux, Rony Pedro e Sergio Medeiros, que compartilharam meu entusiasmo e pela constante colaboração na elaboração desta pesquisa.

Aos graduandos de Agronomia Alexandre Lima, Brenda Cristina, Gabriel Blair, Vitor Soares, e a amiga, Carla Azevedo pela imensa colaboração na fase de amostragem desta pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Gilmar Batista Grigolon, Paula Alessandra Bonassa Pedro, Antônio Agostinho Gozzo (Seu Antônio), Ângela Márcia Derigi Silva, Davilmar Aparecida Colevatti, Hélio de Toledo Gomes, Luiz Custódio Camargo e Paula Leme Mendes, pela atenção e disposição durante a realização dos trabalhos.

Aos funcionários do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Engenharia de Irrigação, Antonio Pires de Camargo, Marinaldo Ferreira Pinto e Ezequiel Saretta pela contribuição que deram a essa pesquisa.

À amiga Silvia Regina Storer, pelo auxílio na formatação e correção ortográfica.

Aos meus amigos de pós-graduação, Acácio Perboni, Ana Paula Damasceno, Ana Luíza Ferreira, Alan Bernard, Alexsandro Claudio dos Santos Almeida, Bruno Lena, Catariny Aleman, Cicero Renê, Dinara Grasiela, Irineu Andrade, Isaac Ponciano, José Guilherme Scanavini, Juliano Martins, Rafael Maschio, Rafaelly Suzanye, Renato Moreira, Ricardo Gava, Roberto Marano, Robson Mauri, Timóteo Herculino, Vanessa Gráh e Wagner Wolff, pelo bom convívio.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão de bolsa de estudo.

Aos meus pais, pelo apoio resolutivo, entendimento da minha ausência e, acima de tudo, por me apresentar a Jesus Cristo. Porque d'Ele, por Ele e para Ele é todo meu agradecimento.

BIOGRAFIA

JEFFERSON VIEIRA JOSÉ, filho de Osmar Emidio José e Edinar Vieira José, nasceu na cidade de São José dos Campos, Estado de São Paulo, no dia 28 de outubro de 1983, onde cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual Homera da Silva Braga e Ensino Médio na Escola Estadual Benedito Matarazzo. Entrou na Universidade Estadual de Maringá – UEM, Estado do Paraná em agosto de 2003, no curso de Engenharia Agrícola, graduou-se em janeiro de 2008. Em março de 2009 ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia, na Universidade Estadual de Maringá – UEM, em nível de Mestrado, área de concentração: Produção Vegetal. Obteve o título de mestre em fevereiro de 2011. Em março de 2011 ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas na Universidade de São Paulo – USP, campus “Luiz de Queiroz”, em nível de Doutorado. Em agosto de 2014, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

“Será que não nos atrevemos porque as coisas são difíceis
ou será que são difíceis porque não nos atrevemos?”

(Lucius Seneca, 4AC - 65DC).

“Dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários.”

(C.S. Lewis)

SUMÁRIO

RESUMO.....	15
ABSTRACT	17
LISTA DE FIGURAS	19
LISTA DE TABELAS	25
1 INTRODUÇÃO	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1 <i>Ocimum basilicum</i> L.	31
2.1.1 Ecofisiologia da cultura.....	31
2.1.2 Cultivares.....	34
2.1.3 Técnicas de cultivos	34
2.2 Óleos essenciais	38
2.2.1 Óleos essenciais do <i>Ocimum basilicum</i> L	39
2.2.2 Formas de utilização do <i>Ocimum basilicum</i> L.	40
2.2.3 Importância econômica do óleo essencial	41
2.2.3.1 Pesquisa e desenvolvimento no Brasil	44
2.3 Fatores que afetam a biomassa da planta e o rendimento do óleo essencial.....	44
2.3.1 Manejo hídrico em plantas medicinais, aromáticas e condimentares	45
2.3.1.1 Necessidade hídrica da cultura do manjeriço	48
2.3.2 Nutrição e adubação potássica do manjeriço.....	50
3 MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1 Caracterização da área experimental.....	55
3.1.1 Localização.....	55
3.1.2 Clima	55
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	56

3.2.1	Características das unidades experimentais	56
3.3	Instalação do Experimento	57
3.4	Caracterização do solo	58
3.4.1	Características físicas-hídrico do solo	58
3.4.2	Característica química do solo	60
3.5	Caracterização da água	61
3.6	Dados climatológicos	62
3.7	Construção dos lisímetros.....	62
3.8	Irrigação.....	63
3.8.1	Sistema de irrigação	63
3.8.1.1	Manejo de irrigação	64
3.9	Cultura	66
3.9.1	Preparo das mudas	68
3.9.2	Transplântio e formação	71
3.10	Tratos culturais	71
3.11	Colheita.....	72
3.12	Extração de óleo essencial.....	73
3.13	Variáveis monitoradas	74
3.13.1	Estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0)	74
3.13.2	Estimativas da evapotranspiração da cultura (ET_c).....	74
3.13.3	Estimativas do coeficiente da cultura (K_c)	75
3.13.4	Somatório de graus dias	75
3.13.5	Análise da solução do solo.....	76
3.14	Variáveis avaliadas	77
3.14.1	Variáveis de produção de mudas	77
3.14.2	Variáveis de crescimentos	79
3.14.2.1	Altura da planta.....	79

3.14.2.2 Diâmetro de Caule.....	80
3.14.2.3 Fatores de forma para estimativas de área foliar.....	80
3.14.2.4 Índice de cobertura do solo	81
3.14.3 Variáveis de produção	81
3.14.3.1 Massa fresca e seca total	81
3.14.3.2 Teor e rendimento de óleo essencial	81
3.14.4 Aspectos nutricionais	81
3.15 Análise dos Resultados	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1 Variáveis monitoradas.....	83
4.1.1 Estimativa do coeficiente da cultura (Kc)	87
4.1.2 Análise da solução do solo	93
4.2 Variáveis avaliadas.....	99
4.2.1 Variáveis de produção de mudas.....	99
4.2.2 Variáveis de crescimento.....	106
4.2.2.1 Altura da planta	106
4.2.2.2 Diâmetro de Caule.....	109
4.2.2.3 Fator de forma para estimativas de área foliar	112
4.2.3 Variáveis da produção.....	120
4.2.3.1 Massa seca (folhas + inflorescência).....	120
4.2.3.2 Teor de óleo essencial	126
4.2.3.3 Rendimento de óleo essencial	131
4.2.4 Aspectos nutricionais	137
5 CONCLUSÕES	143
REFERÊNCIAS	145

RESUMO

Adubação potássica e lâminas de irrigação na produção de biomassa e óleo essencial do manjerição (*Ocimum basilicum* L.)

O manjerição é uma das ervas mais populares e úteis na culinária, devido ao seu aroma delicado e à sua fragrância. As principais formas de utilização são o manjerição fresco, seco ou o óleo essencial, sendo esta última a forma que apresenta maior valor agregado. As necessidades hídricas e a adubação potássica são uns fatores importantes nos parâmetros de produtividade de biomassa e óleo essencial de manjerição. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio sobre a produção de biomassa e óleo essencial de manjerição variedade “Lampião”, originária da coleção do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), em três períodos de colheita. O experimento foi instalado sob um delineamento experimental e em esquema fatorial 4 x 4, em blocos aleatorizados com parcelas subdivididas, constando de quatro lâminas de irrigação necessária para elevar a água do solo à capacidade de campo: L1 – 100% CAD, L2 – 75% CAD, L3 – 30% CAD, L4 – sem irrigação e quatro doses de potássio; D1 – 0 kg de K₂O ha⁻¹, D2 – 50 kg de K₂O ha⁻¹, D3 – 100 kg de K₂O ha⁻¹ e D4 – 200 kg de K₂O ha⁻¹. A área experimental foi constituída de 48 parcelas, cada parcela com 2,5 m de comprimento e 2,0 m de largura. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, adotando o manejo de irrigação com estimativa da umidade do solo por meio de dados da sonda de capacitância, modelo Diviner 2000[®]. Foi quantificado o consumo hídrico do manjerição e estimou-se o coeficiente de cultura (Kc) relacionando-o à soma de graus dia (GD) e ao índice de cobertura vegetal (IC). A evapotranspiração da cultura (ETc), em mm d⁻¹ foi determinada com o auxílio de três lisímetros de drenagem, fazendo-se o balanço de entradas e saídas de água. A evapotranspiração de referência (ETo), em mm d⁻¹ foi estimada pelo método Penman-Monteith, preconizado pela FAO-56, para obter o Kc. Foram avaliadas as variáveis de produção de mudas, de crescimento, produção de biomassa e rendimento de óleo essencial. O consumo hídrico da cultura foi de 71 mm, 103 mm e 187 mm, correspondendo aos valores médios de 1,03; 1,84 e 3,07 mm d⁻¹ nos períodos de cultivos I, II e III, respectivamente. Observou-se variações nos valores de Kc decorrentes das condições climáticas e das fases fenológicas da cultura. Os valores máximos e mínimos dos Kc foram 0,37-0,23; 0,60-0,27; 1,00-0,38 e 1,15-0,82 para as fases fenológicas I, II, III e IV, respectivamente. A estimativa do Kc em função do GD e do IC foram significativas para a cultura nos três períodos de cultivos. O modelo da área, $AF=10^{(0,92327 \cdot A_{elipse})}$, que utilizou a área da elipse ($C \cdot L (\pi/4)$), mostrou-se o mais adequado para a estimativa da área foliar do manjerição. As lâminas de irrigação e doses de potássio apresentaram incremento no rendimento de óleo essencial. Houve um maior acréscimo no rendimento de óleo essencial referente às lâminas de irrigação do que as doses de potássio.

Palavras-chave: Coeficiente da cultura; Rendimento de óleo essencial; Potássio; Manejo de irrigação, Erva aromática

ABSTRACT

Potassium fertilization and water depth on biomass production and essential oil of basil (*Ocimum basilicum* L.)

Basil is one of the most popular and useful herbs in cooking due to its delicate aroma and fragrance. The main forms of using basil are fresh, dried or essential oil, being this last one the form with higher value added. The assessment of water requirement associated with potassium fertilization is an important factor in the productivity parameters of biomass and essential oil of basil. This study aimed to evaluate the effect of irrigation depths and potassium rates on biomass and essential oil of basil variety "Lampião" in three periods. The experiment was conducted in an experimental randomized block design with split plots consisting of four depths of irrigation needed to raise the water from the soil to field capacity: L1 - 100% FC, L2 - 75% FC, L3 - 30% FC, L4 - without irrigation and four potassium rates; D1 - 0 K₂O kg ha⁻¹, D2 - K₂O 50 kg ha⁻¹, D3 - 100 kg ha⁻¹ K₂O and D4 - 200 kg ha⁻¹ K₂O. The experimental area consisted of 48 plots, each plot with 2.5 m in length and 2.0 m wide, totaling 5.0 m². The irrigation system used was dripping, adopting the irrigation management by estimating the soil moisture using data from capacitance probe, Diviner 2000 ® model. The water consumption of basil was quantified and the crop coefficient (K_c) was estimated relating it to the sum of degree days (DD) and the index of vegetation cover (IVC). Through three drainage lysimeters, being the crop evapotranspiration accounting (ET_c) in mm d⁻¹, held by the inputs and outputs of water, and the reference evapotranspiration (ET_o) in mm d⁻¹ estimated by Penman-Monteith method, recommended by the FAO-56. The variables analyzed were the variables of seedling production, growth, biomass production and essential oil yield. The crop water consumption was 70.91 mm, 103 mm and 187 mm, corresponding to an average value of 1.03; D 1.84 and 3.07 mm⁻¹ crops during periods of I, II and III, respectively. It was observed variations in the values of K_c due to climate conditions and phenological stages. The maximum and minimum values of K_c were 0.37 to 0.23; 0.60 to 0.27; 1.00 to 0.38 and 1.15 to 0.82 for the phenological stages I, II, III and IV, respectively. The estimate of K_c as a function of DD and IVC were highly significant for culture in the three periods of crops. The $AF=10^{(0,92327 Aelipse)}$, which was used the area of the ellipse as (CL ($\pi/4$)), proved the most suitable for the estimation of basil leaf area index. The irrigation and potassium levels showed an increase in oil yield. There was a greater increase in oil yield related to irrigation than the potassium

Keywords: Crop coefficient; Oil yield; Potassium; Irrigation management; Aromatic herb

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Localização e vista geral da área experimental.....	55
Figura 2 – Croqui da área experimental	56
Figura 3 – Esquema de plantio de cada parcela.....	56
Figura 4 – Atividades da instalação do experimento: (a) área após nivelamento e gradagem; (b) e (c) construções dos canteiros; (d) cobertura vegetal sendo cortada e picada; (e) e (f) cobertura vegetal sendo distribuídas nos canteiros	57
Figura 5 – Curvas características de retenção de água no solo em duas profundidades	59
Figura 6 – Esquema do lisímetro de drenagem	63
Figura 7 – Leitura da umidade volumétrica do solo por sonda de capacitância, modelo Diviner 2000® na cultura do <i>Ocimum basilicum</i> L. no NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico.....	65
Figura 8 – Regressão linear da umidade estimada pela sonda Diviner 2000® versus umidade volumétrica do solo, considerando os dados de 0,0 a 0,60 m. * ($p < 0,01$) = coeficiente significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; R^2 = coeficiente determinístico; r = coeficiente de Pearson; d = índice de concordância de Willmott; c = índice de desempenho de Camargo- Sentelhas (a); Análise de concordância de Bland-Altman (b)	66
Figura 9 – Plantas matrizes de <i>Ocimum basilicum</i> L. em casa de vegetação.....	67
Figura 10 – Automação do sistema de irrigação “acionador simplificado para irrigação” (registro de patente MU 8700270-1 U)	68
Figura 11 – Etapas do preparo de mudas por estaquia	69
Figura 12 – Ilustração das bandejas irrigadas por “floating” (a) e bandejas com mudas aos 2 dias após a estaquia (DAE) (b).....	70
Figura 13 – Variação da temperatura mínima e máxima (T_{min} e T_{max}) e a umidade relativa do ar (UR_{min} e UR_{max}) nos 15 dias após estaquia (DAE).....	70
Figura 14 – Transplântio das mudas de <i>Ocimum basilicum</i> L. para os canteiros	71
Figura 15 – Colheita do manjeriço, (a) pleno florescimento; (b), (c) e (d) etapas do corte e (e) após a colheita	72
Figura 16 – Sistema Clevenger para extração de óleo essencial	73

- Figura 17 – Aplicação do vácuo no extrator de cápsulas porosas, com a bomba de vácuo manual (a), aferição da tensão, utilizando um tensímetro (b) e disposição dos extratores de cápsulas porosas (c)..... 77
- Figura 18 – Temperaturas máximas, mínimas e basal do ar e soma térmica registradas (A); umidades relativa máxima, mínima e média (B); e radiação solar global (Rs) e evapotranspiração de referência (ETo) (C) no período experimental para 1º, 2º e 3º períodos de colheitas com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente, ao longo do ano de 2013. Linha contínua representa a média móvel de 2 dias para facilitar a visualização 83
- Figura 19a – Perfil de umidade de água no solo para os quatros tratamentos e precipitação pluvial no período experimental ao longo do ano de 2013. Linha contínua representa a média móvel de 2 dias para facilitar a visualização 85
- Figura 19b – Velocidade do vento no período experimental para 1º, 2º e 3º colheitas com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente ao longo do ano de 2013. Linha contínua representa a média móvel de 2 dias para facilitar a visualização 86
- Figura 20 – Índice de cobertura do solo do *Ocimum basilicum* L. nos 1º, 2º e 3º períodos experimentais com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente 87
- Figura 21 – Curvas de coeficientes da cultura do *Ocimum basilicum* L. nos períodos experimentais e nos diferentes subperíodos. Linhas tracejadas representam a regressão simples por subperíodo. Linhas contínuas representam regressão quadrática por período 90
- Figura 22 – Coeficiente da cultura (Kc) em razão do Índice de cobertura (IC) do *Ocimum basilicum* L. no período experimental para 1º, 2º e 3º períodos de colheitas com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente..... 91
- Figura 23 – Índice de cobertura (A) e coeficiente da cultura (B) em razão do somatório de graus-dia referentes ao crescimento da cultura do *Ocimum basilicum*..... 93
- Figura 24 – Condutividade elétrica da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em dois períodos de cultivo do *Ocimum basilicum* L. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908) 95
- Figura 25 – Potássio da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em dois períodos de cultivo do *Ocimum basilicum* L. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)..... 97

Figura 26 – Nitrato da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em dois períodos de cultivo do <i>Ocimum basilicum</i> L. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)	98
Figura 27 – Biplot AMMI1 para dados de variáveis diâmetro do caule (DIAM), razão diâmetro-altura (RAD), comprimento do sistema radicular (CRAIZ), com três substratos (Sub) e cinco níveis de concentrações de ácido indolbutírico (AIB) no <i>Ocimum basilicum</i> L.	102
Figura 28 – Biplot AMMI1 para dados de matéria seca da raiz (MSRAIZ), matéria seca da parte aérea (MSPA), razão de massa seca da parte aérea pela raiz (RMS) e índice de qualidade de Dickson (IQD) com três substratos (Sub) e cinco níveis de concentrações de ácido indolbutírico (AIB) no <i>Ocimum basilicum</i> L.	105
Figura 29 – Altura média da planta de manjeriço (cm) em função das lâminas de irrigação (A) e das doses de potássio (B) nos três períodos de cultivo	106
Figura 30 – Altura média de plantas de manjeriço em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)	108
Figura 31 – Altura média de plantas de manjeriço em função doses de potássio em diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)	109
Figura 32 – Diâmetro do caule de manjeriço (cm) em função das lâminas de irrigação (A) e das doses de potássio (B) nos três períodos de cultivo	110
Figura 33 – Diâmetro médio de plantas de manjeriço em função de lâminas de diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)	112
Figura 34 – Diâmetro médio de plantas de manjeriço em função doses de potássio em diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)	112
Figura 35 – Representação do modelo de regressão linear da área foliar estimada pela área do retângulo ($A_{\text{retângulo}}$) (A) e da área da elipse (A_{elipse}) (B). Dispersão padrão dos resíduos em relação aos modelos $A_{\text{retângulo}}$ (A_1) e A_{elipse} (B_1) apresentando uma distribuição com heterocedasticidade	117

Figura 36 – Representação do modelo de regressão linear da área foliar estimada pela área do retângulo ($A_{\text{retângulo}}$) (A) e da área da elipse (A_{elipse}) (B) após a retirada de outliers e transformação logarítmica. Dispersão padrão dos resíduos em relação aos modelos $A_{\text{retângulo}}$ (A_1) e A_{elipse} (B_1) apresentando uma distribuição homocedástica.....	118
Figura 37 – Análise de concordância de Bland-Altman entre a área foliar real e a área foliar estimada pelo modelo $A_{\text{retângulo}}$ (A) e A_{elipse} (B) com transformação logarítmica; comparação entre valores reais e valores estimados pelos modelos de regressão linear da $A_{\text{retângulo}}$ (C) e da A_{elipse} . LSC – Limite superior de confiabilidade; LIC – Limite inferior de confiabilidade	119
Figura 38 – Massa seca (folhas + inflorescência) de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908).....	122
Figura 39 – Massa seca (folhas + inflorescência) de manjerição em função das lâminas de irrigação no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908).....	123
Figura 40 – Produtividade de massa seca total (kg ha^{-1}) do manjerição em função das lâminas de irrigação e doses de potássio	125
Figura 41 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)....	127
Figura 42 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908).....	128
Figura 43 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das doses de potássio em diferentes períodos. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)....	128
Figura 44 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das doses de potássio no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)	129
Figura 45 – Rendimento de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)	133
Figura 46 – Rendimento de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)	133

Figura 47 – Rendimento de óleo essencial de manjeriço em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)	134
Figura 48 – Rendimento de óleo essencial de manjeriço em função das doses de potássio no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P<0,05$) pelo teste t de Student (1908)	134
Figura 49 – Rendimento de óleo essencial (kg ha^{-1}) do manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio	137
Figura 50 – Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio foliar do <i>Ocimum basilicum</i> nos períodos de colheita, em função das doses de potássio	140
Figura 51 – Concentração de magnésio e enxofre foliar do <i>Ocimum basilicum</i> nos períodos de colheita, em função das doses de potássio	141
Figura 52 – Relações de Ca:P, Ca:Mg e K:(Mg+Ca) nas folhas de <i>Ocimum basilicum</i> no três períodos de colheita.....	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas do solo da área experimental.....	58
Tabela 2 – Caracterização físico-hídrica: umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), capacidade total de água disponível (CAD), densidade do solo (D_s), densidade das partículas do solo (D_p) e porosidade total do solo (P_{total}).....	60
Tabela 3 – Análise químicas do solo da área experimental.....	60
Tabela 4 – Dose equivalente de nutrientes aplicados em kg ha ⁻¹	61
Tabela 5 – Resultados da análise físico-química da água utilizada para irrigação.....	61
Tabela 6 – Uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação	64
Tabela 7 – Parâmetros utilizados no manejo da irrigação considerando a profundidade de 0,40 m.....	65
Tabela 8 – Esquema da análise de variância	82
Tabela 9 – Duração, início e término dos períodos de cortes do experimento.....	86
Tabela 10 – Características fenológicas nos períodos de desenvolvimento do <i>Ocimum basilicum</i> L.....	88
Tabela 11 – Resumo da análise de variância de regressão referente à condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) da solução do solo de duas profundidades em dois períodos de cultivos em função de doses de potássio.....	93
Tabela 12 – Resumo da análise de variância de regressão referente ao potássio (mg L ⁻¹) da solução do solo de duas profundidades em dois períodos de cultivos em função de doses de potássio	95
Tabela 13 – Resumo da análise de variância de regressão referente ao nitrato (mg L ⁻¹) da solução do solo de duas profundidades em dois períodos de cultivos em função de doses de potássio	97
Tabela 14 – Densidade das partículas (ρ_p), densidade global (ρ_g), porosidade (p) retenção hídrica (RH) e espaço de aeração dos tubetes (EA) dos substratos	99
Tabela 15 – Análise variância individual e conjunta de Gollob (1968), incluindo o desdobramento da interação, entre os três substratos nas cinco concentrações de AIB para as estacas de <i>Ocimum basilicum</i> L.	100

Tabela 16 – Análise variância individual e conjunta de Gollob (1968), incluindo o desdobramento da interação, entre os três substratos nas cinco concentrações de AIB para as estacas de <i>Ocimum basilicum</i> L.....	103
Tabela 17 – Resumo da análise de variância de regressão referente à altura da planta (cm) do manjeriço em 4 leituras no 1º, 2º e 3º período de cultivo e em função de lâminas de irrigação e doses de potássio	107
Tabela 18 – Resumo da análise de variância de regressão referente ao diâmetro de caule (mm) do manjeriço em quatro leituras no 1º período de cultivo e em função de lâminas de irrigação e doses de potássio	111
Tabela 19 – Estatísticas descritivas e teste de média do número total de folhas (NF), índice de área foliar (IAF), comprimento (C) e largura (L), área do retângulo ($A_{\text{retângulo}}$), área da elipse (A_{elipse}) e da área foliar real pelo obtida pelo software ImageJ (Yi)	113
Tabela 20 – Distribuição de frequência da área foliar de <i>Ocimum basilicum</i> L., em relação às classes de tamanho nos tratamentos irrigado e sequeiro	114
Tabela 21 – Equações para a estimativa da área foliar, coeficiente de determinação ajustado (Ra^2) e correlação linear de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho de Camargo- Sentelhas (c), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e a soma do quadrado dos resíduos (SQR).....	115
Tabela 22 – Resumo da análise de variância referente à massa seca (folhas + inflorescência) do manjeriço nos três períodos de cultivo e em função de lâminas de irrigação e doses de potássio.....	121
Tabela 23 – Massa seca (folhas + inflorescência) em gramas por planta, de manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio no 1º e 2º períodos de cultivo	123
Tabela 24 – Estimativas dos coeficientes do modelo final para variável resposta produtividade de massa seca total (kg ha^{-1}) do manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio.....	124
Tabela 25 – Resumo da análise de variância referente ao teor de óleo essencial (%) por planta nos três períodos de cultivo e em função de lâminas de irrigação e doses de potássio	126
Tabela 26 – Teor de óleo essencial (%) por planta, de manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio no três períodos de cultivo	130

Tabela 27 – Resumo da análise de variância referente ao rendimento de óleo essencial (kg ha ⁻¹) de manjeriço em função de lâminas de irrigação e doses de potássio	132
Tabela 28 – Rendimento de óleo essencial (kg ha ⁻¹) de manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio	135
Tabela 29 – Estimativas dos coeficientes do modelo final para o rendimento de óleo essencial (kg ha ⁻¹) de manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio	136
Tabela 30 – Resumo da análise de variância referente aos macronutrientes da folha do <i>Ocimum basilicum</i> em quatro doses de potássio e três períodos de colheita...	138

1 INTRODUÇÃO

O manjerição é uma das ervas mais populares e úteis na culinária, devido ao seu aroma e fragrância. As principais formas de utilização são o manjerição fresco, seco ou seu óleo essencial, sendo esta última forma a que apresenta maior valor agregado. O óleo essencial é rico em linalol, componente utilizado em várias sínteses, como acetato de linalila, no qual é utilizado em grande quantidade como fixador de fragrâncias, como nos perfumes finos de alto valor agregado.

No Brasil, grande parte da produção de plantas medicinais e aromáticas não é tecnificada e sim obtida por extrativismo. Dessa forma, o manejo da cultura é conduzido de forma pouco padronizada, o que pode afetar a produção de biomassa, qualidade e quantidade do óleo essencial. São poucas as informações disponíveis que evidenciem as características das plantas medicinais quando submetidas às técnicas de produção agrícola.

A planta de manjerição tem sido estudada em vários trabalhos de pesquisa para determinar o rendimento, componentes de produção, o teor e a composição do óleo essencial em diferentes condições ambientais, mas apenas uma quantidade limitada de investigação centrou-se sobre os efeitos da irrigação associada à adubação potássica.

Há relatos de que tanto o déficit quanto o excesso de água é um fator determinante para o cultivo e produção de determinadas espécies de plantas. Porém, nas espécies medicinais, o déficit pode afetar além do desenvolvimento, o teor e rendimento do óleo essencial. O déficit hídrico moderado, por vezes, tem sido benéfico para o acúmulo de princípios ativos em plantas medicinais e aromáticas, mas por sua vez com certa redução da produção biomassa. Porém plantas irrigadas podem compensar o baixo teor de princípios ativos com maior produção de biomassa, o que resulta em maior rendimento final destes compostos por área cultivada.

O potássio exerce nas plantas uma série de funções relacionadas com o armazenamento de energia. Entre as várias funções, citam-se o melhoramento da eficiência do uso da água, devido ao controle da abertura e fechamento dos estômatos. Em plantas medicinais é relatada que variação deste nutriente pode afetar todo o metabolismo da planta, inclusive a produção de óleos essenciais.

Sob a hipótese de que diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio afetam os componentes da produção do manjerição, desenvolveu-se o presente estudo com o objetivo principal de avaliar lâminas de irrigação associadas a doses de potássio e seus efeitos sobre o

desenvolvimento, produção de biomassa e óleo essencial de manjeriço, bem como determinar a dose de potássio associado à disponibilidade hídrica que proporcione máximo rendimento de óleo essencial. Os objetivos secundários foram a estimativa do coeficiente da cultura (K_c) e o fator de forma da área foliar, avaliar o efeito de diferentes concentrações de AIB no enraizamento de estacas de *Ocimum basilicum* L. em diferentes substratos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Ocimum basilicum* L.

O gênero *Ocimum* compreende mais de 150 espécies e é considerado como um dos maiores gêneros da família Lamiaceae (PUSHPANGADAN; BRADU, 1995). A família Lamiaceae é rica em flavonóides de diferentes estruturas e tem frequentemente mostrado utilidade para propósitos de taxonomia química (VIEIRA, 2000).

Estudos mostram que há um grande número de espécies e variedades deste gênero. Alguns exemplos de espécies importantes do gênero *Ocimum* são: *Ocimum tenuiflorum* L. (Syn. *Ocimum sanctum* L.), *Ocimum gratissimum* L., *Ocimum americanum* L. (Syn. *Ocimum canum* Sims), *Ocimum basilicum* L., *Ocimum kilimandscharicum* Gurke e *Ocimum micranthum* Willd, que são conhecidos por terem várias propriedades medicinais (VINA; MURILLO, 2003; LABRA et al., 2004; PRAKASH; GUPTA, 2005; PADALIA; VERMA, 2011). Entre as várias espécies do gênero o manjerição (*Ocimum basilicum*) é considerado o mais importante devido ao seu óleo aromático.

O manjerição é uma planta herbácea, podendo ser arbustiva com altura entre 0,30 a 1,00 m, caule lenhoso ou sublenhoso, de aparência tenra e ramificada. Possui folhas ovaladas ou elípticas simples, membranáceas, com margens onduladas e nervuras salientes, de 4-7 cm de comprimento, com coloração verde a verde clara. Pode apresentar grande variação na forma das folhas e tamanho das plantas. As flores possuem cor branca, rosa ou lilás, reunidas em racemos terminais curtos e são sésseis, com apenas 1,0 cm de comprimento em média, apresentando de 6 a 100 flores na inflorescência, com pólen alaranjado. O fruto é um tetraquênio, com sementes oblongas, pretas azuladas e pequenas. Uma grama possui 800 sementes aproximadamente. A raiz primária caracteriza-se por ser relativamente delgada, hialina, vilosa com pelos grandes, hialinos e finos. Multiplica-se por sementes e estacas (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 1998; LORENZI; MATOS, 2008; ALMEIDA, 2006; MINAMI et al., 2007).

2.1.1 Ecofisiologia da cultura

Natural das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África Central, e América Central e do Sul, o *Ocimum basilicum* é considerado uma planta perene nas regiões quentes e nos países e regiões mais frios é denominado anual (LABRA et al., 2004; MINAMI et al., 2007). Há relatos que pode tolerar condições ambientais diversas; cresce em temperaturas anuais

médias de 6 a 24 °C e precipitação pluvial anual de 500 a 800 mm (DUKE; HURST, 1975), sensível ao excesso de água no solo e pode ser cultivado em quase todas regiões do mundo.

Apesar de o manjerição ser cultivado em diferentes condições climáticas, existem ambientes mais favoráveis, normalmente encontrados em regiões de clima quente. A temperatura ótima de crescimento situa-se entre os 15 e 25 °C e não tolerando baixas temperaturas nem geadas (SOBTI; PUSHANGADAN, 1982; ALMEIDA, 2006). De acordo com Matera e Matera (1990), a temperatura ambiente ideal na fase de crescimento é de 20 a 25 °C; e para May et al. (2008a) no desenvolvimento pleno do manjerição a faixa ideal está entre 20 e 27 °C. Hay e Waterman (1993) citam que a germinação de sementes é mais rápida e uniforme em temperatura entre 24 e 30 °C, concluindo também que na fase de germinação as temperaturas reduzidas são mais prejudiciais do que as elevadas.

O manjerição é uma cultura de regiões quentes que requer altas temperaturas para o pleno desenvolvimento. As temperaturas médias do ar regulam processos microbianos e químicos do solo e afetam a disponibilidade de nutrientes. As plantas de clima quente murcham rapidamente em temperatura abaixo de 12° C (seca fisiológica) e elas podem morrer devido à oferta insuficiente de água e nutrientes (MAJKOWSKA-GADOMSKA et al., 2014).

Chang et al. (2005) determinaram que a temperatura basal para o crescimento do manjerição foi de 10,9 °C e a temperatura ótima para o crescimento foi de 25 °C. Nesta mesma temperatura o teor de óleo foi três vezes mais elevado do que em plantas cultivadas à temperatura de 15°C. Verificou-se que houve incremento significativo a porcentagem de eugenol a 25 °C. Apesar de não haver nenhum efeito sobre as percentagens de linalol e 1,8-cineol, os rendimentos destes dois compostos foram significativamente ampliados a 25°C. Os componentes majoritários do óleo essencial são o linalol, o eugenol, o 1,8-cineol e dentre outros, que serão abordados no item 2.2. Putievsky (1983) afirmou que, com o aumento da temperatura diurna entre 21 e 30°C se obteve o melhor resultado de massa seca e altura da planta. Entretanto, o aumento elevado da temperatura do ar durante o dia pode volatilizar o óleo essencial do manjerição (ONO et al., 2011).

Segundo Valmorbidia et al. (2006) e Minami et al. (2007) a umidade relativa baixa, ventos fortes e frios durante o dia e a noite exercem influência direta em espécies que apresentam estruturas histológicas de estocagem de óleo na superfície como o manjerição. Não foram encontrados na literatura valores da velocidade do vento que poderia prejudicar a produção de óleo essencial.

A respeito do fotoperíodo, o manjeriço é uma planta, de dia longo. Em experiência em ambiente controlado a planta de *Ocimum basilicum* var, citriodora, teve seu peso médio entre 90 a 98 g vaso⁻¹ com 15 a 21 horas de luz. O florescimento foi rápido quando as plantas estavam expostas a 18 horas de luz e o maior rendimento (102 g vaso⁻¹) foi obtido com 24 horas de luz (SKRUBIS; MARKAKIS 1976). Lima et al. (2007) avaliaram a influência de diferentes temperaturas e luminosidades sobre a germinação de sementes de *Ocimum basilicum*, concluindo que esta é dependente da luz para germinar, e portanto, considerada fotoblástica positiva.

A luz é o principal fator que controla o crescimento e desenvolvimento das plantas, as quais são afetadas de forma complexa pela irradiância em todas as etapas do crescimento. Assim, pesquisa realizada por Chang (2004) com manjeriço cultivado em diferentes níveis de irradiância, descreve que o sombreamento de 75% (5,3 moles m⁻² d⁻¹) implicou em menores valores de altura, peso, área foliar e também intensa redução da fotossíntese. Em pleno sol (24,9 moles m⁻² d⁻¹) aumentam-se os teores relativos de linalol e eugenol, enquanto metil-eugenol aumentou sob baixa irradiância.

Em síntese, o manjeriço prefere clima quente ou ameno e ainda úmido; não tolera temperaturas frias e muito menos geadas; quanto mais baixa a temperatura durante o seu ciclo, menor o desenvolvimento da planta e o tempo nebuloso ou chuvoso pouco antes do corte, diminui o teor de óleo essencial (BARREIRO et al., 2006).

O manjeriço pode ser cultivado no campo em diferentes classes de solo, com pH variando de 4,3 a 8,2; preferencialmente o cultivo é realizado em solos argilosos, moderadamente férteis ou ricos em húmus e bem drenados, ou em solos de textura média (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999). Pravuschi et al. (2010) estudaram o manjeriço cultivado em solo de textura arenosa (79,59 % de areia), com pouca capacidade de armazenamento de água e obtiveram produção economicamente viável com o uso da irrigação. O melhor solo é aquele que está em boa condição física e tem boa capacidade de retenção de água. Solos alagados sempre devem ser evitados. Na recuperação dos solos para produção de plantas medicinais é recomendada a aplicação de esterco bovino (CARVALHO, 2012).

2.1.2 Cultivares

Muitos cultivares de manjeriço são oferecidos por empresas de sementes, mas as populações resultantes de sementes não são necessariamente geneticamente uniformes. Segundo Simon et al. (1990), existe uma dificuldade em se classificar as várias espécies de *Ocimum basilicum*, provavelmente devido a ocorrência de polinização cruzada que facilita hibridações e resulta em grande número de subespécies, variedades e formas, diferindo na composição de óleo essencial e características morfológicas.

Blank et al. (2004) constataram a variabilidade genética do manjeriço ao realizar a caracterização morfológica e agrônômica de 55 acessos. Os autores observaram variações genotípicas, em relação ao teor e rendimento do óleo essencial, e notaram genótipos promissores para o desenvolvimento de cultivares com alto teor e rendimento de óleo essencial. Os autores classificaram o manjeriço em doce, limão, cinamato ou canela, cânfora, anis e cravo, de acordo com o aroma. Com base no conteúdo dos óleos essenciais, pode-se caracterizar o manjeriço nos seguintes tipos: Europeu, Francês ou Doce; Egípcio, Comoro ou Reunião, Bulgário, Java ou Cinamato de Metila e Eugenol. O óleo de manjeriço tipo Europeu é o que possui a mais alta qualidade, produzindo o melhor aroma, e caracteristicamente contém linalol, metil chavicol e eugenol (SIMON et al., 1990).

As cultivares de manjeriço que são comercializadas por sementes, muitas vezes são nomeadas de acordo com as suas características morfológicas ou aroma. Existem muitos tipos de manjeriço preservados localmente pelos agricultores, principalmente nos países em desenvolvimento (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999).

Na publicação de trabalhos científicos, a diversidade de cultivares causa problemas, pois muitos autores apenas se referem à espécie sem informar a cultivar ou fazer alguma indicação morfológica da planta. Essa dificuldade é histórica, sendo que Paton e Putievsky (1996) recomendam que as espécies de *Ocimum* tenham indicações que possam ser identificadas e comparadas com informações da literatura.

2.1.3 Técnicas de cultivos

No Brasil, grande parte da produção de plantas medicinais não é tecnificada e sim obtida por extrativismo, por pequenos produtores rurais, principalmente da região nordeste (CHAVES, 2001; BLANK et al., 2004). Dessa forma, o manejo da cultura é conduzido de forma pouco padronizada, o que pode afetar a produção de biomassa, qualidade e quantidade do óleo essencial (FURLAN, 2000).

O manjeriço pode ser cultivado em ambientes protegidos nos canteiros, vasos e sistemas hidropônicos, aquaponia e consorciado com outras culturas conforme o objetivo da comercialização. Fernandes et al. (2004) estudaram o manjeriço em ambiente protegido, utilizando os sistemas de cultivo hidropônico (floating), substrato preparado e substrato comercial e verificaram que o sistema hidropônico apresenta produtividade de massa verde aproximadamente 44% superior aos demais sistemas. A composição da solução nutritiva adequada para o manjeriço foi estudado por Furlani (1998).

Sendo assim, o cultivo em estufa pode ser benéfico às plantas de manjeriço, se ajustado às condições ótimas de desenvolvimento das plantas, sem temperaturas muito altas prejudiciais a cultura (MINAMI et al., 2007). Resende (2010) estudou o cultivo de manjeriço em campo e sob ambiente protegido. O autor verificou que o cultivo em ambiente protegido apresentou melhores resultados para as variáveis de produtividade, exceto no rendimento de óleo essencial, a composição química do óleo essencial não diferiu entre os ambientes de cultivo.

A formação de mudas de *Ocimum basilicum* segue a mesma metodologia das hortaliças, com substratos comerciais, bandejas de plástico ou isopor, irrigação por microaspersão ou “floating” e em estufa protegida nas laterais contra ventos e insetos e sob cobertura com plástico agrícola.

O manjeriço geralmente é propagado por sementes, mas pode ser utilizado para a seleção e preservação de uma espécie ou cultivar, sendo que, a propagação se dá por estaquia, termo utilizado para designar o método de propagação no qual um segmento da planta matriz é retirado, colocado em condições ambientais favoráveis e induzido a formar raízes e brotos, obtendo-se uma nova planta (FACHINELLO et al., 2005). Segundo Hartmann et al. (2002), a estaquia é uma forma de propagação vegetativa assexuada ou agâmica das plantas, através de seus órgãos vegetativos. Além disso, apresenta várias vantagens, permitindo a clonagem de plantas superiores em produtividade, uniformidade e qualidade de folhas. O sucesso da propagação vegetativa irá depender do tipo de estaca e dos substratos utilizados (MATTANA et al., 2009). Para a prática da estaquia do *Ocimum*, as estacas de manjeriço devem ser retiradas de plantas adultas que não estejam florescendo e devem medir de 5 a 10 cm. O substrato utilizado deverá apresentar boa retenção de umidade e espaço poroso suficiente para facilitar o enraizamento, evitar o desenvolvimento de doenças e permitir a difusão de oxigênio à base da estaca (VALLONE et al., 2010).

O plantio mais utilizado é em canteiros com 2 ou 3 fileiras de plantas, com espaçamentos em função do tipo de copa, mas não existe regra estabelecida, sendo que, na literatura encontra-se desde 0,30 x 0,30 cm até 0,50 x 0,50 cm. O plantio pode ser realizado sob cobertura ou sob o sol pleno (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999; MINAMI et al., 2007; JANNUZZI, 2013).

O ponto de colheita varia em função da cultivar e ocorre antes da floração, sendo normalmente de 45 a 90 dias após o plantio no campo, com colheita total da planta. (RIBEIRO; DINIZ, 2008), ou cortes parciais de 0,10 a 0,40 m do solo. Expostos os ramos inferiores à insolação, com a brotação, novos cortes podem ser realizados a partir de 50 a 60 dias, mesmo em floração (MAY et al., 2008b). Quando a destinação da planta é a extração de óleo essencial, o ponto de colheita é o início da floração (FURLAN, 1998; PEREIRA; MOREIRA, 2009).

Oliveira et al. (1996) e Zheljazkov (1998) recomendam que para a extração do óleo essencial a colheita deve ser feita no início da floração, quando a produção de óleo essencial é máxima; entretanto. Entretanto, Simon et al. (1990), Pillai e Chinnamma (1996) afirmam que o maior acúmulo de óleo essencial na espécie *Ocimum basilicum* ocorre na fase de pleno florescimento.

Há uma distribuição do componente do óleo essencial nos órgãos das plantas nas diferentes fases fenológicas da cultura do manjeriço. Lemberkovics et al. (1993) verificaram que no início da fase do florescimento os componentes majoritários do óleo essencial estavam presentes nas folhas, mas no início da fase de pleno florescimento até a fase de maturação dos frutos, os componentes majoritários se concentraram principalmente nas flores.

A colheita da safra geralmente é feita no estágio de pleno florescimento e ao nível do solo (SINGH et al., 2004). Entretanto esse sistema de produção permite apenas uma colheita a cada temporada.

Segundo Singh et al. (2010) ao estudarem as épocas de colheita de 40, 60, 80 e 100 dias após o transplante (DAT) e três alturas de corte (0, 7,5 e 15,0 cm acima do nível do solo), concluíram que a safra colhida nos 40 DAT, a uma altura 15 cm, produziu 20% a mais do óleo essencial (162,5 kg ha⁻¹) em comparação com 132,0 kg ha⁻¹ de óleos obtidos a partir da prática tradicional de colheita, aos 80 DAT ao nível do solo e sem qualquer efeito adverso sobre a qualidade do óleo essencial.

May et al. (2008b) ao estudaram o crescimento do manjeriço, analisaram o seu desenvolvimento e produção sem identificar a variedade, característica morfológica ou bioquímica da planta, no período de 13 meses após o plantio, com 12 colheitas em corte

mensais de parcelas não acumulativas. Os resultados determinaram os valores máximos e a data após o plantio (DAP) da ocorrência, como apresentados a seguir: altura da planta de 93,40 cm aos 213 DAP; massa de folhas frescas 54,6 g planta⁻¹ aos 195 DAP; massa fresca de ramos 64,4 g planta⁻¹ aos 272 DAP; rendimento de óleo essencial 167,9 kg ha⁻¹ aos 198 DAP. O rendimento de óleo essencial não foi afetado pelo número de cortes.

Segundo Corrêa Júnior et al. (1994), após o quinto corte, há uma diminuição gradual de brotos, uma redução da velocidade de crescimento e aumento de senescência nas plantas. Assim, em cultivos comerciais, quando o objetivo é atingir uma produção máxima de óleo por área, a renovação da cultura é necessária.

No caso de comercialização de manjeriço fresco, a colheita deve ser realizada no fim da tarde, mantida sob a temperatura de 15 °C, que protege a planta da perda de água. A qualidade do produto é menor quando a temperatura de armazenamento é inferior a 7,5 °C e superior a 25 °C (CORRÊA et al., 2004).

No cultivo do manjeriço a produção total da planta, de folhas verdes e galhos, pode ser de 1,5 kg planta⁻¹ (VON HERTWING, 1991), também variável em função da cultivar. Em experimentos no Distrito Federal com manjeriço folha fina, os valores máximos foram de 1,2 kg planta⁻¹ (JANNUZZI, 2013).

Em relação ao horário de colheita das plantas utilizadas na extração de óleo essencial, Carvalho Filho et al (2006) verificou que o maior teor do óleo essencial do manjeriço obtido foi colhendo às 8:00h da manhã em relação às 15:00h. Segundo May et al. (2008a), o óleo essencial de manjeriço concentra-se principalmente nas folhas e inflorescência; a quantidade de óleo no caule é quase insignificante.

Sobre o processo de secagem do manjeriço, duas variáveis importantes são a temperatura e a velocidade do ar a que a planta será submetida. Soares et al. (2007), recomendaram temperatura e velocidade do ar de 54,4°C e 1,9 m s⁻¹, respectivamente, visando obter maior teor de óleo essencial e maior concentração de linalol. Entretanto Pravuschi et al. (2010) e Ming et al. (2002) utilizaram temperatura de secagem de 40°C. Blank et al. (2003) avaliaram o efeito da temperatura de secagem em manjeriço 'Fino Verde' e observaram que a melhor temperatura de secagem é de 40°C. No processamento das folhas, Rosado et al. (2011) concluíram que as folhas que permanecem inteiras apresentam teores de óleo essencial superiores em relação às que foram trituradas e pulverizadas.

Carvalho Filho et al. (2006) explica que a secagem das plantas de manjeriço há um aumento do teor de linalol no óleo essencial. A secagem aumenta o teor de linalol devido à evaporação dos mais voláteis (LUZ et al., 2009).

2.2 Óleos essenciais

Os óleos essenciais, também conhecidos como óleos voláteis ou etéreos, são definidos pela “Internacional Standard Organization” (ISO) como matéria-prima de origem vegetal obtidos por processos físicos específicos para sua extração (destilação por arraste com vapor d’água, destilação sob pressão reduzida ou outro método adequado), dão origem a um extrato líquido à temperatura ambiente, apresentando viscosidade média a elevada (aspecto oleoso), de comportamento hidrofóbico, que exalam a fragrância (ou essência), sendo misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas, constituídos na maioria das vezes, por moléculas de natureza terpênica (SIMÕES; SPITZER, 2000; BRASIL, 2006; MORAIS, 2009; SANTOS et al., 2011).

Os óleos essenciais são produzidos, armazenados e liberados por estruturas especializadas tais como tricomas glandulares, idioblastos, canais oleíferos ou em bolsas lisígenas ou esquizolisígenas (SIMÕES; SPITZER, 2000).

Uma observação importante é que os óleos essenciais podem estar presentes em certos órgãos das plantas, como nas flores, folhas, cascas, tronco, galhos, raízes, rizomas, frutos ou sementes, apesar de apresentarem cor e aspecto semelhantes, sua composição química, características físico-químicas e odores podem diferir (ROBBERS et al., 1996; SIMÕES; SPITZER, 2000; SILVA, 2011). Ocorre normalmente nos tricomas glandulares que estão distribuídos em quantidades diferentes por toda a planta, mas que na maioria das plantas ocorrem principalmente nas folhas e cálices (SILVA; CASALI, 2000).

Nas plantas podem ser encontradas substâncias provenientes do metabolismo primário e do metabolismo secundário. O metabolismo secundário ocorre por rotas específicas de cada organismo, estando extremamente ligado com o metabolismo primário, que fornece as moléculas precursoras. Os metabólitos secundários podem ser derivados de quatro rotas precursoras, sendo elas a do ácido cinâmico (precursor de compostos aromáticos, como a fenilalanina, tirosina, o triptofano, e os fenilpropanóides); a do mevalonato (isoprenos ou terpenos); a do acetato (ácidos graxos e alguns compostos fenólicos) e a dos aminoácidos (biossíntese de compostos nitrogenados, como alcalóides, glucosinalados, glicosídeos). Existem ainda os compostos de origem mista, ou seja, provenientes de mais de uma rota (CASTRO et al., 2004).

Ainda, na maior parte dos óleos essenciais, um constituinte químico irá se destacar na composição dos óleos essenciais (componente majoritário), podendo atingir valores superiores a 70%. Por outro lado, os componentes presentes em concentrações mais reduzidas (partes por mil, por exemplo) são denominados de componentes traços ou minoritários (SANTOS et al., 2011).

Os constituintes dos óleos essenciais variam desde hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples e aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, ácidos orgânicos, lactonas e cumarinas sendo então classificados como fitogênicos (SIMÕES; SPITZER, 2000).

Diversas funções biológicas da planta são atribuídas aos óleos voláteis, tais como a atração de polinizadores, a defesa contra o ataque de predadores, a proteção contra perda de água e aumento de temperatura e a inibição de germinação. Os óleos essenciais são também considerados como desperdício fisiológico ou produtos de desintoxicação, desempenhando a adaptação do organismo ao meio (FABROWSKI, 2002).

A escolha do método de extração do óleo essencial será de acordo com as características da planta, dos óleos essenciais e das estruturas onde se encontram armazenados na planta. O método de extração do óleo essencial poderá ser por hidrodestilação, destilação por arraste a vapor e extração por solventes, CO₂ supercrítico, maceração, enfloração, prensagem ou micro-ondas (GUENTHER, 1972; ROBBERS et al., 1996; CARVALHO FILHO et al., 2006). Dentre esses, o de maior aplicação é o de hidrodestilação, sendo um método antigo, versátil e o mais usado comercialmente no Brasil. Neste método, o aparelho tipo Clevenger é o principal utilizado em laboratórios, devido à facilidade de operação e o baixo custo, podendo operar em circuito aberto ou fechado. Ainda neste método, o material vegetal é imerso em água sob aquecimento até a ebulição, sendo que o vapor faz com que as paredes celulares se abram e o óleo que está entre as células evapore junto com a água, passando ao condensador, onde é resfriado e separado por diferença de densidade (PRINS et al., 2006; OLIVEIRA; RAMIREZ, 2006).

2.2.1 Óleos essenciais do *Ocimum basilicum* L

Os óleos essenciais de manjerição são obtidos por destilação a vapor, hidrodestilação das folhas ou inflorescência das plantas de manjerição. O rendimento de óleo varia geralmente entre 0,2-1,0%, mas pode ser elevado a 1,7%, dependendo da cultivar e do estágio de desenvolvimento das plantas. Segundo Mazutti et al. (2006), o teor de óleo essencial encontra-se na faixa de 1,5 a 3 % (p/p). Zheljzakov et al. (2008), analisando a composição

química de óleo essencial de 38 genótipos de manjerição no estado de Mississippi (EUA), obteve o rendimento variado de 0,07 a 1,92%. O tempo de destilação recomendado por Fernandes et al. (2004) para o manjerição é de uma hora e trinta minutos.

No manjerição, o óleo essencial é produzido e armazenado em estruturas conhecidas como tricomas glandulares peltados, que estão distribuídas preferencialmente na face abaxial das folhas, podendo ocorrer também na face adaxial com menor densidade (SANGWAN et al., 2001), sendo encontradas em diferentes formas e tamanhos (THANOMCHAT; PAOPUN, 2013). Maiores rendimentos do óleo essencial podem ser devidos ao maior número de tricomas glandulares nas folhas.

Em estudo de óleos essenciais de diferentes origens geográficas, Lawrence (1988) descobriu que os principais constituintes de óleos essenciais de manjerição são produzidos por duas vias metabólicas diferentes, a saber: ácido chiquimico (fenilpropanóides) e via ácido mevalônico (terpenos). Na primeira, os maiores constituintes da espécie são metil chavicol, eugenol, metil eugenol e cinamato de metila, enquanto que na segunda os componentes majoritários são linalol e geraniol (MAZUTTI et al., 2006).

Os componentes majoritários do óleo essencial são linalol, estragol, cinamato de metilo, eugenol e 1,8-cineol (LEE et al., 2005). Outros componentes minoritários são chavicol metil chavicol (estragol), metil eugenol, cânfora e metil cinamato (SAJJADI, 2006).

Estudos sobre seleção de 55 genótipos *Ocimum* sp. ricos em linalol, revelou 6 plantas com rendimento superior de óleo contendo linalol: NSL 6421 (81,40% linalol), PI 358464 (79,38% linalol), PI531396 (78,30% linalol), PI414194 (71,62% linalol), PI197442 (61,57% linalol) e 'Fino Verde' (77,04% linalol) (BLANK et al., 2004). Num estudo sobre 270 acessos de manjerição, o principal constituinte encontrado foi o linalol, com até 71% (KRUGER et al., 2002). Segundo Ereno (2006), o óleo essencial de manjerição contém cerca de 40,2% a 48,5% de linalol.

2.2.2 Formas de utilização do *Ocimum basilicum* L.

O manjerição é uma das ervas mais populares e úteis na culinária, devido ao seu aroma delicado e fragrância. Os métodos de cultivo e sistemas de produção variam de acordo com a parte de manjerição usado (folha fresca ou seca, óleo essencial ou semente), no processamento para fins industriais e as condições climáticas onde é cultivado. As principais formas de utilização são o manjerição fresco, congelado, seco ou óleo essencial (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999), sendo esta última forma a que apresenta maior valor agregado (PEREIRA; MOREIRA, 2009).

O óleo essencial é empregado para a produção de xampus, sabonetes e perfumes, apresentando também propriedades inseticidas e repelentes (MAROTTI et al., 1996; UMERIE et al., 1998). Rigueiro (1992) estudou a função do óleo como repelente de *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti*, Mosca doméstica, *Culex pipiens fatigans*, *Culex quinquefasciatus* (mosquitos, moscas e pernilongos). Estudos recentes têm demonstrado seu grande potencial antimicrobiano e antioxidante (SARTORATOTTO et al., 2004; POLITEO et al., 2007; LEE; SCAGEL, 2009). Pereira et al. (2006) observaram que o óleo essencial do manjerição apresentou controle do fungo *Aspergillus ochraceus*, a partir da concentração 1000 mg mL^{-1} , em relação aos fungos *A. niger* e *A. flavus*.

Na medicina popular, espécies de manjerição são indicadas como estimulante digestivo, antiespasmódico gástrico, galactagogo, béquico, carminativo (SAJJADI, 2006). A composição química das folhas é rica em vitamina A e C, além de ter vitaminas B (1, 2, 3) e é uma fonte de minerais (cálcio, fósforo e ferro) (JANNUZZI, 2013).

O óleo essencial do manjerição rico em linalol, componente utilizado em várias sínteses, como acetato de linalila, e testado como acaricida, bactericida e fungicida (RADŪNZ, 2004). Na medicina, tem sido aplicado como sedativo e analisada suas propriedades anticonvulsivas. Na aromaterapia é utilizado para aliviar ansiedade, estresse, depressão, frieza emocional, fadiga e como reanimador para o fortalecimento do sistema nervoso central (GROSSMAN, 2005). Na indústria farmacêutica tem sido utilizado como fixador de fragrâncias, como no perfume Chanel nº 5, mundialmente conhecido. Assim, o linalol possui larga aplicação em várias áreas do conhecimento humano, sendo necessária sua produção em quantidades sempre crescentes (ERENO, 2006).

2.2.3 Importância econômica do óleo essencial

Aromas e fragrâncias incorporadas dentro dos alimentos, perfumes e produtos cosméticos possuem alto valor no mercado mundial. O interesse econômico relativo a componentes aromáticos de plantas direciona a atenção para a seleção de espécies comercialmente cultivadas, considerando quantidade e qualidade das substâncias voláteis (PAVIANI, 2004).

Os produtos derivados de plantas medicinais detêm uma parcela do mercado mundial em torno de 14 bilhões, de um total estimado de 280 bilhões de US\$ (cerca de 5% do mercado mundial de produtos farmacêuticos) (CARVALHO et al., 2007).

O mercado internacional de óleos essenciais expandiu-se, sendo responsável pela negociação de US\$ 1,8 bilhão. A participação do Brasil é de 0,1% (BARATA et al., 2005), dos quais 72% são adquiridos por empresas dos EUA, da Europa e do Japão (SANTOS et al., 2011).

Os principais países exportadores são EUA, França, Reino Unido e Brasil. Os EUA é o maior exportador e em 2004 exportou o quantitativo referente a US\$ 329 milhões em óleos essenciais, uma média de US\$ 8.337,00 por tonelada, enquanto o Brasil exportou, nesta mesma época, um montante de US\$ 98 milhões, aproximadamente US\$ 1.340,00 por tonelada de óleo essencial (BARATA et al., 2005).

A indústria brasileira dos óleos essenciais iniciou as suas atividades no começo da década de 1920, desenvolvendo-se como importante setor agroindustrial na década de 1940. As principais culturas de óleos essenciais do Brasil, entre as décadas de 1920 e 1970 foram o pau-rosa, laranja, *Mentha arvensis*, *sassafrás* e *Eucalyptus citriodora*. Nesta época a indústria brasileira participava de 90% da produção mundial de óleo essencial, devido à intensiva exploração do pau-rosa, rico em linalol (SANTOS et al., 2011). A partir da década de 1980, o Brasil registrou um declínio devido ausência de investimento tanto no replantio das áreas exploradas quanto no estabelecimento de técnicas de cultivos. Entre as décadas de 1950 e 1960, a produção média manteve-se em 300 toneladas ano⁻¹. Atualmente a exploração de pau-rosa só é permitida após a aprovação de manejo sustentável da espécie, produzindo somente 180 kg de óleo essencial por ano. No ano de 2007 o Brasil exportou 36 toneladas de óleo essencial de pau-rosa. As empresas instaladas no Brasil têm importado o linalol principalmente dos EUA e Suíça. No ano de 2003 foram importados cerca de 360 toneladas da forma isolada do linalol, no valor de US\$ 2,2 milhões (SANTOS et al., 2011).

Estudos recentes têm demonstrado ser possível produzir manjerição com óleo essencial rico em linalol (MAIA, 2005). O componente linalol visa a substituição do óleo essencial da espécie pau-rosa, uma árvore amazônica tradicionalmente fornecedora de linalol, que se encontra sob risco de extinção.

Baseados na produtividade de óleo essencial manjerição de 58,26 kg ha⁻¹ com uma receita líquida anual de R\$ 2.453,82 ha⁻¹ e com uma produtividade de matéria seca de 4.248,67 kg ha⁻¹, Ereno (2006) estimaram que 16 hectares de manjerição (cultivado por 3 meses) no primeiro corte contém uma quantidade de linalol suficiente para substituir o corte predatório de 4 árvores de pau rosa, cujo o ciclo de produção tem 25 anos.

A implantação da cultura de manjerição pode ser uma atividade promissora e rentável aos produtores no Brasil. Conforme Biogenic Stimulants (2014), sítio web europeu de vendas

on-line, o óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. custava em 29 de maio de 2014 o equivalente a US\$ 110,00 kg⁻¹ e US\$ 2,20 mL⁻¹.

A produção mundial de óleo de manjeriço pode ser estimada em 93-95 toneladas ano⁻¹, dos quais 55 toneladas de *Ocimum gratissimum* (US\$ 800,000) e 43 toneladas de *Ocimum basilicum*, (US\$ 2,8 milhões). Cerca de 100 kg de óleos são produzidos a partir de *Ocimum canum* (US\$ 5000) (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999). Durante os últimos anos, a estimativa mais conservadora é que a produção de óleo de manjeriço aumentará poucos pontos percentuais ao ano (SANTOS et al., 2011).

O óleo de manjeriço é atualmente produzido nos seguintes países, com (as respectivas quantidades anuais entre parênteses, em toneladas): Índia (15), Bulgária (7), Egito (5), Paquistão (4,5), Comores (4, 5), Israel (2), a ex-Iugoslávia, EUA e Madagascar (1), Hungria (0,3) e Argentina (0,2) (Lawrence, 1998). Os EUA é, provavelmente, o maior mercado para óleo de manjeriço, seguido dos países europeus (Alemanha, França, Reino Unido e Países Baixos), conforme Putievsky e Galambosi (1999). A relação das principais empresas que comercializa o óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. está presente no Quadro 1.

País	Empresa	País	Empresa
China	Institute for Lightindustrial Wuxi		Linax – SP
Egito	Ibrahim Co. N I – Divisão da Flavogypt Nouraco for Commerce & Industry	Brasil	Mane do Brasil Ind. Com. Ltda – RJ SAF Bulk Chemicals – SP
Espanha	Bordas S/A		Adrian S.A. BFA Labs Cavallier Freres S.A. Clos d'Águzon S.A. Laboratoire Monique Remy
EUA	SpectrumQuality Products, Inc. Aldrich Chemical Co. Inc. AVOCA (Divisão da R J Reynolds Tobacco Co.) Berge Inc. George Uhe Co. Inc. (Divisão da Dierberger Óleos essenciais do Brasil) Kalsec Inc. Ungerer & Co.	França	Payan & Bertrand Robertet S A Albert Vieille V Mane Fils S.A. Augustus Oils Ltda
India	Bhagat Impex Pvt. Ltda. Capri de Conias Som Extracts Ltda. Soofi Exports	Itália	Janousek Industriale Srl
		Vietnã	Essential Oil Co. Ltda

Quadro1 - Relação mundial de algumas empresas de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L.

Fonte: Santos et al. (2011); ABIFRA (2013)

2.2.3.1 Pesquisa e desenvolvimento no Brasil

Procurando responder às questões do mercado de óleo essencial, pesquisas e tecnologias estão sendo desenvolvidas no Brasil, como é o caso do estabelecimento de novas culturas agrícolas utilizadas como fontes estáveis de matéria-prima. A exemplo disso, estudos vêm sendo desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), conduzidos pelo pesquisador Nilson Borlina Maia, com o objetivo de encontrar um óleo alternativo ao pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), rico em linalol. Nesse estudo comparativo, iniciado 1998, estudaram-se 18 plantas contendo linalol, entre estas o manjeriço, coentro, louro, canela e laranja, obteve com os melhor resultado a substituição do pau-rosa o manjeriço. Apesar do manjeriço não ser tão rico em linalol como o pau-rosa (teores de linalol na ordem de 90%), é uma alternativa por ser uma planta de ciclo curto e com grande potencial agrônomo (ERENO, 2006; SANTOS et al., 2011).

Esse projeto viabilizou a instalação de lavouras comerciais para produção do manjeriço. As primeiras mudas levadas ao campo eram da variedade “Maria Bonita”, desenvolvida desde o ano 2000, no programa de melhoramento genético da Universidade Federal de Sergipe, pelo professor Arie Fitzgerald Blank (BLANK et al., 2007). Embora esta variedade apresente alta produção de óleo essencial rico em linalol (70%), o cultivo não teve aptidão às condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo (ERENO, 2006).

A alternativa foi à variedade da coleção do IAC, denominada de “Lampião”, como ficou conhecida entre os participantes do projeto. A variedade, apesar de ter um teor bem mais baixo de linalol, entre 35% e 40%, é muito rústica, resistente a doenças e cresce rapidamente no campo. Sua produção é de 15 toneladas ha⁻¹ por colheita, sendo praticadas quatro colheitas ao ano, uma a cada 90 dias (ERENO, 2006; SANTOS et al., 2011).

2.3 Fatores que afetam a biomassa da planta e o rendimento do óleo essencial

As concentrações de vários produtos secundários, provenientes das espécies medicinais, são fortemente dependentes das condições de crescimento e situações de estresse, assim causando um forte impacto sobre as vias metabólicas responsáveis pelo acúmulo desses constituintes (COSCOLIN, 2012). Estas alterações ocorrem devido a conversões espontâneas, que ocorrem continuamente, acarretando mudanças na composição do óleo essencial. Com base nestes fatos, a comercialização torna-se um problema, já que a composição do óleo essencial deve ser pré-estabelecida como demanda de mercado (MORAIS, 2009).

Entre os fatores que influenciam a síntese de óleos essenciais estão os genéticos; as características da planta; os ambientais (altitude, latitude); os fatores climáticos (temperatura, fotoperíodo, umidade, ventos e precipitação); e os agrônômicos, tais como a época de plantio e espaçamento de plantio, adubação, irrigação, reguladores vegetais e as práticas utilizadas durante os procedimentos de pré-colheita, colheita e pós-colheita, (BARBOSA et al., 2006; PRINS et al., 2006; MORAIS, 2009; BOTREL et al., 2010).

Do ponto de vista agrônômico, são poucas as informações disponíveis que evidenciem as características das plantas medicinais quando submetidas às técnicas de produção agrícola. Desta maneira, também são poucos os trabalhos referentes ao efeito da irrigação e adubação em plantas medicinais (SCHEFFER, 1992; SILVA et al., 2002).

2.3.1 Manejo hídrico em plantas medicinais, aromáticas e condimentares

Para se determinar, por exemplo, quando a alteração nas lâminas de irrigação foi benéfica ou prejudicial, deve se realizar uma análise química baseada na relação entre a massa seca da planta e o teor de princípios ativos. Isto estabelecerá se a alteração do manejo hídrico durante o cultivo adotado foi adequada ou não (MONTANARI JUNIOR, 2000; SANTOS et al., 2004).

Estudos estão sendo realizados para avaliar o efeito de determinados tipos de estresse no desenvolvimento e produtividade de massa foliar pelas plantas medicinais. O estresse hídrico é um fator determinante para o cultivo e produção de determinadas espécies de plantas. Porém, nas espécies medicinais, a seca pode afetar além do desenvolvimento, o teor e rendimento do óleo essencial (SANTOS et al., 2004). De acordo com a variação da disponibilidade de água, ocorre maior ou menor acúmulo de princípios ativos (KERBAUY, 2008).

Para o cultivo de manjerição, Simon et al. (1990) relataram que houve aumento do conteúdo de óleo essencial e alteração na composição do mesmo quando as plantas foram submetidas à deficiência hídrica moderada. Os efeitos do déficit hídrico iniciam-se quando a taxa de evapotranspiração supera a taxa de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas da planta. O déficit hídrico está associado, portanto, à redução progressiva da água no solo, acompanhado da profundidade radicular. Quanto maior a redução, mais severo será o déficit (SILVEIRA; STONE, 2001).

A planta de manjerição tem sido estudada em vários trabalhos de pesquisa para determinar o rendimento, componentes de produção, o teor e a composição do óleo essencial,

fertilização e densidades de plantas em diferentes condições ecológicas, mas apenas uma quantidade limitada de investigação centrou-se sobre os efeitos da quantidade de água de irrigação aplicada (EKREN et al., 2012).

Khalid (2006) relataram que *Ocimum basilicum* e *Ocimum americanum* cultivados em vasos, foram tratados com diferentes níveis de água determinados como uma porcentagem da capacidade campo (50, 75, 100 e 125%). As matérias verde e seca foram significativamente influenciadas pelo estresse hídrico. Para ambas as espécies, sob estresse hídrico, o teor de óleo essencial, da prolina e dos carboidratos totais essenciais aumentaram, as quantidades de N, P e K e os teores de proteínas diminuíram. O tratamento que repunha 75% da capacidade de campo resultou no maior rendimento de matéria seca.

No manejo da água para cultura do manjeriço, a disponibilidade limitada de água tem um efeito negativo no crescimento e desenvolvimento da planta. No entanto, um déficit hídrico moderado, por vezes, tem sido benéfico para o acúmulo de compostos biologicamente ativos em medicamentos e plantas aromáticas. Tal sensibilidade tem sido documentada em trabalhos sobre o efeito do estresse hídrico na redução severa da produção.

Moeini Alishah et al. (2006) estudaram os efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico aplicando 100, 90, 80, 70, 60 e 50% da capacidade de campo em vaso, no manjeriço e em uma câmara de crescimento. Os autores relataram que com o aumento do déficit hídrico, a altura e a massa verde da planta diminuíram. O tratamento que repunha 100% da capacidade de campo resultou na maior altura média (0,564 m) e massa verde (4,573 g planta⁻¹).

Pravuschi et al. (2010) estudaram o efeito de cinco lâminas de irrigação no manjeriço, baseadas na evaporação do tanque classe A (ECA), com 0; 50; 75; 100 e 150% da ECA e verificaram que a lâmina de irrigação equivalente a 100% ECA promoveu a máxima produtividade de matéria seca (4.248,67 kg ha⁻¹), assim como a máxima produtividade de óleo essencial (58,26 kg ha⁻¹).

Omidbaigi et al. (2013) indicaram que o teor de óleo essencial de manjeriço cultivado em vasos irrigado a 55, 70, 85 e 100% da capacidade de campo, aumentou de 1,12 a 1,26% com o maior déficit hídrico.

Munnu e Singh (2002) avaliaram o efeito do nitrogênio e lâminas de irrigação sobre a produção e qualidade de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e observou que a lâmina de irrigação equivalente a 75ECA aumentou a emissão de brotações e a produção de óleo essencial quando comparada à fração equivalente a 25% ECA. A eficiência do uso de água foi máxima para a irrigação de 25% sendo de 0,377 Kg mm⁻¹ ha⁻¹.

De acordo com Yassen et al. (2003), a irrigação de manjerição indiano determinada pela relação da evaporação de água do Tanque em 0,6 e 0,8, resultou em uma altura de planta de 87,6 e 90,2 cm e uma produção de matéria seca de 1176 e 1665 kg planta⁻¹.

De acordo Corrêa Júnior et al. (1994), plantas irrigadas podem compensar o baixo teor de princípios ativos com maior produção de biomassa, o que resulta em maior rendimento final destes compostos por área cultivada.

O estresse hídrico também afeta as plantas de manjerição com hábitos de crescimento diferentes. Em experimento realizado por Costa Filho et al. (2006), foi avaliada a influência de diferentes regimes hídricos (0, 50, 75 e 100% de água disponível) sobre o crescimento e desenvolvimento de *Ocimum gratissimum* L., sendo verificado que o crescimento das plantas foi semelhante até o 21º dia após o transplantio; após este período a diferença foi significativa nas plantas que receberam maior suprimento hídrico.

Ekren et al. (2012) estudaram o efeito de cinco lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125% da quantidade necessária para elevar a água do solo à capacidade de campo) no manjerição. Os autores verificaram a maior altura de planta (38,6 cm), matéria verde (2.269,4 kg ha⁻¹) e o rendimento do óleo essencial (417,2 kg ha⁻¹) no tratamento que repunha 125% da capacidade de campo. No entanto, o teor de óleo essencial mais elevado (1,10%) foi encontrado no tratamento com reposição de 50% da capacidade de campo. Esses resultados revelam que o manjerição é sensível ao estresse hídrico ou à quantidade de água de irrigação aplicada. O estresse hídrico afetou negativamente a altura das plantas e o rendimento de matéria seca do manjerição. Ao contrário da proporção de óleo essencial na planta, que aumentou à medida que a quantidade de água de irrigação aplicada, o teor de óleo essencial diminuiu com o aumento da lâmina de irrigação aplicada. O estresse hídrico tem um efeito positivo sobre o teor óleo essencial da planta. Uma vez que os rendimentos alterados em paralelo com a lâmina de irrigação aplicada, a eficiência de uso da água de irrigação não foi significativamente diferente de acordo com os níveis de água de irrigação estudados.

Os conhecimentos inerentes ao uso da água em cultivos de plantas de manjerição tem apresentado a garantia da produção; todavia, a maximização dos recursos naturais e o aumento da produtividade não se dão apenas com o fornecimento de água às culturas. O conhecimento a respeito da nutrição adequada da cultura do manjerição deve ser considerado.

2.3.1.1 Necessidade hídrica da cultura do manjeriço

A necessidade hídrica de uma cultura é de fundamental importância para o sucesso na agricultura irrigada, que depende de inúmeras variáveis, devendo ser analisadas antes da implantação de um projeto de irrigação.

O requerimento hídrico do manjeriço varia de 300 a 600 mm, por período de crescimento, da duração do ciclo fenológico, dependendo do clima, do solo, da variedade e do manejo da cultura. A variação nas necessidades hídricas do manjeriço em cada intervalo de corte é semelhante à de outras culturas durante o período total de crescimento, desde o transplante ou semeadura até a colheita da parte aérea (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999; PRAVUSCHI, 2008; ABOUTALEBI et al., 2013b).

O manjeriço requer um fornecimento contínuo de água e é intolerante ao estresse hídrico em todas as fases de desenvolvimento. Em países com um clima quente a irrigação é uma condição absoluta no cultivo de manjeriço. Pode ser utilizada a irrigação por sulco, aspersão e localizada, mas a irrigação por gotejamento, teoricamente, parece ser a melhor opção quando se preconiza a economia de água, além de permitir a utilização de fertirrigação, o que torna o sistema ainda mais atrativo. Em regiões de clima quentes recomendam turno de rega de 7 a 10 dias. Por exemplo, em Israel utiliza turno de rega de 10 dias na irrigação por aspersão, e turno de rega de cinco dias na irrigação por gotejamento (PUTIEVSKY; GALAMBOSI, 1999).

Aboutalebi et al. (2013b) recomendaram o turno de rega de 4 dias para cultivo do manjeriço irrigado por aspersão na região do Irã. Zheljazkov et al. (2008) um dia de turno de rega. Reffat e Saleh (1997) avaliaram diferentes turnos de rega (de 7, 14 e 28 dias) no manjeriço. Estes autores verificaram que à medida que aumentam os dias do turno de rega há uma diminuição na produtividade de biomassa, mas o teor do óleo essencial aumenta.

Informações na literatura sobre profundidade efetiva das raízes das plantas de manjeriço não foram encontrados. No entanto, com observações em campo Ekren et al. (2012) encontraram uma profundidade efetiva da raiz de 0,30 m. Os autores verificaram o comprimento da raiz secundária de 0,43 m, enquanto a raiz central chegou a 0,25 m de profundidade no solo, considerando, portanto, 0,30 m como a profundidade do perfil do solo a ser irrigada.

O manejo adequado na cultura do manjeriço visa atender suas exigências nutricionais, hídricas e fitossanitárias, que são importantes no seu desenvolvimento e na sua produção. Critérios para determinar a necessidade hídrica das culturas são de extrema

importância. Geralmente, a demanda hídrica da cultura é representada pelas perdas por evaporação e transpiração. O processo de evapotranspiração (ET) incorpora a evaporação (E) da superfície do solo e a transpiração (T) do dossel da planta. A dificuldade em distinguir esses dois processos faz com que estes sejam analisados conjuntamente (SILVA et al., 2006).

A evapotranspiração é uma das variáveis mais importantes para o melhor aproveitamento do recurso hídrico, sendo fundamental o seu conhecimento nos vários campos científicos que abordam os problemas de manejo de água. Na literatura diversos conceitos são empregados, porém, segundo Pereira et al. (2013), o termo evapotranspiração (ET) foi introduzido por Thornthwaite, que o definiu como sendo a água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo, com cobertura total do terreno e em condições de demanda constante de água.

Pela razão entre evapotranspiração da cultura (ET_c) de interesse e evapotranspiração de referência (ET_o), determina-se o coeficiente de cultivo (K_c). Este coeficiente indica a resposta da planta em atender às exigências atmosféricas durante o ciclo da cultura. Segundo Lascano e Sojka (2007), o K_c é requerido nas etapas de dimensionamento de sistemas e manejo da irrigação. A utilização do K_c, as metodologias e os procedimentos de cálculo, têm sido apresentados e recomendados pela Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1984; ALLEN et al., 1998).

A ET_o pode ser determinada a partir de métodos com medidas diretas ou por estimativas. A ET_o é estimada utilizando-se fórmulas empíricas ou baseadas em princípios físico-fisiológicos, ou mesmo pela utilização de instrumentos de medição da evaporação da água, denominados de evaporímetros (Tanque classe A e atmômetros). As fórmulas mais utilizadas para estimar a evapotranspiração são as de Thornthwaite, Blaney-Criddle; Blaney-Morin, Hargreaves, Garcia-Lopez, Jensen-Haise e Penman-Monteith. Dentre os métodos para se determinar a ET_o, o de Penman-Monteith é considerado o método padrão, sendo a ET_o estimada com dados de radiação líquida total diária, temperaturas média, mínima e máxima diárias, umidade relativa e velocidade do vento (DOORENBOS; PRUITT, 1984; SILVEIRA; STONE, 2001; PEREIRA et al., 2013).

Portanto, conforme Allen et al. (1998), o K_c pode ser determinado experimentalmente pelo processo inverso, onde se estima a ET_o pelo método de Penman-Monteith e a ET_c pode ser medida por lisimetria.

Há uma grande variedade de métodos que determinam a ET_c , incluindo a razão de Bowen, o balanço hídrico (utilizando o medidor de nêutrons, o método gravimétrico ou outros sensores de água no solo), o fluxo de seiva, o sensoriamento remoto (baseado em satélite e/ou modelagem direta) e os lisímetros. Segundo Medeiros et al. (2004), o K_c é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas e para sua obtenção o mais comum é utilizar lisímetros. O lisímetro é um dos métodos mais antigos, que podem potencialmente fornecer estimativas confiáveis, permitindo a contabilização dos termos do balanço hídrico de forma precisa. Os lisímetros podem ser divididos por duas categorias: pesagem e não pesagem.

Pereira et al. (2013), descrevem que o lisímetro se constitui de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo que possibilita conhecer, com detalhe, alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado, sendo que os mais empregados são os de drenagem, lençol freático constante e de pesagem. Dentre esses lisímetros, os de drenagem são os que vêm sendo mais utilizados, por serem mais simples e baratos que os demais e podem fornecer dados de evapotranspiração com precisão aceitável, quando bem instalados e operados.

A Organização Alimentar e Agrícola (FAO) em seu boletim 56 (ALLEN et al., 1998) sugere valores médios de K_c para diversas culturas ao longo do ano. Tal informação é o primeiro passo para o manejo racional da irrigação, entretanto, é notória a escassez de dados de pesquisas referentes a esses coeficientes, sobretudo nas plantas medicinais e principalmente na cultura do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.).

2.3.2 Nutrição e adubação potássica do manjeriço

Pesquisas sobre aspectos agronômicos do manjeriço no Brasil são muito escassas, em especial o estudo de exigência nutricional e adubação mineral e/ou orgânica no incremento de biomassa e na produção de metabólitos secundários (RAMOS et al., 2004), apesar de contribuírem na utilização de procedimentos similares aos das culturas hortícolas folhosas, tais como chicória, almeirão e couve pelo agricultores, uma vez que também visam à comercialização de matéria fresca de manjeriço (JANUZZI, 2013).

No Brasil é recomendado que as plantas medicinais recebam somente adubação orgânica. Há um consenso que o uso de adubo mineral pode alterar a composição do óleo essencial da planta, perdendo seu valor medicinal, podendo até provocar efeitos colaterais ou tóxicos (BRASIL, 2006). Recomenda-se o uso de adubo orgânico como esterco de aves (2 a 3 kg m⁻²) ou curral curtidos (4 a 5 kg m⁻²) e composto orgânico (5 kg m⁻²)

(MARTINS; FIGUEIREDO, 2009). Blank et al. (2004) utilizaram com fonte de nutriente o esterco de galinha na proporção de $27,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no cultivo de 55 genótipos de manjerição.

Luz et al. (2009) observaram que com a relação às doses de adubo orgânico de cama de frango (2, 4, 6, 8 e 10 kg m^{-2}), o manjerição não apresentou diferenças significativas na produção de folhas, teor e rendimento de óleo essencial. De acordo com Chaves (2001) não há na literatura um consenso em relação à resposta do rendimento de óleo essencial frente ao uso de diferentes tipos de adubos e muito menos de doses. Resultados diferentes foram obtidos por Blank et al. (2005) em *Ocimum basilicum* L. cv. Genovese. Foi realizado um estudo de cinco tipos de adubação (adubo formulado Hortosafrá®, esterco de galinha, esterco de galinha + Hortosafrá®, esterco bovino, esterco bovino + Hortosafrá®) e observou-se que a biomassa das plantas foi significativamente maior quando foram adubadas com Hortosafrá® e esterco de galinha, em relação ao esterco bovino. Esse fato pode ser atribuído ao esterco bovino possuir menores teores de fósforo, potássio, enxofre e zinco.

Dentre as necessidades primárias de estudo tem-se a adubação mineral que pode contribuir para a maior produção de biomassa e de metabólitos secundários (RAMOS et al., 2004). De maneira geral, os adubos químicos em poucos casos são prejudiciais aos teores de princípios ativos das plantas, quando usados dentro dos limites técnicos. O aumento de biomassa pode compensar uma redução do teor de fitofármacos, mas depende da análise econômica (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2006).

O aumento de biossíntese de óleo essencial está correlacionado com a otimização da nutrição mineral (MAIRAPETYAN, 1999). No entanto, as técnicas de cultivo das espécies de plantas medicinais como o manjerição, são ainda pouco conhecidas principalmente quanto às exigências nutricionais e às respostas aos corretivos e fertilizantes aplicados ao solo, principalmente no Brasil.

A concentração de óleos essenciais e matéria verde do manjerição dependem de vários fatores, entre os quais se distingue a nutrição das plantas. Os nutrientes que afetam a quantidade e a qualidade do óleo essencial são obtidos de micro e macronutrientes. Estudo com carbonato de cálcio em diferentes concentrações (6 e 12 g dm^{-3}) em plantas de manjerição apresentaram valores significativamente mais elevados de teor de óleo essencial, bem como aos menores rendimentos de matéria verde (DZIDA, 2010). Zheljazkov et al. (2008) encontraram doses de 80 kg ha^{-1} de enxofre para máxima produtividade de óleo essencial. Outros nutrientes disponíveis no meio nutritivo das plantas também são capazes de alterar a produção e composição de óleo essencial. Da mesma forma,

biofertilizantes e adubação mineral equilibrada de plantas aromáticas é um importante fator de cultivo para determinar a quantidade e qualidade do óleo essencial.

Segundo MINAMI et al. (2007), no manjeriço as adubações fosfatadas e potássicas são as mais importantes. No entanto, não há muitos trabalhos na literatura com potássico em relação à resposta do rendimento de óleo essencial frente ao uso de tipos de adubos e muitos menos de doses.

O potássio (K) presente nas plantas desempenha importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais. Pode-se dizer ainda que o K é o segundo macronutriente, em teor, contido nas plantas. Ele desempenha várias funções na planta, como controle da turgidez dos tecidos, a ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, a abertura e o fechamento de estômatos, o transporte de carboidratos e a resistência à geada, à seca e à salinidade. O potássio exerce nas plantas uma série de funções relacionadas com o armazenamento de energia. Entre as várias funções, citam-se o melhoramento da eficiência do uso da água, devido ao controle da abertura e fechamento dos estômatos; a maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para o restante da planta; a maior eficiência enzimática; além da melhoria da qualidade comercial da planta (MALAVOLTA et al. 1989; MENGEL; KIRKBY, 1987; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Segundo Wilkinson (1994), apud Valmorbida et al. (2006), a variação do nutriente potássio pode afetar todo o metabolismo da planta, inclusive a produção de óleos essenciais.

Também é verificado que o potássio aumenta a resistência natural da parte aérea das hortaliças às doenças fúngicas, pois tornam os tecidos mais fibrosos e resistentes, inclusive ao acamamento e, principalmente, contrabalanceando o efeito contrário causado pelo excesso de N. Entretanto, o excesso de K desequilibra a nutrição das hortaliças, dificultando a absorção de Ca e Mg (FILGUEIRA, 2008). No cultivo de algumas plantas aromáticas, uma maior quantidade de potássio contribui para um aumento no teor de óleo essencial e na porcentagem de 1,8-cineol, linalol, e eugenol no óleo. Outros nutrientes disponíveis no meio nutritivo das plantas também são capazes de alterar a produção e composição do óleo essencial (NURZYNSKA-WIERDAK et al., 2013).

Para o plantio do manjeriço, Prakasa Rao et al. (2007), verificaram que elevadas doses de N (doses maiores que 100 kg ha^{-1}) e K (doses com mais de 80 kg ha^{-1}) resultaram em maior produção de óleo essencial. Além disso, o rendimento de óleo essencial de manjeriço é significativamente dependente da taxa de nitrogênio, taxa de potássio e da interação entre N e K (PRAKASA-RAO et al., 2007). As relações acima são significativamente traduzidas em alterações quantitativas e qualitativas de substâncias voláteis em plantas de óleo essencial.

No cultivo de estufa, dependendo do meio cultivado e das espécies de plantas, é ótimo que o teor de potássio esteja no intervalo de 0,3 a 0,8 g dm⁻³ de K na solução do solo. A quantidade de uma dose única de potássio é de grande importância, devido ao efeito antagônico deste nutriente na absorção de outros cátions como sódio, cálcio, e magnésio em particular pelas plantas (EZZ EL-DIN et al., 2010).

No manjerição, o teor de óleo essencial é significativamente maior em plantas adubadas com mais dose (0,8 g dm⁻³ de K) em comparação com a menor dose (0,4 g dm⁻³ de K). Além disso, a maior quantidade de potássio contribui para um aumento na porcentagem de 1,8-cineol, linalol, o eugenol, e γ -cadineno na composição do óleo de manjerição (NURZYNSKA-WIERDAK; BOROWSKI, 2011). Diferente do estudo de Prakasa-Rao et al. (2007), a produção de óleo de manjerição não foi significativamente alterada pela taxa de potássio.

Em relação à concentração de sais (CE) na solução do solo, há proporções adequadas entre nutrientes específicos que são extremamente importantes para a absorção adequada de água e nutrientes dissolvidos pela planta (SINGH et al., 2004; NURZYNSKA-WIERDAK et al., 2011). O valor da CE é afetado por todos os cátions e ânions, mas em maior medida por nitratos, potássio e magnésio (NURZYNSKI, 2003). A concentração de sais no meio nutritivo das plantas de óleo essencial modifica o seu crescimento e desenvolvimento. O aumento da salinidade do solo também contribui para maior teor e rendimento do óleo de manjerição (SAID-AL AHL; MAHMOUD, 2010), bem como um aumento no teor de linalol, cavicol metilo, geraniol e mirceno; e uma diminuição no teor de eugenol e metil eugenol (SAID-AL AHL et al., 2010). Os resultados acima mostram que um aumento no teor de óleo essencial pode ser obtido sem mudanças adversas na composição do óleo essencial, através de concentração adequada de sal no meio nutritivo (NURZYNSKA-WIERDAK, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

3.1.1 Localização

A área experimental está situada no Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ – USP), no município de Piracicaba-SP, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 22° 41’58’’S; longitude 47°38’42’’W e a 511m de altitude (Figura 1).

Figura 1– Localização e vista geral da área experimental

Fonte: Google Earth (2012)

3.1.2 Clima

O clima de Piracicaba é classificado como Cwa no sistema Koppen, descrito como subtropical úmido, e com estiagem no inverno, temperatura média de 18°C no mês mais frio e 22°C no mês mais quente. A temperatura média anual é de 21,4°C e total de chuva de 1257 mm. A estação seca do ano ocorre geralmente entre os meses de abril e setembro, sendo o mês de julho o mais seco. A época mais chuvosa concentra-se de janeiro a fevereiro, sendo que nos meses mais secos os índices pluviométricos não ultrapassam 30 mm por mês (OMETTO, 1991).

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado em um delineamento experimental em blocos aleatorizados com parcelas subdivididas, constando de quatro capacidades de água disponível no solo (CAD): L1 – 100-95% CAD, L2 – 75% CAD, L3 – 30% CAD, L4 – sem irrigação e quatro doses de potássio; D1 – 0 kg de K_2O ha⁻¹, D2 – 50 kg de K_2O ha⁻¹, D3 – 100 kg de K_2O ha⁻¹ e D4 – 200 kg de K_2O ha⁻¹. Constitui-se de três repetições em blocos resultando em 48 parcelas, avaliado em três colheitas (Figura 2).

Figura 2 – Croqui da área experimental

3.2.1 Características das unidades experimentais

A área experimental foi constituída de 48 parcelas, cada parcela com dimensões de 2,5 m x 2,0 m de largura, totalizando 5,0 m². As plantas foram transplantadas em quatro fileiras espaçadas de 0,5 m entre plantas e 0,5 m entre linhas, perfazendo um total de 20 plantas em cada parcela. A área útil por parcela foi de 1,5 m², correspondendo às seis plantas das duas fileiras centrais. As plantas da extremidade das fileiras centrais e as plantas das fileiras laterais tiveram a função de bordadura (Figura 3).

Figura 3 – Esquema de plantio de cada parcela

3.3 Instalação do Experimento

As atividades de instalação (Figura 4) ocorreram de janeiro a março de 2012, nas quais foram realizadas as etapas de terraplanagem, duas gradagens de nivelamento, aração e, logo em seguida, utilizou-se uma encateiradora acoplada ao trator, para levantar seis canteiros com 0,2 m de altura e 1,0 m de largura, espaçados entre si de 1,0 m. Os seis canteiros foram unidos manualmente, resultando em três canteiros com 0,3 m de altura, 2 metros de largura e 40 metros de comprimento. Posteriormente, foram delimitadas as parcelas experimentais (Figura 3). Na preparação dos canteiros foi aplicado o equivalente a 6,2 litros por parcela experimental de esterco bovino.

Foi utilizada uma cobertura vegetal de $2,5 \text{ kg m}^{-2}$ de balsa e folhas de cana-de-açúcar e distribuídas na superfície dos canteiros, equivalendo à disposição de uma camada com espessura de 0,05 m as quais foram cortadas e passadas em picadeira elétrica. A cobertura vegetal teve como objetivo aumentar a eficiência do controle da vegetação espontânea, bem como reduzir as perdas de água por evaporação (SOUZA et al., 2012; LEAL, 2012).

Figura 4 – Atividades da instalação do experimento: (a) área após nivelamento e gradagem; (b) e (c) construções dos canteiros; (d) cobertura vegetal sendo cortada e picada; (e) e (f) cobertura vegetal sendo distribuídas nos canteiros

3.4 Caracterização do solo

3.4.1 Características físicas-hídrico do solo

As análises físico-hídricas do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ-USP.

O solo foi classificado por Uyeda (2009) como NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico (série “Luiz de Queiroz”), textura argilosa, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006).

A análise granulométrica do solo da área experimental foi feita com a média de três repetições de amostras retiradas na profundidade de 0,15 m. Adotou-se o método de Bouyoucos (Tabela 1), conforme as recomendações de EMBRAPA (1997).

Tabela 1 – Características físicas do solo da área experimental

Granulometria (%)			Classe textural
Argila	Silte	Areia	Argilosa
49,77± 0,94	14,28± 1,64	35,95± 0,74	

± erro padrão da média

As curvas de retenção de água no solo foram obtidas com auxílio de uma mesa de tensão para os pontos de 0,1; 2 e 4 kPa, e da câmara de Richards para os pontos de 10, 30, 50, 100, 500 e 15000 kPa. O ajuste da curva de retenção de água no solo foi realizado de acordo com a metodologia proposta por van Genuchten (1980), conforme a eq. (1). Para tal, foram coletadas amostras de solo indeformadas em três trincheiras abertas nas profundidades de 0,10 e 0,30 m, representando as camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 mm, respectivamente, com três repetições, em locais representativos da área experimental com três repetições, totalizando 18 amostras.

Os parâmetros θ_r , n e α foram estimados com base nos dados observados de retenção de água no solo de nove pontos observados de θ e ψ_m . A obtenção dos parâmetros foi realizada mediante ao uso de uma planilha eletrônica e do método dos mínimos quadrados. O parâmetro m é dependente de n e foi calculado pela eq. (2). O parâmetro θ_s foi determinado por meio da mensuração da amostra do solo saturado. No ajuste foram utilizados os valores médios dos parâmetros para cada profundidade do solo. A curva de retenção de água no solo e os parâmetros estão apresentados na Figura 5.

$$\theta = \theta_r \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (2)$$

Em que:

$\theta(\psi_m)$ – umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_r – umidade volumétrica residual do solo, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_s – umidade volumétrica do solo saturado, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

n e m – parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

α – parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa^{-1} ; e

ψ_m – potencial matricial de água no solo, em kPa.

Figura 5 – Curvas características de retenção de água no solo em duas profundidades

Posteriormente, realizaram-se as determinações de densidade de partículas por meio do método do picnômetro e densidade do solo pelo método da proveta, conforme as recomendações de EMBRAPA (1997). A porosidade total do solo foi estimada pelo valor da umidade volumétrica na tensão matricial de 0,1 kPa. A microporosidade foi considerada igual ao teor de água retido na tensão matricial de 6,0 kPa, que é equivalente à capacidade de campo e a macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A caracterização físico-hídrica do solo nas profundidades de 0,0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização físico-hídrica: umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), capacidade total de água disponível (CAD), densidade do solo (D_s), densidade das partículas do solo (D_p) e porosidade total do solo (P_{total})

Profundidades	θ_{cc}	θ_{pmp}	CAD	D_s	D_p	P_{total}
m	$cm^3\ cm^{-3}$		mm	$g\ cm^{-3}$		%
0,0 – 0,20	0,47	0,37	29,00	1,45	2,45	40,80
0,20 – 0,40	0,46	0,35	36,30	1,65	2,45	32,65

θ_{cc} – umidade correspondente ao potencial matricial de 6 kPa;

θ_{pmp} – umidade correspondente ao potencial matricial de 1500 kPa.

3.4.2 Característica química do solo

A caracterização química inicial do solo foi realizada mediante análise de amostras compostas coletadas na camada de 0-0,30 m de profundidade, logo após as construções dos canteiros e aplicação de matéria orgânica. As análises foram efetuadas no Laboratório Pira Solos, em Piracicaba – SP. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise de fertilidade.

Tabela 3 – Análise químicas do solo da área experimental

pH	MO*	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	m	V	P	S
CaCl ₂	mg kg ⁻¹			mmolc dm ⁻³				%		mg dm ⁻³	
5,0	15	0	34	26	10	4,4	74,4	0	55	4	10
B		Cu		Fe			Mn			Zn	
				mg dm ⁻³							
0,14		3,5		25			26,8			1,1	

* matéria orgânica; Métodos: B – água quente/microondas; Cu, Fe, Mn e Zn – extração DTPA – TEA em pH 7,3; P, K, Ca, Mg – extração pela resina trocada de íons; Al – titulometria; H+Al – pH SMP; S – turbidimetria

Com base nestes resultados (Tabela 3) procedeu-se a interpretação e recomendação de adubação para o estado de São Paulo pelo Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997), para a cultura da *Mentha piperita*. Vale ressaltar que não há recomendação específica para a cultura do manjeriço e por este motivo a adubação foi orientada pelo que se recomenda em relação à cultura do *Mentha piperita*, cujas demandas e marchas de absorção de nutrientes são semelhantes (PRAVUSCHI et al., 2010).

Para as condições químicas encontradas neste solo, não foi necessária a aplicação de calagem, por estar próximo a saturação de base a 60%. A adubação de fundação foi executada aos 10 dias antes do transplântio e dois dias após as colheitas. Na adubação de fundação foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O. Para a adubação de cobertura foram 30 kg ha⁻¹ de N aplicado 20 dias após o transplântio e aos 20 dias após o 1º e 2º corte.

As adubações foram aplicadas manualmente em sulco, entre as linhas espaçadas entre si em 0,50 m. A adubação das plantas foi realizada utilizando ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio para suprimento do nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. As quantidades de nutrientes aplicadas no ciclo vegetativo do manjeriço conforme os tratamentos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dose equivalente de nutrientes aplicados em kg ha⁻¹

Tratamentos	K ₂ O (kg ha ⁻¹)			N (kg ha ⁻¹)			P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		
				Colheitas					
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
D1	30	30	30						
D2	30 + 50	30 + 50	30 + 50	20 + 30	20 + 30	20 + 30	120	120	120
D3	30 + 100	30 + 100	30 + 100						
D4	30 + 200	30 + 200	30 + 200						

K₂O – cloreto de potássio; N – ureia; P₂O₅ – superfosfato simples; D1 – 0 kg de K₂O ha⁻¹; D2 – 50 kg de K₂O ha⁻¹; D3 – 100 kg de K₂O ha⁻¹; D4 – 200 kg de K₂O ha⁻¹

3.5 Caracterização da água

A água utilizada no experimento era proveniente do sistema de abastecimento de água potável da ESALQ. Foi realizada análise da qualidade da água para verificar as características físico-químicas (Tabela 5). A água utilizada na irrigação foi classificada como C2-S1, ou seja, água com salinidade média e baixo teor em sódio, considerada adequada ao uso para a irrigação.

Tabela 5 – Resultados da análise físico-química da água utilizada para irrigação

(continua)				
Parâmetros	Símbolos	Unidades	Valores	Valores Normais**
Salinidade (Teor de sais)				
Condutividade Elétrica	CEa	dS m ⁻¹	0,30	0 – 3
Sais dissolvidos totais	SDT	mg L ⁻¹	192,00	0 – 2000
Cátions				
Cálcio	Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	0,71	0 – 20
Magnésio	Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	0,16	0 – 5
Sódio	Na ⁺	mmol _c L ⁻¹	0,57	0 – 40
Potássio	K ⁺	mmol _c L ⁻¹	0,08	
Total de cátions	-	mmol _c L ⁻¹	1,51	
Ânions				
Cloreto	Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	0,34	0 – 30
Sulfato	SO ₄ ²⁻	mmol _c L ⁻¹	1,02	0 – 20
Nitrato	NO ₃ ³⁻	mmol _c L ⁻¹	0,25	
Carbonato	CO ₃ ²⁻	mmol _c L ⁻¹	0,23	0 – 0,1
Bicarbonato	HCO ₃ ³⁻	mmol _c L ⁻¹	0,23	0 – 10
Total de ânions	-		2,08	

Tabela 5 – Resultados da análise físico-química da água utilizada para irrigação

(conclusão)				
Parâmetros	Símbolos	Unidades	Valores	Valores Normais**
Nitrogênio				
Nitrogênio-nitrato	N-NO ³⁻	mg L ⁻¹	15,3	0 – 10
Nitrogênio amoniacal	N-NH ³⁺	mg L ⁻¹	0,20	0 – 5
Fosforo	P	mg L ⁻¹	0,01	0 – 1
Potássio	K	mg L ⁻¹	3,20	0 – 2
Outros				
Acidez	ph	-	6,70	6,0 – 8,5
Relação de adsorção de sódio	RAS°		0,39	0 – 15
Classificação*			C2S1	

*Richards (1954); ** Ayers e Westcot (1999)

3.6 Dados climatológicos

Os dados climáticos foram coletados no posto meteorológico da ESALQ - USP, em Piracicaba-SP, localizado na latitude 22° 42' 30" S e longitude 47° 38' 00" W, altitude 546 metros a uma distância de 800 metros do local do experimento. Ao lado da área experimental, foi instalado um pluviômetro, necessário para as correções da precipitação local.

3.7 Construção dos lisímetros

As escavações para instalação dos três lisímetros foram realizadas manualmente, o solo foi separado em camadas de 0,15 m até a profundidade das caixas. As camadas de solo foram acondicionadas em lonas plásticas e identificadas.

Os lisímetros foram nivelados com suave declive (1%) no sentido do dreno e, antes de serem preenchidos com o solo, foi colocada uma camada de 0,05 m de pedra brita nº 2 no fundo da caixa. Esta camada foi revestida com uma manta geotêxtil ("Bidim OP-20") e posteriormente uma camada de solo de 0,60 m, devidamente homogeneizado. As instalações dos lisímetros na área experimental foram nas parcelas L1D1 (Figura 2).

As três caixas de cimento amianto possuíam 0,5 m³ de volume, nas dimensões: 0,92 m de largura, 1,08 m de comprimento, com área efetiva de evaporação de 1,0 m² e profundidade de 0,65 m. Na parte inferior do lisímetro foi inserido um dreno de PVC, com diâmetro de 20 mm, conectado a um poço (PVC de 100 mm) de observação com 1,5 m de profundidade, por meio do qual o excesso de água percolado era captado e medido (Figura 6). No interior de cada lisímetro foram cultivadas seis plantas.

Figura 6 – Esquema do lisímetro de drenagem

3.8 Irrigação

3.8.1 Sistema de irrigação

Foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento, com emissor integrado tipo pastilha e autocompensante, da marca John Deere Water - D5000, com vazão de 2 L por hora com linhas laterais de polietileno flexível de 16 mm, para uma pressão de serviço de 100 kPa e com espaçamento de 0,3 m entre si. Realizava-se a irrigação de forma independente para cada nível do fator lâmina, utilizando três registros do tipo esfera, sendo que a abertura de cada registro habilitava a irrigação em 12 parcelas experimentais simultaneamente.

O sistema de bombeamento foi composto por um conjunto de motobomba centrífuga, com potência de 0,5 CV da marca KSB, modelo Hydrobloc P500, altura mínima de recalque 7 e máxima de 38 mca, e vazão máxima de $2,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$; um filtro de disco (120 mesh) e manômetro. A água era captada de um reservatório de aproximadamente 5 m^3 ao lado do conjunto moto-bomba.

Após a instalação do sistema de irrigação, determinou-se a uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação (UD) aos 15 dias após o transplântio e aos 100 dias após transplântio. Utilizaram-se duas linhas úteis de gotejadores e quatro emissores por linha sendo o primeiro, a 1/3 e o segundo a 2/3 e o último emissor da linha. Os resultados do ensaio de UD são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação

Período	Q_{25}	Q_m	$UD = \frac{Q_{25}}{Q_m} 100$
DAT	$L\ h^{-1}$		%
15	1,82	1,93	94
100	1,85	1,91	96

DAT – Dias após transplântio; Q_{25} – vazão média das observações do menor quartil; Q_m – vazão média entre todas as observações

3.8.1.1 Manejo de irrigação

O manejo de irrigação foi realizado pela estimativa da umidade do solo por meio de dados da sonda de capacitância, modelo Diviner 2000[®] (SENTEK, 2001), na profundidade de 0,1 m a 0,4 m (Figura 7). Esse equipamento consiste de um display com teclado e coletor de dados (datalogger) acoplado, via cabo, a uma sonda que, ao ser inserido no tubo de acesso no solo faz leituras de umidade no solo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2007).

As leituras foram realizadas em um intervalo máximo de três dias obtidos automaticamente a cada 0,1 m de profundidade (umidades nas camadas de 0,00 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,40 m). Com as leituras da umidade crítica para cada tratamento, foi calculada a necessidade de irrigação para elevar a umidade do solo à capacidade de campo (Tabela 7). A irrigação foi realizada da mesma maneira para todos os tratamentos até o 27º DAT com objetivo de favorecer o pegamento das mudas, mantendo o solo na capacidade de campo em todas as parcelas experimentais (EKREN et al., 2012).

Figura 7 – Leitura da umidade volumétrica do solo por sonda de capacitância, modelo Diviner 2000® na cultura do *Ocimum basilicum* L. no NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico

Tabela 7 – Parâmetros utilizados no manejo da irrigação considerando a profundidade de 0,40 m

Parâmetros	Fator Lâmina			
	L1	L2	L3	L4
Reserva de água limite (mm)	62,035	48,975	19,590	–
Umidade crítica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	0,4628	0,4338	0,3685	–
Potencial (kPa)	8,329	23,451	641,16	–
Lâmina (mm)	3,27	16,33	45,71	–
Tempo de irrigação (min)	14,84	74,20	207,77	–

L1 – 100% CAD; L2 – 75% CAD; L3 – 30% CAD; L4 – sem irrigação

Os 16 tubos de acesso de PVC (diâmetro externo de 56,5 mm, diâmetro interno de 51 mm e comprimento de 0,80 m) foram instalados nos canteiros, sendo três instalados nos lisímetros (Figura 2) e um instalado em uma bacia de contenção para calibração da mesma. Um cap foi firmemente colocado na extremidade superior do tubo realizando-se, também, a vedação na extremidade inferior de cada tubo com a colocação de um anel de borracha (SENTEK, 2001).

Após a instalação dos tubos de acesso e decorridos alguns dias para estabilização do solo ao redor do tubo, a sonda foi calibrada com base no método gravimétrico com o auxílio de um trado de rosca, amostrando-se a cada 0,1 m até 0,6 m de profundidade em uma bacia de calibração, ao lado do experimento.

Os ajustes obtidos entre os pares de valores de umidade volumétrica real versus umidade estimada pela sonda de capacitância foram significativos. O modelo explicou 89%

da variação da umidade volumétrica, no intervalo mínimo e máximo de $0,340$ a $0,525 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 8). Obteve-se um índice de concordância de Wilmott (d), que refletiu relativa concordância; quando multiplicado pelo coeficiente de correlação para encontrar o índice de desempenho de Camargo-Sentelhas ($c = r \cdot d$), o mesmo foi classificado como “muito bom” ($c=0,788$), conforme Figura 8a.

Para avaliar a concordância foi empregada a análise gráfica de Bland-Altman (Figura 8b). Neste gráfico é possível visualizar o viés (o quanto as diferenças se afastam do valor zero), o erro (a dispersão dos pontos das diferenças ao redor da média), além de “outliers” e tendências (HIRAKATA; CAMEY, 2009). A partir da análise de concordância de Bland-Altman, obteve-se um viés de $2,72 \cdot 10^{-4}$, intervalo de confiança do viés (CI Bias) de $-0,006$ a $0,006 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o qual, comparado à porosidade total do solo ($\alpha = 0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), é muito pequeno, representando 1,46% de α (Figura 8b). Observou-se que há concordância entre o método da sonda de capacitância e o método gravimétrico para determinação da umidade volumétrica do solo.

Figura 8 – Regressão linear da umidade estimada pela sonda Diviner 2000® versus umidade volumétrica do solo, considerando os dados de 0,0 a 0,60 m. * ($p < 0,01$) = coeficiente significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; R^2 = coeficiente determinístico; r = coeficiente de Pearson; d = índice de concordância de Willmott; c = índice de desempenho de Camargo- Sentelhas (a); Análise de concordância de Bland-Altman (b)

3.9 Cultura

As plantas matrizes foram obtidas a partir de estacas herbáceas fornecidas pela empresa LINAX Comércio de Óleos Essenciais LTDA, situada no município de Votuporanga, SP. Os constituintes químicos majoritários do óleo essencial dessas matrizes

são o linalol (40%), canfor (13%) e 1-8 Cineol (26%). A variedade utilizada é originária da coleção do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), denominada “Lampião”.

Foram selecionadas 24 mudas, transplantadas individualmente e equidistantes à borda do vaso plástico de 15 L, com o NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico (série “Luiz de Queiroz”), textura argilosa. (Tabela 1). O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, com estrutura metálica galvanizada, medindo 6,4 m de altura na parte central, 12,8 m de largura e 22,5 m de comprimento, com janelas frontais. A cobertura consistia de filme de polietileno transparente de baixa densidade, e espessura de 0,15 mm. O monitoramento meteorológico foi realizado com sensores de radiação global modelo CM3 Kipp & Zonen[®], temperatura e umidade relativa do ar – termohigrômetro modelo HMP45C da Vaisala[®] (Figura 9).

O adubo de liberação lenta utilizado foi o Osmocote[®], sendo aplicados 4 gramas por vaso, no transplântio e após cada colheita. O fertilizante tem um tempo de liberação em torno de 4 a 6 meses que contém 15% de N, 10% de P₂O₅ e 10% de K₂O, e sua formulação também apresenta 3,8% de Ca, 1,5% de Mg, 3,0% de S, 0,02% de B, 0,05% de Cu, 0,5% de Fe, 0,1% de Mn, 0,004% de Mo e 0,05% de Zn. Nos intervalos de 20 dias foram aplicados 6 g L⁻¹ do adubo foliar Yogen 2[®], cuja formulação contém 30% de N; 10% de P₂O₅; 10 % de K₂O; 0,5 % de Mg; 0,02% de Cu; 0,1% de Mn; 0,02% de Mo; e 0,1 de Zn.

Figura 9 – Plantas matrizes de *Ocimum basilicum* L. em casa de vegetação

A irrigação das plantas foi realizada por meio de sistema de microirrigação, via gotejamento. Utilizaram-se gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 2,0 L h⁻¹. A automação da irrigação foi realizada por meio de um “acionador simplificado para irrigação”

(registro de patente MU 8700270-1 U), cujo funcionamento, processo detalhado de montagem e instalação foi descrito por MEDICI et al. (2010). Foi utilizado um desnível do dispositivo acionador equivalente a 5,0 kPa de potencial matricial de água (Figura 10).

Figura 10 – Automação do sistema de irrigação “acionador simplificado para irrigação” (registro de patente MU 8700270-1 U)

3.9.1 Preparo das mudas

Após o estabelecimento das plantas matrizes, as mudas de *Ocimum basilicum* L. foram propagadas assexuadamente por estaquia de seis plantas matrizes adultas, com aproximadamente 12 meses de idade (quatro colheitas). As plantas estavam na fase de florescimento, com altura $0,85 \pm 0,05$ m e diâmetro do colmo $0,11 \pm 0,02$ m.

As estacas foram retiradas no período da manhã, sendo efetuado o corte em bisel. Foram coletadas com aproximadamente 0,10 m de comprimento, deixando um ou dois pares de folhas na parte superior das estacas (Figura 11). Foram selecionadas as estacas de caule herbáceo da parte apical dos ramos principais, a fim de uniformizar os diâmetros e ter brotos ou gemas axilares fisiologicamente ativos, com a presença de folhas (MATTANA et al., 2009). Não foi realizado nenhum processo de desinfestação das estacas. Antes dos preparos das mudas foram realizados testes preliminares, com finalidade de verificar o efeito dos tipos de substratos e diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB), no *Ocimum basilicum* L. O detalhamento desse experimento pode ser observado no item 3.14.1.

Figura 11 – Etapas do preparo de mudas por estaquia

As estacas foram enterradas verticalmente em bandejas de polipropileno de 162 células e mantidas em viveiro até as plantas apresentarem um tamanho médio de 0,15 m, o que ocorreu em 15 dias aproximadamente. Foram utilizadas doze bandejas, sendo produzidas 2016 mudas.

As bandejas foram previamente desinfestadas com solução de água sanitária a 5%. Adicionou-se em suas células o substrato comercial Plantmax[®]-HT, constituído à base de casca de pinus, turfa, vermiculita expandida. O substrato foi enriquecido com macro e micronutrientes, sendo material inerte e livre de patógenos.

A irrigação das mudas foi realizada por capilaridade, fazendo-se a imersão de 90% do volume das células em água, a partir da base, de forma que a umidade do substrato se mantivesse na capacidade de campo, sendo reumedecido sempre que necessário. Este sistema foi concebido por meio da colocação de uma lona plástica preta abaixo do nível da bandeja, de maneira a formar um tanque de contenção de água (Figura 12). Neste tanque de contenção foi aplicada uma solução nutritiva de adubo solúvel da fórmula 20-10-20 acrescido de micronutrientes, na concentração de 1g L⁻¹.

Figura 12 – Ilustração das bandejas irrigadas por “floating” (a) e bandejas com mudas aos 2 dias após a estaquia (DAE) (b)

As variações das temperaturas máxima ($T_{\max}$) e mínima ($T_{\min}$), bem como as umidades relativas máxima ($UR_{\max}$) e mínima ($UR_{\min}$) registradas no período da estaquia são apresentadas na Figura 13. A $T_{\max}$ variou de 16 a 37 °C; a $T_{\min}$ variou de 5 a 15 °C; $UR_{\max}$ e $UR_{\min}$ variaram 79 a 93% e 15 a 54%, respectivamente. A maior amplitude térmica registrada na casa de vegetação foi de 26 °C aos 15 DAE.

Figura 13 – Variação da temperatura mínima e máxima ($T_{\min}$ e $T_{\max}$) e a umidade relativa do ar ($UR_{\min}$ e $UR_{\max}$) nos 15 dias após estaquia (DAE)

3.9.2 Transplântio e formação

O transplântio das mudas para o campo foi realizado aos 15 dias após a estaquia. Foram abertas “covas” nos canteiros, com profundidade de 0,10 a 0,12 m, onde as mudas foram inseridas com o sistema radicular envolvido pelo substrato (Figura 14). As mudas foram transplantadas em quatro fileiras espaçadas de 0,5 m x 0,5 m (plantas x linhas) perfazendo um total de 40.000 plantas por hectare. Não foi necessário o tutoramento das plantas com bambu.

Aos 10 dias após o transplântio foi realizada a reposição das mudas que não pegaram. Das 960 mudas transplantadas, 176 morreram devido ao ataque de formigas, tendo um percentual de 82,3% de pegamento de mudas.

Figura 14 – Transplântio das mudas de *Ocimum basilicum* L. para os canteiros

3.10 Tratos culturais

O controle das plantas invasoras nos canteiros foi feito manualmente, e na área de bordadura do experimento procedeu-se o controle mecânico por capina.

Na fase vegetativa da cultura, até os 27 DAT, objetivou-se atender a formação da planta, portanto o solo foi mantido na capacidade de campo em todas as parcelas. No 25 DAT as plantas foram podadas a 0,25 m do solo (poda de uniformização) para dar início à diferenciação dos tratamentos.

Foi realizado o controle de infestação de formigas aos 10, 30 e 60 dias após transplântio, com o formicida Mirex-S (iscas granuladas), sendo aplicados 10 gramas por olheiro (CANTARELLI et al., 2005). Não foi necessário o uso de produtos para controle de doenças.

3.11 Colheita

Foram realizadas três colheitas, quando as plantas estavam em pleno florescimento (Figura 15a). Estas foram cortadas a 0,25 m do solo, das 8 às 10 horas da manhã, devido à maior concentração do óleo essencial pela manhã (MARTINS et al., 1994; SIMON, 1995).

Antes das colheitas foram realizados testes preliminares com a finalidade de validar a metodologia, nos quais se constatou que o maior teor de óleo essencial foi obtido com a colheita no período da manhã por volta de 9 horas. Os resultados dos testes podem ser observados em Marques et al. (2013).

Após a colheita, as plantas foram separadas em sacos de papel Kraft e pesadas para determinação da massa fresca total. Posteriormente foi feita a secagem da material a 40 °C por cinco a sete dias, em estufa com circulação de ar forçada. Após a secagem, o material foi pesado e separado em folhas e inflorescências e novamente pesado, sendo retirada uma amostra de 50 gramas por parcela para a extração do óleo essencial (Figura 15).

Figura 15 – Colheita do manjericao, (a) pleno florescimento; (b), (c) e (d) etapas do corte e (e) após a colheita

3.12 Extração de óleo essencial

O óleo essencial foi extraído empregando-se a hidrodestilação por arraste a vapor, em aparelho tipo Clevenger, acoplado a um balão de vidro de fundo redondo de 2000 mL. Foi usado uma manta como fonte de calor e o condensador e o separador do extrator funcionaram com água corrente à temperatura ambiente (Figura 16).

Figura 16 – Sistema Clevenger para extração de óleo essencial

Antes das extrações do óleo essencial, realizaram-se testes preliminares, com finalidade de ajustar a metodologia, nos quais se constatou que as partes da planta de *Ocimum basilicum* L. que apresentaram o maior teor de óleo essencial foram a inflorescência e a folha. Os resultados dos testes podem ser observados em Marques et al. (2013).

Na extração utilizaram-se 50 g de matéria seca de folhas e inflorescências em 500 ml de água destilada e 200 gramas de pérolas de vidro durante uma hora e meia. Considerou-se como o início do processo o momento em que as primeiras gotas de óleo essencial desceram pelo condensador, mantendo-se a temperatura de $96^{\circ}\text{C} \pm 4$, medido por meio de termômetro infravermelho (Quik Temp 825-T2).

A amostra foi colocada no balão volumétrico com água destilada e pérolas de vidro, que tem a finalidade de controlar a ebulição. Em seguida, o balão foi adaptado ao extrator e levado à manta aquecedora. Quando a mistura de água e biomassa entra em ebulição, os vapores de água e os voláteis são conduzidos em direção ao condensador, onde é realizada a troca de calor, condensando os vapores com a água de refrigeração em operação denominada

de destilação. Nessa etapa, podem ser visualizadas, no tubo separador do extrator, as formas líquidas separadas do óleo essencial e da água. A água retorna para o balão através do tubo de retorno e o óleo essencial fica em suspensão, por ser mais leve que água, com densidade que varia de 0,873 a 0,943 g⁻¹ cm³. Este ciclo se repete continuamente até que a operação atinja o tempo definido, quando então o sistema é finalizado. O volume de óleo foi extraído da coluna graduada do separador do aparelho Clevenger. Posteriormente o óleo essencial foi armazenado em frascos de vidro âmbar de 5 mL, identificados e mantidos sob refrigeração.

3.13 Variáveis monitoradas

3.13.1 Estimativas da evapotranspiração de referência (ET₀)

Os dados diários meteorológicos (precipitação, radiação global, umidade relativa, temperatura do ar, velocidade do vento) foram obtidos na estação meteorológica automática (citado no item 3.6) e foram utilizados para a estimativa de ETo (mm dia⁻¹) pelo método de Penman-Monteith (Equação 3), preconizado pela FAO-56. Os valores diários de ETo foram calculados no software REF-ET (ALLEN, 2000).

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot s \cdot (R_n - G) + \frac{\gamma \cdot 900 \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{T_d + 273}}{s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (3)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Rn é a radiação líquida total diária (MJ m⁻² dia⁻¹); G é o fluxo total diário de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ, constante psicrométrica = 0,063 kPa °C; T_d a temperatura média diária (°C); U₂ a velocidade do vento (m s⁻¹) a 2 m de altura da superfície do solo; e_s a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a a pressão parcial de vapor (kPa); s a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹).

3.13.2 Estimativas da evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada pela contabilidade de entradas, saídas e armazenamento de água nos lisímetros de drenagem de acordo com a Equação 4.

$$ETc = P + I - D \quad (4)$$

Em que:

ETc – evapotranspiração da cultura no período, L planta⁻¹;

I – volume total de irrigação no período, L;

P – precipitação total no período, dentro do lisímetro, L; e

D – volume de drenagem no período, L.

Para cálculo da ETc, dividiu-se os 3 períodos de cultivo em 4 subperíodos, com número de dias em torno de 15, baseado em um ciclo de aproximadamente 60 dias. De acordo com Pereira et al. (2013) os lisímetros de drenagem apresentam limitação na obtenção de dados diários, sendo recomendados para períodos superiores a 10 dias.

A precipitação pluvial foi medida com um pluviômetro instalado ao lado da área experimental, sendo o volume precipitado dentro dos lisímetros determinado a partir da lâmina de chuva medida e da área de interceptação deste. A água drenada foi coletada no poço de observação do lisímetro de drenagem (Figura 6), sendo o volume drenado quantificado com provetas graduadas em mL.

3.13.3 Estimativas do coeficiente da cultura (Kc)

As estimativas dos valores dos coeficientes da cultura (Kc) do *Ocimum basilicum* L. foram realizadas por meio da relação entre os valores diários da evapotranspiração da cultura (ETc) medida no lisímetro e a evapotranspiração de referência (ETo) estimada por Penman-Monteith FAO, de modo que foram obtidos os Kc's (equação 5) para os diferentes estágios de desenvolvimento da cultura.

$$Kc = \frac{ETc}{ET_o} \quad (5)$$

Em que:

Kc – coeficiente da cultura;

ETc – evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹; e

ETo – evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹.

3.13.4 Somatório de graus dias

Foi utilizado o somatório de graus dias (GD) para caracterização das exigências térmicas do manjeriço, conforme as equações 6, 7 e 8 propostas por Villa Nova et al. (1972), para os três períodos e quatro subperíodos (fases fenológicas da cultura), que são a fase I – dividida em duas: I_{inicial} – fase inicial ou de estabelecimento da cultura e I_{pós-colheita} – fase

estabelecimento da cultura após a colheita (poda aérea); II – fase de crescimento vegetativo acelerado, fase III – intermediária de crescimento e IV – fase de início do florescimento até a colheita. A fase I_{pós-colheita} foi obtida no 2º e 3º períodos em virtude das colheitas.

$$GD = (T_m - T_b) + \frac{(T_M - T_m)}{2}, \text{ para } T_m > T_b ; \quad (6)$$

$$GD = (T_M - T_b)^2 + 2(T_M - T_m), \text{ para } T_m < T_b \text{ e} \quad (7)$$

$$GD = 0, \text{ para } T_b < T_M \quad (8)$$

Em que:

GD – graus-dia;

T_M – temperatura máxima diária (°C);

T_m – temperatura mínima diária (°C); e

T_b – temperatura basal de 10,9 °C, proposto por Chang (2004).

3.13.5 Análise da solução do solo

A fim de verificar o efeito dos níveis de adubação potássica no solo, buscou-se, monitorar a concentração de potássio no solo por meio de extratores de cápsulas porosas, bem como para verificar se não houve deslocamento horizontal dos nutrientes ao longo do canteiro.

Os extratores de cápsulas porosas foram instalados a uma distância de 0,10 m em relação à planta e em uma profundidade de 0,15 e 0,45 m em relação à superfície do solo, ao longo do bloco 2 da parcela L1 (100% CAD) e nas subparcelas D1, D2, D3 e D4, totalizando 22 extratores (Figura 17c).

Figura 17 – Aplicação do vácuo no extrator de cápsulas porosas, com a bomba de vácuo manual (a), aferição da tensão, utilizando um tensímetro (b) e disposição dos extratores de cápsulas porosas (c)

A aplicação do vácuo para retirada das amostras foi realizada com uma bomba de vácuo manual, a qual possibilitou uma aplicação de 60 kPa. O vácuo foi aplicado 5 dias após adubação da 1ª e 2ª colheita; e a coleta da solução foi realizada 24 horas após a aplicação do vácuo (Figura 17ab). As amostras de solução, foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados e transportadas para o Laboratório de Solos e Qualidade de Água do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, onde foram efetuadas análises de condutividade elétrica (CE), concentração de nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+).

3.14 Variáveis avaliadas

3.14.1 Variáveis de produção de mudas

Foram realizados testes preliminares, com finalidade de verificar o efeito dos tipos de substratos e diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB), nas mudas de *Ocimum basilicum* L.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente aleatorizado em esquema fatorial 3 x 5, com cinco repetições, totalizando 75 unidades experimentais. A unidade experimental foi constituída de tubetes com volume de 120 cm³. Os tratamentos

corresponderam à combinação de três substratos (areia lavada, fibra de coco e substrato Plantmax[®]) com cinco níveis de ácido indolbutírico (AIB), cujas concentrações na solução foram de 0, 500, 1000, 2000 e 4000 mg L⁻¹.

As estacas selecionadas foram cortadas em bisel e acondicionadas em um recipiente contendo água destilada. As bases de cada estaca foram imersas por 10 segundos em solução aquosa de AIB previamente dissolvida em hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ e água destilada a fim de se obter as concentrações de 0, 500, 1000, 2000 e 4000 mg L⁻¹. Após imersão, as estacas foram inseridas em tubetes preenchidos com os devidos substratos. Os tubetes foram previamente desinfetados com solução de água sanitária a 5%. A irrigação das estacas procedeu-se diariamente, com a frequência de duas vezes por dia.

A avaliação foi realizada aos 15 dias após a estaquia (DAE). As plantas selecionadas foram retiradas dos tubetes e seccionadas na região do colo, separando a parte radicular da parte aérea. A parte radicular foi lavada sobre peneira com malha de 2 mm, visando à retirada do substrato. Em seguida, as raízes foram colocadas em bandejas de plástico durante 2 horas para remoção do excesso de água. As partes aéreas e radiculares das plantas foram acondicionadas separadamente em embalagens de papel, identificadas e secas em estufa de ventilação forçada a 65°C até atingirem o peso seco constante que foi medido posteriormente em balança digital com precisão de $\pm 0,0001$ g.

As variáveis analisadas foram as seguintes: porcentagem de estacas enraizadas (%ENR); comprimento do sistema radicular (CRAIZ); diâmetro do caule (DIAM); matéria seca da parte aérea (MSA) e da raiz (MSRAIZ) e índice de qualidade de Dickson (IQD), determinado por meio da Equação 9.

$$IQD = \frac{MST}{RAD + RMS} \quad (9)$$

Em que:

IQD – índice de qualidade de Dickson;

MST – massa seca total, g;

RAD – razão altura-diâmetro, cm mm⁻¹; e

RMS – razão de massa seca da parte aérea pela raiz, adimensional.

Inicialmente, os dados experimentais foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ($P < 0,01$) e de Levene ($P < 0,01$), para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais, respectivamente. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (individual). Observada a ocorrência de diferença significativa da interação entre substrato e AIB,

procedeu-se a análise de estabilidade (conjunta), por meio do modelo de interação multiplicativa, conhecida como modelo AMMI (Additive main effects and multiplicative interaction), Equação 10.

$$Y_{ij} = \mu + S_i + A_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + e_{(il)j} \quad (10)$$

Em que: Y_{ij} é a resposta média do substrato i ($i=1, 2$ e 3 , S substratos) na dose de AIB j ($j=1, 2, 3, 4$ e 5 , A , AIB); μ é a média geral dos ensaios; S_i é o efeito fixo do substrato i ; A_j é o efeito fixo do AIB j ; λ_k é o k -ésimo singular (escalar) da matriz de interações original ($S \times A$); γ_{ik} é o elemento correspondente ao i -ésimo substrato no k -ésimo vetor singular coluna da matriz $S \times A$; α_{jk} é o elemento correspondente ao j -ésimo ambiente no k -ésimo vetor singular linha da matriz $S \times A$; ρ_{ij} é o ruído associado ao termo $(S \times A)_{ij}$ da interação clássica do substrato com o AIB j ; $e_{(il)j}$ é o erro experimental médio.

Os resultados foram representados na forma gráfica de um biplot (GABRIEL, 1971), que são representações das coordenadas dos substratos e dos AIB nos eixos principais de interação (IPAC's). O nível de significância de IPAC foi testado com o teste F de acordo com Gollob (1968).

As variáveis que não foram observados diferenças significativa do IPAC, procedeu-se a análise de variância com os resultados comparados pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,05$). As análises foram realizadas com o auxílio do software R, versão 2.2.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), utilizou-se a macro AMMI (livre) conforme descrito por Lavoranti et al. (2004).

3.14.2 Variáveis de crescimentos

3.14.2.1 Altura da planta

A altura de planta foi medida em intervalos de 15 dias a partir do transplântio, com o auxílio de uma trena graduada em cm, a partir do nível do solo até o ápice da planta, sendo avaliadas três plantas escolhidas aleatoriamente na parcela útil.

3.14.2.2 Diâmetro de Caule

Foi medido o diâmetro do caule próximo ao colo da planta na parcela, com o auxílio de um paquímetro digital, no intervalo de 15 dias a partir do transplântio. Essa análise foi realizada em duas plantas úteis por parcela.

3.14.2.3 Fatores de forma para estimativas de área foliar

Para o modelo de construção, 600 folhas saudáveis foram colhidas, sendo utilizadas 100 folhas por plantas e três plantas por tratamento irrigado (L1D1) e sequeiro (L4D1). As folhas foram aleatoriamente amostradas a partir de diferentes partes das plantas. Essas plantas foram retiradas da área experimental e, em laboratório, contabilizou-se o número total de folhas (NF), o comprimento (C, em cm) e a largura (L, em cm) das folhas, e calculado o produto destas duas variáveis ($A_{\text{retângulo}} = C \cdot L$, em cm^2), área da elipse ($A_{\text{elipse}} = C \cdot L \cdot (\pi/4)$, em cm^2), área foliar (Y_i) e o índice de área foliar (IAF). Correlacionou-se os modelos de regressão linear e não-linear entre a Y_i e C, L, $A_{\text{retângulo}}$ e A_{elipse} selecionando-se os modelo de melhor ajuste.

Os critérios estatísticos para seleção de modelos foram baseados no teste de F, os coeficientes de correlação de Person (r) e de determinação ajustado (R_a^2), a raiz do quadrado médio do erro (RQME), menor dispersão dos pontos em relação à área foliar real (SQR), índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho de Camargo - Sentelhas (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). Os modelos selecionados foram submetidos à análise formal (gráficos) dos resíduos e ao teste Goldfeld-Quandt para testar se os resíduos são homocedásticos e também ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Não atendidos os pressupostos básicos de normalidade e homoscedasticidade, submeteu-se os dados aos testes de Bonferroni de outliers e, posteriormente, utilizou-se o teste de Box-Cox para encontrar a transformação mais adequada para alcançar uma distribuição de probabilidade aproximadamente normal, como sugerido por Kandiannan et al. (2009) e Antunes et al. (2008).

A área foliar estimada e o valor real foram comparados por procedimentos gráficos descritos com limite de concordância proposto por Bland-Altman (BLAND; ALTMAN, 1986). As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico R, versão 2.2.1 (R. DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

3.14.2.4 Índice de cobertura do solo

O índice de cobertura do solo pelas plantas (IC) foi calculado pela relação percentual entre a área coberta pela planta e a área dos lisímetros ou das áreas das parcelas nas bordaduras. O IC foi obtido por meio do software ImageJ (ImageJ 1.47 v – Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA) a partir de fotografias digitais do dossel da cultura no campo.

3.14.3 Variáveis de produção

3.14.3.1 Massa fresca e seca total

Foi determinada a massa fresca total (MFT) das folhas, inflorescências e caule, após a colheita das plantas úteis de cada parcela experimental. Após a secagem do material por cinco a sete dias em estufa (Marconi modelo MA-0,37) a 40°C, com renovação e circulação de ar determinou-se a matéria seca total (folhas + inflorescências), (MST). Utilizou-se uma balança analítica, marca Toledo, modelo ARD110 e com precisão de $\pm 0,01$ gramas.

3.14.3.2 Teor e rendimento de óleo essencial

Foram utilizados 50 gramas de massa seca de folhas e inflorescências de cada parcela para quantificação do teor de óleo essencial (AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION, 1968). A técnica utilizada foi a hidrodestilação em aparelho de Clevenger modificado, com duração de uma hora e trinta minutos.

3.14.4 Aspectos nutricionais

O estado nutricional das plantas foi determinado por meio de diagnose foliar, ao final da colheita da cultura, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). As amostras de folhas foram coletadas nas folhas superiores, a partir da segunda folha da ponta e, em seguida levadas ao laboratório Pira Solos, Piracicaba – SP para determinações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). Foram coletadas aleatoriamente 15 folhas por tratamento, ao longo do bloco 2 da parcela L1 (100% CAD) e nas subparcelas D1, D2, D3 e D4. A coleta foi realizada no momento da 1ª, 2ª e 3ª colheita do manjerição.

3.15 Análise dos Resultados

Inicialmente os dados experimentais, de cada colheita foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO-WILK, 1965) ($P>0,01$) e de Levene (BOX, 1953) ($P>0,01$) para verificação básica da normalidade e homocedasticidade residuais, seguido de transformações caso fossem necessárias. Utilizou-se a família de transformações Box-Cox (BOX; COX, 1964), para encontrar a transformação mais adequada visando alcançar o comportamento aproximadamente Gaussiano, utilizando-se as equações (11) e (12). Para valores de λ iguais a 1, os dados foram considerados normais, não sendo necessária a transformação. Foi empregado o software estatístico Action[®] versão 2.61, desenvolvido sob a plataforma R que é integrado ao Excel[®].

$$y^\lambda = \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}; \quad \text{para } \lambda \neq 0 \quad (11)$$

$$y^\lambda = \ln(y); \quad \text{para } \lambda = 0 \quad (12)$$

Os parâmetros avaliados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (Tabela 8), desdobrando as análises sempre que a interação foi significativa. Os fatores quantitativos foram analisados estatisticamente por meio de regressão polinomial (linear e quadrática), enquanto que os parâmetros qualitativos foram analisados por teste de múltiplo de média de Scott-Knott a 5 e 1% de probabilidade. Para as análises de dados, foi utilizada a linguagem e ambiente R, versão 2.15.1. (R. DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e o software ASSISTAT, versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Tabela 8 – Esquema da análise de variância

Fonte de variação	Graus de liberdade
Blocos	2
Lâminas (L)	3
Resíduo a	6
Parcelas	11
Doses (D)	3
Interação L x D	9
Resíduo b	24
TOTAL	47

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis monitoradas

Os dados climáticos obtidos na estação meteorológica são apresentados na Figura 18. Esses dados são importantes para a análise das variáveis, pois as respostas morfofisiológicas das culturas dependem dessas condições (LIMA, 2003).

Figura 18 – Temperaturas máximas, mínimas e basal do ar e soma térmica registradas (A); umidades relativa máxima, mínima e média (B); e radiação solar global (Rs) e evapotranspiração de referência (ETo) (C) no período experimental para 1º, 2º e 3º períodos de colheitas com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente, ao longo do ano de 2013. Linha contínua representa a média móvel de 2 dias para facilitar a visualização

As oscilações de temperatura máxima e mínima são apresentadas na Figura 18A, assim como a temperatura basal da cultura do manjerição ($10,9^{\circ}\text{C}$, conforme CHANG, 2004), e as somas térmicas para cada período do experimento. As máximas temperaturas observadas em cada período foram de $35,7$; $34,2$ e $37,8^{\circ}\text{C}$; e as temperaturas mínimas de $7,3$; $6,6$ e $5,7^{\circ}\text{C}$ para o 1º, 2º e 3º períodos, respectivamente. Segundo Almeida (2006), as temperaturas ótimas de crescimento situam-se entre 15 e 25°C .

May et al. (2008b) relataram aumento da temperatura média do ar (entre 20 e 27°C) durante o cultivo de manjerição, porém, não a relacionaram à redução na produção da parte aérea, e sim à diminuição do crescimento vegetativo e da senescência das plantas, devido aos cortes sucessivos e intensos. Tais autores também relataram que ainda, que quando o objetivo é atingir a máxima produtividade de óleo essencial por unidade de área, a renovação da cultura pode ser necessária, passando a se caracterizar como cultivo anual, deixando de ser perene.

Esta opção também foi considerada por Corrêa Junior et al. (1994) para o manjerição. Observa-se que em alguns períodos a temperatura mínima do ar esteve abaixo da temperatura basal, necessitando utilizar o fator de correção proposto por Villa Nova et al. (1972), (equação 7), pois nessas condições a planta se desenvolve em taxas reduzidas. As somas térmicas nos períodos I, II e III foram de $744,34$; $553,46$ e $634,78^{\circ}\text{C dia}$, respectivamente, totalizando $1.932,58^{\circ}\text{C dia}$.

Os valores máximos de umidade relativa do ar observados nos três períodos de colheita foram de 100% e as mínimas foram de $33,2\%$, $33,5\%$ e $24,5\%$ para a 1ª, 2ª e 3ª colheita, respectivamente (Figura 18B). Na Figura 18C demonstra-se a variação da radiação global (R_s) e da evapotranspiração de referência (ET_o). Os maiores valores foram observados nos meses de setembro e outubro de 2013, período que equivale à terceira colheita. O maior valor de radiação solar global foi observado aos 182 DAT (06/10/2013) com $30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e o menor valor foi de $1,64 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ aos 51 DAT (28/05/2013), 1ª colheita. Apresentando uma amplitude máxima de radiação de $28,36 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. A somatória da radiação solar foi de $1081,58$; $802,44$ e $1359,16 \text{ MJ m}^{-2}$ para o 1º, 2º e 3º período da colheita, respectivamente.

No que diz respeito à evapotranspiração de referência, obteve-se valor médio de $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ e máximo de $6,0 \text{ mm d}^{-1}$. Visualmente, notam-se maiores valores de ET_o no terceiro período, o que provavelmente está relacionado à maior demanda atmosférica para tal época do ano. A ET_o acumulada foi de $228,1$; $182,9$ e $251,9 \text{ mm}$ para o 1º, 2º e 3º período, respectivamente.

Os menores valores de estimativas de ETo ocorreram nos períodos de menor radiação solar com valor de $0,6 \text{ mm d}^{-1}$ com Rs de $2,75 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (06/10/2013), temperatura máxima de $18,5^\circ\text{C}$ e mínima $14,1^\circ\text{C}$. Os valores máximos de ETo foram de 6 mm d^{-1} aos 157, 159 e 160 DAT com Rs em torno de $26,30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e temperatura máxima de $33,9^\circ\text{C}$, (Figura 18C) denotando a grande influência da radiação solar na estimativa da evapotranspiração de referência (CONCEIÇÃO; MARIN, 2004).

Verificou-se a ocorrência de 374,6 mm de precipitação, distribuídos irregularmente durante o ciclo de cultivo do manjeriço, concentrados dos 43 aos 113 DAT. Os maiores eventos de precipitação pluviométrica registrados foram de 43, 24,3 e 25,7 mm para os períodos I (aos 51 DAT), II (aos 70 DAT) e III (aos 179 DAT), respectivamente. A velocidade do vento permaneceu em torno de $0,94 \text{ m s}^{-1}$ ao longo do período de cultivo (Figura 19a). A velocidade do vento (Figura 19b). elevada e temperatura do ar reduzida, aliadas aos baixos valores de umidade relativa, exercem influência direta nas estruturas histológicas de estocagem de óleo na superfície da folha do manjeriço (VALMORBIDA et al., 2006).

Figura 19a – Perfil de umidade de água no solo para os quatros tratamentos e precipitação pluvial no período experimental ao longo do ano de 2013. Linha contínua representa a média móvel de 2 dias para facilitar a visualização

Figura 19b – Velocidade do vento no período experimental para 1º, 2º e 3º colheitas com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente ao longo do ano de 2013. Linha contínua representa a média móvel de 2 dias para facilitar a visualização

Na Tabela 9 são apresentados o início, o término e o total de dias dos cortes do experimento. Destaca-se que o número de dias do período experimental para cada ciclo variou, o que resultou em tempos de colheita diferentes. O segundo período corresponde à época de menor temperatura, o qual apresentou um ciclo de desenvolvimento curto de 56 dias.

Silva (2000) verificou que plantas de manjeriço colhidas no inverno (abril-agosto) apresentaram menor período de desenvolvimento, 130 DAT, em comparação com plantas colhidas no verão (agosto-janeiro) aos 180 dias após o primeiro corte. Brito (2009) estudou o desenvolvimento de *Ocimum basilicum* L., cv. “Maria Bonita” e verificou o início da floração, em média, aos 65 dias. Segundo este mesmo autor, esta floração precoce pode ser atribuída às temperaturas mais amenas, como as que foram registradas em Vitória da Conquista – BA.

De maneira geral o manjeriço apresentou boa adaptação ao cultivo estabelecido, além de apresentar características como uniformidade, rusticidade e ausência de falhas no estande. Além disso, não apresentou tendência ao tombamento ao longo do ciclo, ainda que sujeito aos efeitos dos ventos, chuva e o próprio peso das plantas.

Tabela 9 – Duração, início e término dos períodos de cortes do experimento

Colheitas	Tratamentos	Início	Término	Total de dias
1	L1 a L4	08/04/2013	15/06/2013	69
2	L1 a L4	16/06/2013	10/08/2013	56
	L4	11/08/2013	10/10/2013	61
3	L3	11/08/2013	14/10/2013	65
	L1 e L2	11/08/2013	17/10/2013	68

4.1.1 Estimativa do coeficiente da cultura (Kc)

Na Figura 20 são ilustrados os índices de cobertura (IC) em cada período do experimento, nos quais se verificou elevado grau de significância do ajuste de equações polinomiais aos dados obtidos do crescimento do manjeriço. Entretanto, evidenciaram-se tendências diferentes em cada período, sobremaneira do 1º período em relação aos demais. Tal fato associa-se à realização da colheita aos término dos períodos, aos 69 e 125 DAT, de modo que os períodos subsequentes iniciam-se com IC superior a 20%. Na fase I_{inicial} , (1-23 DAT) observou-se IC de 10,23%, corroborando as informações sugeridas por Allen et al. (1998), que adotaram IC de 10% como indicativo do final da fase I. Considerando-se o IC em relação à idade da cultura no campo, Souza et al. (2010) observaram comportamento semelhante com diferentes híbridos de milho cultivados na estação chuvosa, no sul de Minas Gerais. Tais autores objetivaram avaliar a eficiência da cobertura vegetal proporcionada pela cultura na proteção do solo, devido ao o efeito de interceptação da energia cinética das chuvas.

Figura 20 – Índice de cobertura do solo do *Ocimum basilicum* L. nos 1º, 2º e 3º períodos experimentais com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente

De acordo com o método da soma térmica, utilizada para representar o tempo do ciclo fenológico e predizer a data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento das plantas, cada um dos três períodos do experimento e seus subperíodos (ou fases) da cultura são apresentados na Tabela 10, com as suas respectivas durações antes de cada colheita (poda drástica na área).

Tabela 10 – Características fenológicas nos períodos de desenvolvimento do *Ocimum basilicum* L.

Período	Subperíodos	DAT	GD	UR _{mínimo}	U ₂	IC	ET _o	ET _c	K _c
			°C dia	(%)	m s ⁻¹	%	mm dia ⁻¹		
				Média					
1º	I _{inicial}	1-23	272,45	60,13	0,89	10,23	3,79	0,87	0,23
	II	24-39	178,18	48,74	0,83	20,50	4,04	1,09	0,27
	III	40-55	152,41	76,26	0,76	82,00	2,38	0,90	0,38
	IV	56-69	141,30	69,96	0,48	100,00	2,73	2,78	1,02
2º	I _{pós-colheita}	70-81	122,45	76,96	0,64	36,66	2,37	0,88	0,37
	II	82-96	156,45	66,09	0,69	52,60	3,19	1,66	0,52
	III	97-113	145,88	65,94	0,89	92,00	2,88	2,25	0,78
	IV	114-125	128,68	38,48	0,87	100,00	4,80	3,94	0,82
3º	I _{pós-colheita}	126-137	96,46	52,54	1,37	25,00	3,54	1,27	0,36
	II	138-150	127,87	44,92	1,10	52,00	4,07	2,44	0,60
	III	151-166	191,00	45,64	1,06	96,00	4,82	4,82	1,00
	IV	167-186	224,45	59,29	1,75	100,00	3,97	4,56	1,15

I_{inicial} – fase inicial; I_{pós-colheita} – fase estabelecimento da cultura após a colheita (poda aérea); II – fase de crescimento vegetativo acelerado; III – fase intermediária de crescimento e IV – fase de início do florescimento até a colheita; GD – graus dias acumulado; DAT – dias após transplantio; UR_{mínimo} – Umidade relativa mínima; U₂ – velocidade do vento a 2 m de altura; ET_o – evapotranspiração de referência; ET_c – evapotranspiração da cultura; IC – Índice de cobertura

A característica da área foliar elevada no momento da colheita é inerente à cultura do manjerição, o que pode ser comprovado pelos índices de cobertura do solo iguais a 100% no final de cada período, quando as colheitas foram realizadas. Em culturas perenes, nas quais há necessidade de podas ou colheitas, há redução da superfície foliar transpirante, o que implica na redução da evapotranspiração da cultura (ET_c). Este efeito é bem evidente nas medidas lisimétricas do consumo de água do manjerição, na transição de dois períodos subsequentes, conforme se pode ver na Tabela 10. Houve drástica redução no consumo de água imediatamente após a colheita (poda na área). Com a recuperação do crescimento das plantas, a ET_c retorna aos níveis anteriores.

As demandas evapotranspirométricas de referência e da cultura (ET_o e ET_c) foram menores no cultivo do 1º período, possivelmente devido à época do ano. Observou-se o consumo hídrico da cultura de 71 mm, 103 mm e 187 mm para os intervalos de 69, 56 e 61 dias, correspondentes ao 1º, 2º e 3º períodos de cultivo, respectivamente. Isto equivale a valores de ET_c média de 1,03; 1,84 e 3,07 mm d⁻¹, referentes aos três períodos. Na Tabela 10 é apresentada a distinção de cada fase dentro desses períodos. Pravuschi et al. (2010) aplicaram 389,5; 334 e 462 mm de água de irrigação no manjerição na primeira, segunda e terceira colheitas, respectivamente, quando se repunha 100% da evapotranspiração da cultura baseada no método do Tanque Classe A, em Presidente Prudente – SP. Vale ressaltar que tais autores mantiveram a cultura por 40 dias em viveiro de mudas, e as colheitas foram realizadas mais tardiamente em relação ao presente trabalho (90, 150 e 210 DAT).

A necessidade hídrica da cultura do manjeriço foi cerca de 4,2 e 1,21 vezes menor que a encontrada por Pravuschi et al. (2010) no primeiro e segundo períodos de cultivo, e na colheita final foi cerca de 1,4 vezes maior. No entanto, é importante ressaltar a grande dependência existente entre o termo evapotranspirométrico e as condições climáticas regionais (SANTOS et al., 2009), assim como os possíveis efeitos das diferenças nos métodos de obtenção da ET_c e da época do ano em que foram conduzidos os experimentos, justificando assim a diferença nos valores obtidos.

Normalmente, os valores de K_c aumentam, atingem um máximo e depois diminuem em função do ciclo da planta (ALLEN et al. 1998). Na fase inicial, que compreende o pegamento e o crescimento inicial das mudas para o primeiro período ($I_{inicial}$), e na rebrota para o segundo e o terceiro período ($I_{pós-colheita}$), a área de solo coberta pela planta era muito pequena, o que resultou no reduzido consumo hídrico e baixos valores de K_c . Nas fases II, III e IV, a demanda hídrica da cultura aumentou e o K_c atingiu valores máximos na colheita. Isto está de acordo com o descrito por Pereira et al. (2013). De maneira geral, o K_c variou de 0,23, na fase inicial do primeiro período, a 1,15 no pleno florescimento do terceiro período (fase IV). O valor de K_c foi de aproximadamente 0,37 logo após o corte, aumentando para 0,82 no período de inverno e 1,15 no verão, pouco antes do corte seguinte. No terceiro período (126 aos 186 DAT), a temperatura média do ar e a ETo mantiveram-se em níveis elevados, o que pode ter acelerado o desenvolvimento vegetativo, justificando o maior valor de K_c (de 1,15). Em todo o ciclo de cultivo, o menor valor de ET_c verificado foi de 0,32 mm dia⁻¹ e o máximo foi de 6,04 mm dia⁻¹, registrados aos 51 e 184 DAT, respectivamente.

A tendência oscilatória dos valores de K_c ao longo do ciclo pode ser explicada pela relação entre os componentes da evapotranspiração (evaporação do solo + transpiração da planta) associados ao auto sombreamento da cultura. Na determinação do K_c para cultura do feijão por lisímetros de pesagem em Campos dos Goytacazes – RJ, Mendonça et al. (2007) atribuíram as maiores taxas evaporativas de plantas de feijoeiro nos períodos intermediário e final ao efeito buquê gerado pelas plantas de bordadura do lisímetro. Isto causou uma superestimativa do K_c em comparação aos valores ajustados, conforme a recomendação da FAO para a cultura.

A área foliar relaciona-se diretamente com o K_c . Tanto que algumas pesquisas, como a de Loose et al. (2014) com a cultura da berinjela em Santa Maria – RS, afirmam que o coeficiente de cultivo pode ser estimado com precisão aceitável a partir do índice de área

foliar da cultura (IAF). Após a poda, a superfície do solo ao redor das plantas de manjeriço permaneceu exposta, favorecendo o aumento da evaporação de água do solo, enquanto o componente de transpiração da planta supostamente foi muito baixa ou nulo nesse período. Isto confere com os baixos valores de K_c e está de acordo com o obtido por Mendonça et al. (2007) no período final do cultivo do feijão, quando ocorreu uma redução gradual da área foliar das plantas. Com o crescimento dos ramos e das plantas há o auto-sombreamento e o efeito é inverso, diminui a componente da evaporação da superfície do solo. Essa redução é compensada pela maior transpiração da planta e refletida pelos altos valores obtidos para o K_c . Carvalho et al. (2012) obtiveram maiores valores de K_c para o plantio convencional de berinjela em relação ao plantio direto, o que enfatiza o uso de cobertura morta no solo; no primeiro sistema de cultivo os valores de K_c foram 10%, 21% e 11% superiores ao segundo sistema para os períodos inicial, intermediário e final, respectivamente. Tais autores associaram os menores valores de K_c no plantio direto ao efeito da palha de capim utilizada como cobertura morta sobre a evaporação da superfície do solo. Desta forma, pressupõe-se que logo após a poda, o K_c depende basicamente da magnitude e frequência dos eventos de irrigação, do solo e da ETo , enquanto nos demais subperíodos o K_c é influenciado principalmente pelos fatores área foliar da planta, velocidade do vento e umidade relativa do ar (LYRA et al., 2012).

Foi ajustada uma curva de regressão quadrática que descreve a variação do K_c ao longo de cada período de cultivo. A seguir, foi ajustada uma regressão linear simples que descreve a variação do K_c no intervalo do subperíodo. Para isto, ajustou-se o K_c médio com a duração de cada subperíodo (Figura 21).

Figura 21 – Curvas de coeficientes da cultura do *Ocimum basilicum* L. nos períodos experimentais e nos diferentes subperíodos. Linhas tracejadas representam a regressão simples por subperíodo. Linhas contínuas representam regressão quadrática por período

Apesar das correlações significativas obtidas, a análise de fatores como a influência da cobertura vegetal se faz necessária para explicar a variabilidade do coeficiente de cultura ao longo do ciclo. Estima-se que o K_c é o fator que expressa o efeito biológico das plantas sobre seu consumo de água (PEREIRA; MOREIRA, 2009). O K_c depende de alguns fatores característicos da planta. Entre eles, incluem-se o tamanho da área foliar e sua distribuição espacial na área de cultivo, representada pelo o IC. Portanto, o K_c pode ser estimado em função do IC, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Coeficiente da cultura (K_c) em razão do Índice de cobertura (IC) do *Ocimum basilicum* L. no período experimental para 1º, 2º e 3º períodos de colheitas com intervalos de 69, 56 e 61 dias, respectivamente

O K_c do manjeriço apresentou relação com o IC, mostrando tendência de crescimento em função dos DAT ao longo dos três períodos experimentais. Entretanto, esta tendência foi diferente em cada período. O aumento do IC geralmente implica também em aumento da área foliar, ou seja, em aumento na superfície transpirante. O valor máximo de IC (100%) resulta em uma estimativa máxima de K_c , sendo que este momento coincide com as colheitas, realizadas ao final de cada período. Segundo May et al. (2008a), quando as plantas de manjeriço se sobrepõe é necessário realizar a colheita.

Os resultados experimentais indicam que a utilização do K_c em função do IC é viável para a estimativa do consumo hídrico. Williams e Ayars (2005) estudaram o consumo hídrico em lísimetros na cultura de videiras, sendo que foram estimados e comparados os valores de K_c e do IC ao longo de dois anos, resultando em um ajuste linear ($K_c = 0,017 IC\% - 0,008$, $R^2 = 0,95$). Pereira et al. (2013) agruparam os resultados de relações de K_c com IC em culturas sazonais de pequeno e médio porte, como algodoeiro, sorgo granífero, feijoeiro e tomateiro. Os autores encontraram um bom ajuste genérico para as culturas ($K_c = 0,22 + 0,011 IC\%$), com valor mínimo de 10% e máximo de 75% do IC. Portanto, os resultados dos modelos obtidos no presente trabalho (Figura 22) podem ser utilizados na estimativa do K_c em função

do IC, para a determinação do consumo hídrico do manjeriço.

A Figura 23A mostra a relação entre o IC e o somatório de graus-dia acumulado para o crescimento do manjeriço, nos diferentes períodos de cultivo. Aos dados obtidos, ajustaram-se regressões quadrática e linear, ambas significativas em 5% de probabilidade.

À medida que a planta se desenvolve, logo após a fase Inicial, fica visível o crescimento rápido do IC (Figura 23), sendo comum associar o desenvolvimento vegetal ao acúmulo diário de temperatura, substituindo o tempo cronológico pelo sistema de acúmulo térmico (GD). O fechamento completo da cobertura vegetal foi observado no período I, quando foram acumulados 690°C dia. Para os períodos II e III, analisados em conjunto, o fechamento ocorreu quando foram acumulados 548,47 °C dia. Por meio dos modelos de IC em função do GD (Figura 23A) e de Kc em função do IC (Figura 22) combinados, pode-se estimar o Kc do manjeriço indiretamente. Quando o ciclo da cultura coincide com a época recomendada para o seu cultivo, geralmente as temperaturas se enquadram na faixa de desenvolvimento com resposta linear à variação de temperatura, e, neste caso, a soma térmica funciona satisfatoriamente (STRECK et al., 2005).

Observa-se que a tendência da curva ajustada de Kc em função do somatório de graus-dia é semelhante à verificada na curva de cobertura vegetal, porém com melhores ajustes de Kc do que de IC (Figura 23B). Este fato demonstra que o coeficiente de cultura pode ser melhor relacionado a índices térmicos, como o acúmulo de graus-dia, do que aos parâmetros de crescimento da cultura, como a cobertura vegetal. Isto está de acordo com o obtido por Medeiros et al. (2000), que obtiveram relações altamente significativas entre Kcb e graus-dia acumulados de feijão carioca, cultivado sobre lisímetro de nível freático constante. Ressalta-se que o Kcb refere-se ao Kc obtido quando a evaporação do solo é mínima, mas a umidade do solo na zona radicular é adequada, não limitando nem o crescimento nem a transpiração da planta. Os mesmos autores apresentam ainda as correlações entre Kc e graus-dia para a condição de cultivo em campo irrigado por aspersão convencional, que também são boas. Entretanto, essas últimas não são tão boas quanto a primeira, que foi obtida sem molhamento da superfície do solo e sem deficiência hídrica, justificando assim os melhores ajustes. Vale lembrar que no presente trabalho buscou-se manter o solo em níveis próximos à capacidade de campo e a evaporação da superfície do solo foi reduzida pelo efeito da cobertura morta da palha de cana distribuída na área. Além disso, Medeiros et al. (2004) avaliaram o intervalo de tempo de coleta de dados para estabelecimento das relações entre Kc e cobertura vegetal, e apresentaram boas correlações entre Kc e a porcentagem de cobertura do feijoeiro cultivado em lisímetros de nível freático constante, para o intervalo de cinco dias.

Figura 23 – Índice de cobertura (A) e coeficiente da cultura (B) em razão do somatório de graus-dia referentes ao crescimento da cultura do *Ocimum basilicum*

4.1.2 Análise da solução do solo

Na Tabela 11 apresenta-se o resumo da análise da regressão para a condutividade elétrica (CE) da solução do solo nas profundidades de 0,15 e 0,45 m em função de doses de potássio em dois períodos de cultivo do manjeriço, cinco dias após adubação da 1ª e 2ª colheita, correspondendo aos inícios do 2º e 3º períodos. Verificou-se que houve efeito significativo das doses de potássio sobre a CE nas duas profundidades e coletas realizadas ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 11 – Resumo da análise de variância de regressão referente à condutividade elétrica ($\mu S\ cm^{-1}$) da solução do solo de duas profundidades em dois períodos de cultivos em função de doses de potássio

Fator de variação	G.L.	Condutividade elétrica			
		2º Período		3º Período	
		0,15 m	0,45 m	0,15 m	0,45 m
		Quadrado médio			
Regressão linear	1	77572,9 ^{**}	2339,5 ^{ns}	3493,7 ^{**}	13715,2 ^{**}
Regressão quadrática	1	20385,8 ^{**}	2902,2 ^{ns}	2022,8 ^{**}	728,17 ^{ns}
Regressão cúbica	1	4130,1 ^{**}	14756,7 ^{**}	2637,7 ^{**}	1,25 ^{ns}
Resíduo	8	17,68	1263,6	122,9	218,09
Média geral (µS cm ⁻¹)		393,38	264,36	355,72	415,06
Coeficiente de variância (%)		1.07	13.45	3.12	3.56

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$)

G.L. – Graus de liberdade

Na Figura 24 apresenta-se o efeito das doses de potássio sobre a CE no 2º período e 3º período, de forma que foram ajustadas as regressões para as profundidades de 0,15 e 0,45 m. A CE na solução do solo foi ajustada por regressões lineares, quadráticas e cúbicas. Na

avaliação realizada no 2º período, verifica-se que a camada de 0,15 m apresenta maiores valores de CE na solução do solo em relação à camada de 0,45 m, o que evidencia o aproveitamento dos nutrientes presentes na solução do solo pela cultura do manjeriço. A mesma tendência foi constatada por Francisco (2014), que verificou que a CE na solução do solo com aplicações de vinhaça apresentou maiores valores nas camadas superficiais. Os maiores valores de CE estimados para as profundidades de 0,15 m e 0,45 m foram $468 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$) e $409 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($K = 153,3 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente. Os valores mínimos foram de $236 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($K = 0 \text{ kg ha}^{-1}$) e $215,61 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($K = 21,12 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente para as profundidades de 0,15 e 0,45 m.

Na avaliação realizada no 3º período, houve efeito significativo das doses de potássio aplicadas sobre a CE na solução do solo. As equações ajustadas seguiram modelo linear para profundidade 0,15 m e cúbica para 0,45 m, sendo os maiores valores de CE estimados para profundidade 0,45 m, indicando que houve lixiviação de íons, provocada pela alta precipitação pluviométrica no 2º período (Tabela 19). Os maiores valores de CE estimados para as profundidades de 0,15 m e 0,45 m foram $422 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$) e $468 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente.

Nas avaliações realizadas foi verificado um acréscimo da CE com o aumento das doses de K aplicadas. Esse aumento da CE não ocasionou problemas no desenvolvimento do manjeriço na fase inicial até a fase de inflorescência (colheita). OUYANG et al. (1998) aplicaram cloreto de potássio (0 e $0,42 \text{ g kg}^{-1}$) e ureia (0 e 50 g kg^{-1}) em três solos, com argila variando de 252 a 721 g kg^{-1} , e encontraram aumentos na CE de 870 a $920 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 2 cm do local de aplicação do fertilizante dependendo do tipo de solo. Eles também verificaram que a germinação e o crescimento de plântulas de milho diminuíram com a aplicação de KCl, particularmente com as plantas distantes 2 cm do fertilizante, onde a CE do solo foi superior a $500 \mu\text{S cm}^{-1}$. De acordo com Marschner (1995), a alta salinidade de alguns fertilizantes, principalmente o cloreto de potássio, compromete o crescimento e distribuição das raízes, assim como a absorção de água e nutrientes, porque diminui o potencial osmótico próximo à rizosfera, dificultando o deslocamento dos íons até as raízes. Porém no presente trabalho, a aplicação de até 230 kg ha^{-1} de cloreto de potássio em sulcos a $0,25 \text{ m}$ da planta não teve efeito negativo sob o desenvolvimento do manjeriço. Conforme Ezz el-din et al. (2010) a quantidade de uma dose única de potássio é de grande importância, devido ao efeito antagônico deste nutriente na absorção de outros cátions como sódio, cálcio, e magnésio em particular pelas plantas.

Figura 24 – Condutividade elétrica da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em dois períodos de cultivo do *Ocimum basilicum* L. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Na Tabela 12 apresenta-se o resumo da análise de regressão para o potássio da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em função de doses de potássio em dois períodos de cultivos do manjeriçao, cinco dias após as adubações da 1ª e 2ª colheita, correspondendo aos inícios do 2º e 3º período. Observou-se que houve efeito significativo das doses de potássio sobre a concentração do potássio presente na solução do solo em todas as coletas realizadas, ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância de regressão referente ao potássio (mg L^{-1}) da solução do solo de duas profundidades em dois períodos de cultivos em função de doses de potássio

Fator de variação	G.L.	Potássio			
		2º Período		3º Período	
		0,15 m	0,45 m	0,15 m	0,45 m
		Quadrado médio			
Regressão linear	1	174,86 ^{**}	1110,6 ^{**}	477,71 ^{**}	206,95 ^{**}
Regressão quadrática	1	190,96 ^{**}	6,22 ^{ns}	19,50 ^{ns}	188,72 ^{**}
Regressão cúbica	1	15,74 ^{ns}	34,79 ^{ns}	54,34 [*]	80,96 ^{**}
Resíduo	8	3,21	13,73	6,73	3,12
Média gera (mg L ⁻¹)		23,72	26,85	17,80	87,50
Coefficiente de variância (%)		23,71	13,80	13,24	7,37

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$)

G.L. – Graus de liberdade

O efeito das doses de potássio sobre a concentração de potássio na solução do solo nos 2º e 3º períodos de cultivo e para duas profundidades é apresentado na Figura 25. Na avaliação realizada no 2º período, verificou-se que o modelo polinomial que melhor se ajustou foi o quadrático para a profundidade 0,15 m, e o linear para a profundidade 0,45 m. Em ambos os casos, notou-se tendência de aumento do potássio na solução do solo conforme o aumento das doses de potássio. A mesma tendência foi constatada por Ernani et al. (2007), que estudaram a mobilidade de K em Nitossolo de acordo com o método de aplicação e a dose de cloreto de potássio. Os maiores valores de potássio estimados para as profundidades de 0,15 m e 0,45 m foram 33 mg L^{-1} ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$) e $41,24 \text{ mg L}^{-1}$ ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente. Os valores mínimos foram de $22,18 \text{ mg L}^{-1}$ ($K = 0 \text{ kg ha}^{-1}$) e $15,68 \text{ mg L}^{-1}$ ($K = 0 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente, para as profundidades de 0,15 e 0,45 m.

Conforme avaliação realizada no 3º período foram ajustadas equações cúbicas para as camadas de 0,15 e 0,45 m. Os valores máximos e mínimos para as camadas de 0,15 e 0,45 m foram 29 mg L^{-1} ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$) e $9,66 \text{ mg L}^{-1}$ ($K = 0 \text{ kg ha}^{-1}$), e 35 mg L^{-1} ($K = 200 \text{ kg ha}^{-1}$) e $18,45 \text{ mg L}^{-1}$ ($K = 110 \text{ kg ha}^{-1}$) respectivamente. Observou-se que a concentração de potássio determinada na solução do solo apresentou maiores valores na profundidade de 0,45 m, assim como para a CE, a alta concentração de potássio na profundidade de 0,45 m pode ser atribuída à maior precipitação pluviométrica durante o 2º período. Isto está de acordo com o constatado por Espinosa e Reis (1982), que verificaram elevadas concentrações de potássio a 1,05 m de profundidade após elevadas precipitações. Ernani et al. (2007) explicam que a mobilidade vertical descendente dos nutrientes acontece principalmente por fluxo de massa. No fluxo de massa os íons movem-se juntamente com a água (na mesma velocidade da água). Nesse processo, os fatores que mais influenciam positivamente a descida são as concentrações na solução do solo e o volume de água percolado.

Figura 25 – Potássio da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em dois períodos de cultivo do *Ocimum basilicum* L. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

O resumo da análise da regressão para o nitrato da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em função de doses de potássio em dois períodos de cultivos do manjeriço, aos cinco dias após adubação da 1ª e 2ª colheita, correspondendo aos inícios do 2º e 3º período, é apresentado na Tabela 13. Verificou-se que houve efeito significativo das doses de potássio sobre o nitrato em todas as coletas realizadas ao nível de probabilidade de 1%.

Tabela 13 – Resumo da análise de variância de regressão referente ao nitrato (mg L^{-1}) da solução do solo de duas profundidades em dois períodos de cultivos em função de doses de potássio

Fator de variação	G.L.	Nitrato			
		2º Período		3º Período	
		0,15 m	0,45 m	0,15 m	0,45 m
		Quadrado médio			
Regressão linear	1	2589,61 ^{**}	4821,56 ^{**}	1922,63 ^{**}	4513,74 ^{**}
Regressão quadrática	1	607,43 ^{ns}	719,07 ^{**}	3147,85 ^{**}	106,48 ^{**}
Regressão cúbica	1	47,74 ^{ns}	39,33 ^{ns}	3466,62 ^{**}	586,96 ^{**}
Resíduo	8	165,83	22,7	36,39	7,512
Média geral		66,19	35,44	53,94	42,70
Coeficiente de variância (%)		19,45	13,45	11,18	6,42

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$)

G.L. – Graus de liberdade

Os efeitos das doses de potássio sobre o nitrato na solução do solo nos 2º e 3º períodos de cultivo e em duas profundidades são apresentados na Figura 26. No 2º período, verificou-se que o modelo polinomial que melhor se ajustou foi o linear para a profundidade de 0,15 m, e quadrático para a profundidade de 0,45 m, sendo também possível observar maiores valores

de nitrato na solução do solo a 0,15 m em relação à camada 0,45 m. Os valores máximos e mínimos de nitrato estimados foram de 86 mg L⁻¹ (K = 200 kg ha⁻¹) e 50,71 mg L⁻¹ (K = 0 kg ha⁻¹) para profundidade 0,15 m. Na profundidade 0,45 m foram e 59,84 mg L⁻¹ (155 kg ha⁻¹) 0 mg L⁻¹ (K = 0 kg ha⁻¹).

No 3º período foram ajustadas as equações cúbicas para as camadas de 0,15 e 0,45 m. Os valores máximos e mínimos para as camadas de 0,15 e 0,45 m foram 87 mg L⁻¹ (K = 50 kg ha⁻¹) e 10 mg L⁻¹ (K = 155 kg ha⁻¹); 89 mg L⁻¹ (K = 160 kg ha⁻¹) e 22,79 mg L⁻¹ (K = 0 kg ha⁻¹).

De acordo com Xu et al. (2002) o potássio e o nitrogênio apresentam sinergismo, o teor de nitrogênio tem influência na ação do potássio. Dessa forma o aproveitamento do nitrogênio depende dos teores de potássio. Nos tratamentos, a absorção de nitrogênio foi favorecida pelas altas doses de potássio fornecido às plantas, diminuindo a mobilidade do nitrato na solução do solo.

De maneira geral nota-se que a aplicação de cloreto de potássio proporcionou um aumento das concentrações de nitrato. Entretanto o teor de nitrato obtido no presente estudo é baixo comparados aos encontrados por Francisco (2014) que obtiveram valores de até 100 mg L⁻¹ de nitrato, nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, em plantio de abacaxi em casa de vegetação. Esse comportamento pode estar associado ao fato do nitrogênio presente na ureia não ter permanecido solúvel na solução do solo.

Figura 26 – Nitrato da solução do solo nas profundidades 0,15 e 0,45 m em dois períodos de cultivo do *Ocimum basilicum* L. *Significativo (P<0,05) pelo teste t de Student (1908)

4.2 Variáveis avaliadas

4.2.1 Variáveis de produção de mudas

De acordo com a análise das propriedades físicas dos substratos (Tabela 14) a fibra de coco apresentou a maior porosidade (79%) e a menor retenção hídrica (23%). O desenvolvimento da muda depende das propriedades físicas, químicas e biológicas do substrato que a sustenta, o que interfere diretamente na qualidade (LOURENÇO et. al., 1999). Uma boa aeração do substrato é uma das principais características físicas para o crescimento de plantas em recipientes, de forma que não somente a água é necessária para as plantas, mas também o ar é importante para o crescimento radicular. Milner (2002) afirma que a porosidade total ideal para substratos está em torno de 70 a 85%. Ao utilizar um substrato com baixa densidade e alta porosidade há o favorecimento equilibrado entre a aeração e a retenção de umidade.

Tabela 14 – Densidade das partículas (pp), densidade global (pg), porosidade (p) retenção hídrica (RH) e espaço de aeração dos tubetes (EA) dos substratos

substratos	Pp	pg	p	RH	EA
	g cm ⁻³			%	
Sub1 - Plantmax®	0,95 ±0,04	0,35 ±0,02	63,37 ±1,33	41,30 ±0,93	22,07 ±1,22
Sub2 - Areia lavada	2,75 ±0,01	1,74 ±0,06	36,95 ±1,61	33,22 ±0,30	3,73 ±1,56
Sub3 - Fibra de coco	0,48 ±0,05	0,10 ±0,05	79,58 ±1,95	23,46 ±0,52	56,13 ±2,03

± erro padrão da média

Os resultados da análise de variância individual para cada variável apresentaram diferenças significativas para a fonte de variação de substrato e a interação entre substrato e ácido indolbutírico (AIB), exceto para o fator AIB, sendo não significativa. Assim o efeito dos substratos foi responsável pela maior parte da variação dos tratamentos, seguido pelo efeito da interação, Tabela 15.

A interação significativa indicou que os tipos de substratos sofreram influências diferenciadas das concentrações de AIB, ou seja, responderam de forma diferente aos estímulos de AIB. Assim para este efeito, a análise foi diagnosticada pelo teste F de Gollob, na Tabela 1.2, a análise da interação das componentes principais apresentou significância para $IPCA_1$ nas variáveis estudadas, com exceção da porcentagem de estacas enraizadas.

Tabela 15 – Análise variância individual e conjunta de Gollob (1968), incluindo o desdobramento da interação, entre os três substratos nas cinco concentrações de AIB para as estacas de *Ocimum basilicum* L.

Fator de variância	G.L.	%ENR	DIA	RAD	CRAIZ
		Quadrado médio do resíduo			
Substrato (S)	2	3840**	0,882372*	0,316446*	0,011063**
AIB (A)	4	240 ^{ns}	0,137096 ^{ns}	0,00434 ^{ns}	0,000076 ^{ns}
S x A	8	240**	0,157705**	0,009138*	0,000530**
IPCA1	5	0,20 ^{ns}	0,251060**	0,011893*	0,000734**
IPCA2	3	0,33 ^{ns}	0,072800 ^{ns}	0,00454 ^{ns}	0,000468 ^{ns}
Erro Médio	48	44,16	0,029022	0,080722	0,000129

%ENR – Porcentagem de estacas enraizadas; DIA – Diâmetro do caule; RAD – Razão diâmetro-altura; CRAIZ – Comprimento do sistema radicular; G.L. – Grau de liberdade; Q.M. – Quadrado médio do resíduo; AIB - Ácido indolbutírico; ** - significativo ao nível de probabilidade, $p < 0,01$; * - significativo ao nível de probabilidade, $p < 0,05$; ns - não significativo

Como não houve efeito significativo no $IPCA_1$ para a variável porcentagem de estacas enraizadas, procedeu-se ao teste de média de Scott-Knott (Tabela 16). Observa-se que não houve diferenças entre as concentrações de AIB nos substratos Plantmax® e areia lavada, porém o substrato fibra de coco diferiu nas concentrações de AIB, sendo que as concentrações de 500 e 1000 mg L⁻¹ apresentaram maiores porcentagens de estacas enraizadas (80%).

Tabela 16 – Porcentagem de estacas enraizadas na propagação vegetativa de *Ocimum basilicum* L., em função dos substratos e das concentrações de ácido indolbutírico

Substrato	Ácido indolbutírico – AIB					
	Média	AIB 1 0 mg L ⁻¹	AIB 2 500 mg L ⁻¹	AIB 3 1000 mg L ⁻¹	AIB 4 2000 mg L ⁻¹	AIB 5 4000 mg L ⁻¹
Sub 1 - Plantmax®	100 a	100 aA	100 aA	100 aA	100 aA	100 aA
Sub 2 - Areia lavada	100 a	100 aA	100 aA	100 aA	100 aA	100 aA
Sub 3 - Fibra de coco	52 b	40 bB	80 bA	80 bA	40 bB	20 bC

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e na linha maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 0,05 de probabilidade

No fator substrato, observa-se que as estacas de *Ocimum basilicum* L. que apresentaram maior porcentagem de enraizamento foram as dos substratos Plantmax® e areia lavada (100%); na fibra de coco obteve-se 52% de sobrevivência. Verificou-se durante a condução do trabalho, que a sustentação das estacas no substrato fibra de coco era deficiente. Desta forma, a alta porosidade da fibra de coco (Tabela 14) associada ao baixo valor de diâmetro das estacas (Figura 15), podem ter proporcionado um aumento na luminosidade na base das estacas e uma aeração excessiva, resultando no escurecimento de sua base, impossibilitando a diferenciação das células dos tecidos e impedindo o surgimento dos primórdios radiculares. Destaca-se a rápida queda das folhas das estacas sustentadas no substrato fibra de coco, possivelmente pela ativação de mecanismos de síntese de etileno (TAIZ; ZEIGER, 2009). A senescência das folhas pode ter suspenso a síntese de auxina

endógena, impedindo o enraizamento e provocando a morte das estacas.

De acordo com o exposto, os dados de variáveis DIAM, RAD e CRAIZ, foram avaliados pelo modelo AMMI e são apresentados pelo autor do trabalho em biplot, conforme Figura 27. No biplot a abscissa representa os efeitos principais (médias de substratos e de AIB) e a ordenada, o primeiro eixo de interação ($IPCA_1$). Assim, substratos com valores de $IPCA_1$ próximos a zero demonstram estabilidade ao AIB; combinações de substratos e AIB com escores IPCA de mesmo sinal têm interações específicas positivas; e combinações de sinais opostos apresentam interações específicas negativas.

No biplot dos tipos de substratos e doses de AIB que mais contribuíram para o efeito da interação situam-se distantes de zero, em relação ao eixo $IPCA_1$, de acordo com Lavoranti et al. (2004). Desta forma, a combinação que atendem esta situação foi a do substrato Plantmax[®] com a dose AIB4, indicando o cruzamento desses fatores como o de maior valor de CRAIZ e DIAM. Para a variável RAD a melhor interação foi a do substrato Plantmax e AIB5.

Quando se visa à produção de mudas em escala comercial, a emissão de raízes em maior número e seu comprimento são fatores preponderantes na constituição de um estande de plantas homogêneo, pois um sistema radicular bem formado favorece a absorção de nutrientes e água e permite um melhor desenvolvimento da muda no campo.

Ao analisar variáveis que definem a qualidade da muda formada, como o comprimento das raízes (COSTA et al., 2007), observa-se maior valor com o substrato Plantmax[®] (Figura 27). Essa superioridade na emissão de raízes pode ser explicada pelas propriedades físicas desse substrato quando comparado aos demais. Verificou-se que o Plantmax[®] apresentou elevada porosidade e espaço aéreo, possibilitando maior retenção hídrica e baixa densidade. Substratos com baixa densidade apresentam uma maior porcentagem de macroporos, com melhor escoamento do excesso de água, o que favorece o desenvolvimento radicular (MAUAD, 2004).

Verificou-se que a interação entre os fatores substrato e dose AIB foi significativa para as variáveis estudadas. Segundo Dutra et al. (2002), o tratamento de estacas com AIB influencia a qualidade e a quantidade de raízes produzidas. Hartmann et al. (2002) afirmaram que o AIB estimula as plantas a produzirem raízes maiores, mais fortes e mais fibrosas. Em experimento com estacas de pessegueiro, Cardoso et al. (2011) observaram diferenças nas concentrações do AIB (0, 1000 e 2000 mg L⁻¹) e nos substratos (areia, vermiculita e casca de arroz carbonizada), quanto à porcentagem de enraizamento das estacas.

As concentrações de AIB resultaram valores comprimento de raízes próximas (Figura 27). Ressalta-se que as estacas utilizadas neste estudo foram retiradas da região apical dos ramos principais com presença de folhas. Estacas apicais apresentam um nível elevado de auxina endógena bem como as folhas são sítios de síntese de auxinas, carboidratos e cofatores do enraizamento (TAIZ; ZEIGER, 2009). Desta forma, o aumento no comprimento de raízes, mesmo com uso de baixa ou nenhuma concentração de AIB, pode ter ocorrido devido à síntese de auxina endógena nas folhas das estacas, suficiente para estimular o enraizamento das estacas. Resultados semelhantes foram encontrados por Bordin et al. (2005), que utilizara estacas apicais de videira com folhas novas e verificaram que a utilização de auxina exógena (AIB) é dispensável, devido ao fato da auxina endógena produzida pelas folhas ser suficiente para iniciar o processo de enraizamento destas estacas.

Figura 27 – Biplot AMMI1 para dados de variáveis diâmetro do caule (DIAM), razão diâmetro-altura (RAD), comprimento do sistema radicular (CRAIZ), com três substratos (Sub) e cinco níveis de concentrações de ácido indolbutírico (AIB) no *Ocimum basilicum* L.

A análise de variância individual e conjunta dos dados de MSRAIZ, MSPA, RMS e IQD é apresentada na Tabela 16. Nesta tabela, percebe-se que os efeitos de substratos, AIB e interação substratos x AIB são significativos. Apresenta-se também o teste Gollob para determinar o número de componentes adequado para explicar a soma do quadrado médio do resíduo da interação (S x A). Portanto, nota-se que o $IPCA_1$ é o melhor modelo verificado pela significância dos dados.

A significância do $IPCA_1$ está relacionada com as magnitudes dos escores para substratos e para AIB, explicando assim, parte da variação da interação. Pelos valores encontrados, pode-se inferir que há padrões de interação diferenciados entre substratos e AIB. A resposta esperada para os substratos pode ser identificada pela variabilidade nas variáveis estudadas e pelos valores dos escores do primeiro componente principal um, ($IPCA_1$). Escores altos, sejam positivos ou negativos, indicam grandes interações e baixa estabilidade. Por outro lado, escores próximos a zero refletem baixas interações e consequentemente, alta estabilidade (BADU-APRAKU et al., 2011).

Nesse sentido, constatou-se que a amplitude de variação dos escores foi alta para a maioria das variáveis, atribuindo maiores valores aos substratos. Esses altos valores para substratos indicam que eles apresentaram níveis de produtividade bem distintos. O substrato de fibra de coco foi o que apresentou o menor IQD devido a sua alta porosidade, pelos motivos mencionados anteriormente.

Tabela 16 – Análise variância individual e conjunta de Gollob (1968), incluindo o desdobramento da interação, entre os três substratos nas cinco concentrações de AIB para as estacas de *Ocimum basilicum* L.

Fator de variância	G.L.	MSRAIZ	MSPA	RMS	IQD
		Quadrado médio do resíduo			
Substrato (S)	2	0,009912*	0,00267**	2,23975*	0,638628**
AIB (A)	4	0,001241 ^{ns}	0,000241 ^{ns}	0,356804 ^{ns}	0,023384*
S x A	8	0,001302**	0,000118**	0,441569**	0,006077**
$IPCA_1$	5	0,001932**	0,000173*	0,441469**	0,008839**
$IPCA_2$	3	0,000253 ^{ns}	0,000028 ^{ns}	0,218375 ^{ns}	0,001475 ^{ns}
Erro Médio	48	0,000240	0,000124	0,000254	0,001118

MSRAIZ – Matéria seca da raiz; MSPA – Matéria seca da parte aérea; RMS – Razão de massa seca da parte aérea pela raiz; IQD – índice de qualidade de Dickson; G.L. – Grau de liberdade; Q.M. – Quadrado médio do resíduo; AIB - Ácido indolbutírico; ** . – significativo ao nível de probabilidade, $p < 0,01$; * . – significativo ao nível de probabilidade, $p < 0,05$; ns . – não significativo

Os substratos que mais contribuíram para a interação S x A foram os substratos Plantmax® e fibra de coco, pois apresentaram as maiores magnitudes de escore no eixo de interação (Figura 28). Além disso, o substrato Plantmax® e a fibra de coco mostraram

interação específica aos AIB 4000, 500 e 0 mg L⁻¹.

Por sua vez, a combinação que menos contribuiu para a interação S x A (mais estáveis) foi o substrato areia lavada e a concentração AIB 3 (menores coordenadas para o eixo IPCA₁), porém estes apresentaram a relação entre a massa seca da parte aérea e do sistema radicular (RMS) acima da média. No entanto, apesar de a relação RMS de ser considerada um bom índice para avaliar a qualidade de mudas, não reflete em uniformidade no crescimento das mudas no campo, sendo muitas vezes preferido em relação a outros (GOMES, 2001)

De acordo com Gomes et al. (2002), o melhor parâmetro para se estimar o crescimento inicial das mudas no campo é o peso da matéria seca das raízes. Verifica-se na Figura 28 que a interação do substrato areia lavada com o AIB 2000 mg L⁻¹ resultou em maior massa seca de raiz. Mesmo a areia apresentando alta densidade, a água é facilmente drenada, fato este que favorece o crescimento e a distribuição do sistema de radicular, portanto a baixa porosidade deste substrato não prejudicou o crescimento radicular.

Resultados contrastantes com relação ao substrato foram encontrados por Paulus et al. (2011), que ao avaliarem o efeito de substratos, entre eles a areia, sobre o enraizamento de estacas de *Mentha arvensis* L., verificaram resultados superiores de massa seca de raiz quando utilizaram o substrato Plantmax[®].

Blank et al. (2007) obtiveram maior peso seco de mudas de manjerição quando utilizaram substrato a base de adubo mineral Hortosafra[®] e esterco de galinha. Segundo Amaro et al. (2013) o ganho em massa está diretamente relacionado com o vigor das estacas após o enraizamento. Assim, essa característica é função da maior capacidade de transformação dos tecidos e suprimento das reservas dos tecidos de armazenamento.

Costa et al. (2007) trabalharam com *Ocimum selloi* e constataram que, apesar do comprimento da estaca não ter afetado a porcentagem de sobrevivência nem o comprimento da raiz, as mudas obtidas de estacas com 20 cm apresentaram maior biomassa seca de folhas e raízes.

O índice de qualidade de Dickson, parâmetro indicador da qualidade das mudas, está apresentado na Figura 28. Nota-se valores de 0,7 para o substrato areia lavada e valores abaixo de 0,2 para o substrato fibra de coco. As mudas com IQD menores de 0,2 indicam má qualidade final para ir ao campo e quanto maior o valor de IQD, maior também a qualidade da muda (HUNT, 1990).

De acordo com Fonseca et al. (2002) o índice de qualidade de Dickson é um bom indicador de qualidade, pois leva em conta o equilíbrio da distribuição da biomassa,

mostrando um importante parâmetro empregado na avaliação da qualidade de mudas. Pode-se verificar na Figura 28 que os substratos Plantmax[®] e areia lavada apresentaram os maiores IQD.

A característica herbácea das estacas de *Ocimum basilicum* L. juntamente com a presença de folhas, promoveram a síntese de auxina endógena nas estacas, de forma que o tratamento das estacas com AIB torna-se uma prática dispensável. Com relação aos substratos, pode-se inferir que a boa aeração e a maior retenção de umidade por parte do substrato Plantmax[®], resultaram em melhor desenvolvimento radicial de *Ocimum basilicum* L. No caso da escolha do uso do substrato areia lavada, recomenda-se o tratamento com AIB na concentração de 2000 mg L⁻¹.

Figura 28 – Biplot AMMI1 para dados de matéria seca da raiz (MSRAIZ), matéria seca da parte aérea (MSPA), razão de massa seca da parte aérea pela raiz (RMS) e índice de qualidade de Dickson (IQD) com três substratos (Sub) e cinco níveis de concentrações de ácido indolbutírico (AIB) no *Ocimum basilicum* L.

4.2.2 Variáveis de crescimento

4.2.2.1 Altura da planta

Na Figura 29 é ilustrada a altura média da planta, para as lâminas de irrigação e doses de potássio, respectivamente, nos períodos de cultivos e nas medidas de avaliação. Constatou-se que no início as diferenças em altura são pequenas entre os tratamentos, principalmente para o fator lâminas de irrigação. As plantas apresentavam altura média no momento da colheita de 63,43, 58,94 e 73,44 cm nas 4^a, 8^a e 12^a medidas de avaliação, respectivamente; e verificou-se ainda um menor crescimento nos dois primeiros períodos avaliados.

Figura 29 – Altura média da planta de manjeriço (cm) em função das lâminas de irrigação (A) e das doses de potássio (B) nos três períodos de cultivo

Na Tabela 17 está apresentada a análise de variância realizada nos dados de altura média obtidos para todas as medidas de avaliação ao longo dos três períodos cultivados. Observou-se efeito significativo dos tratamentos em grande parte das medidas de avaliação. Nos três períodos houve efeito significativo da lâmina de irrigação sobre a expressão fenotípica de altura média. Esses resultados concordam com os encontrados por Ekren et al. (2012). Também houve efeito significativo das doses potássio sobre a expressão fenotípica de altura média. Esse resultado corroboram o que foi encontrado por Aboutalebi et al. (2013a) e Farias et al. (2011).

Até a segunda leitura para cada período (2^a, 6^a, 10^a medidas de avaliação) da imposição dos tratamentos não houve diferenças significativas em altura de planta. No entanto a partir da terceira e quarta leitura para cada período (3^a, 4^a, 8^a e 12^a), começaram ocorrer diferenças estatísticas, e em função das doses de potássio. Por sua vez, a interação lâmina x potássio não mostrou efeito significativo em nenhum dos períodos avaliados e em relação ao coeficiente de variação, observa-se que ao longo dos períodos houve uma diminuição da variabilidade e estes foram considerados baixos em comparação aos trabalhos de Luz et al. (2009), Farias (2011) e Matsumoto et al. (2013).

Tabela 17 – Resumo da análise de variância de regressão referente à altura da planta (cm) do manjeriço em 4 leituras no 1º, 2º e 3º período de cultivo e em função de laminas de irrigação e doses de potássio

Fator de variação	G.L.	1º Período			
		1ª	2ª	3ª	4ª
		Quadrado médio			
Blocos	2	344,30**	352,76*	0,19*	344,29**
Lâminas (L)	3	44,28 ^{ns}	24,08 ^{ns}	58,41*	132,43**
Linear	1	-	-	5,70 ^{ns}	186,15**
Quadrático	1	-	-	9,18 ^{ns}	8,71 ^{ns}
Resíduo a	6	10,70	10,34	10,83	10,70
Doses (D)	3	2,20 ^{ns}	1,74 ^{ns}	4,52 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Interação L x D	9	17,62 ^{ns}	11,60 ^{ns}	131,96 ^{ns}	18,54 ^{ns}
Resíduo b	24	9,26 ^{ns}	11,18	12,25	9,26
Média geral		37,20	44,70	53,56	63,43
Coeficiente de variância a (%)		8,79	7,19	6,14	5,16
Coeficiente de variância b (%)		8,18	7,48	6,53	4,80
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,53	0,06	0,09	0,83
Levene (p-valor)		0,94	0,53	0,56	0,97
Fator de variação	G.L.	2º Período			
		5ª	6ª	7ª	8ª
		Quadrado médio			
Blocos	2	97,63 ^{ns}	94,32 ^{ns}	82,11 ^{ns}	88,09 ^{ns}
Lâminas (L)	3	29,85 ^{ns}	46,05 ^{ns}	164,56 ^{ns}	227,30*
Linear	1	-	-	-	37,6 ^{ns}
Cúbica	1	-	-	-	584,89**
Resíduo a	6	31,83	21,91	36,92	23,88
Doses (D)	3	35,33*	27,14 ^{ns}	54,34 ^{ns}	25,08 ^{ns}
Interação L x D	9	9,96 ^{ns}	9,37 ^{ns}	39,16 ^{ns}	40,13 ^{ns}
Resíduo b	24	10,28	15,49	22,51	17,71
Média geral		38,47	46,36	54,07	58,94
Coeficiente de variância a (%)		14,66	10,10	11,24	8,29
Coeficiente de variância b (%)		8,33	8,49	8,78	7,14
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,64	0,73	0,18	0,07
Levene (p-valor)		0,51	0,39	0,14	0,44
Fator de variação	G.L.	3º Período			
		9ª	10ª	11ª	12ª
		Quadrado médio			
Blocos	2	344,30**	344,29**	333,19**	344,30**
Lâminas (L)	3	44,29 ^{ns}	44,28 ^{ns}	34,20 ^{ns}	132,43**
Linear	1	-	-	-	186,15**
Quadrático	1	-	-	-	93,24*
Resíduo a	6	10,70	10,68	10,82	10,69
Doses (D)	3	2,19 ^{ns}	2,19 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,23*
Linear	1	-	-	-	0,0175 ^{ns}
Quadrático	1	-	-	-	0,0416 ^{ns}
Interação L x D	9	17,62 ^{ns}	17,63 ^{ns}	14,62 ^{ns}	18,53 ^{ns}
Resíduo b	24	9,26	9,26	9,20	9,26
Média geral		39,21	46,71	59,21	73,44
Coeficiente de variância a (%)		8,34	7,00	5,52	4,45
Coeficiente de variância b (%)		7,76	6,51	5,14	4,14
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,57	0,53	0,54	0,83
Levene (p-valor)		0,94	0,92	0,95	0,97

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); G.L. – Graus de liberdade

Na Figura 30 é apresentado o modelo polinomial que melhor se ajustou ao comportamento da variável resposta em função do incremento das lâminas de irrigação nos diferentes períodos, sendo este linear (1º período), cúbico (2º período) e quadrático (3º período). Observam-se no 3º período os maiores valores de altura de plantas, obtendo-se uma resposta máxima para a característica altura de planta de 86,95 cm até a lâmina de irrigação 100% da CAD e um valor máximo de 61,24 e 62,83 cm no 1º e 2º período, respectivamente.

Figura 30 – Altura média de plantas de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

A temperatura média foi maior no 3º período e os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) demonstraram tendência similar, conforme visualizado anteriormente na Figura 18. Sabe-se que o manjerição desenvolve-se melhor sob condições de clima quente (MAJKOWSKA-GADOMSKA et al., 2014). Essas diferenças na altura de plantas entre os períodos podem ser explicadas pelas mudanças nas condições ambientais. Os resultados foram consistentes com os relatados por Telci et al. (2005). Com exceção do 1º período, a altura média de planta claramente indica que o incremento nas lâminas de irrigação afetou significativamente a alturas do manjerição. Ekren et al. (2012) também constataram aumento na altura com incremento de lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125% da quantidade necessária para elevar a água do solo à capacidade de campo). À medida que a lâmina de irrigação diminuiu, a altura média da planta diminuiu para as plantas de manjerição. Resultados semelhantes foram relatados por Moeini Alishah et al. (2006).

Um dos primeiros sinais de escassez de água é a diminuição da turgescência o que provoca uma diminuição no crescimento e desenvolvimento das células, especialmente no caule e folhas. O crescimento das células é o processo mais importante que é afetado pelo estresse hídrico. Podemos reconhecer o tamanho da planta por meio da diminuição da altura ou menor tamanho das folhas quando há uma diminuição no crescimento das células (HSIAO,1973 apud EKREN et al., 2012).

Na Figura 31 é apresentado o modelo polinomial que melhor se ajustou ao comportamento da variável resposta em função do incremento das doses de potássio nos diferentes períodos, sendo este linear. Verificou-se no 3º período os maiores valores de altura de plantas, no qual foi obtida uma resposta máxima para a característica de 73,44 cm e um valor mínimo de 58,98 cm no 2º período. Respostas semelhantes foram encontradas por Matsumoto et al. (2013), os quais não verificaram aumento da altura média da planta do manjerição em função do incremento de potássio, no intervalo de 0 a 150 kg ha⁻¹. De fato que o potássio não está associado ao aumento do vigor vegetativo das culturas, podendo atuar como “regulador” de crescimento, inibindo o crescimento excessivo.

Figura 31 – Altura média de plantas de manjerição em função doses de potássio em diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

4.2.2.2 Diâmetro de Caule

O diâmetro de caule para os diferentes tratamentos e períodos avaliados é apresentado na Figura 32. Observou-se um comportamento semelhante ao parâmetro altura no que se refere à curva de crescimento. O tratamento que recebeu a menor lâmina de irrigação (L4) mostrou crescimento menor quando comparado aos demais tratamentos. Na primeira

avaliação realizada, o diâmetro médio era de 4,86 mm e ao final 17,44 mm (L2). Nota-se que no 2º período (5ª a 8ª avaliação) a magnitude do crescimento em diâmetro foi menor do que em altura. Este deve ser menos influenciado por condições adversas.

Figura 32 – Diâmetro do caule de manjeriço (cm) em função das lâminas de irrigação (A) e das doses de potássio (B) nos três períodos de cultivo

Na Tabela 18 está apresentada a análise de variância realizada nos dados de diâmetro médio obtidos para todas as medidas de avaliação ao longo dos três períodos do cultivo. Observou-se efeito significativo dos tratamentos em grande parte das medidas de avaliação.

Nos três períodos houve efeito significativo da lâmina de irrigação sobre o diâmetro de caule. A resposta significativa ocorreu a partir da segunda avaliação e se manteve até a última avaliação, com exceção da 12ª. Também houve efeito significativo das doses potássio sobre o diâmetro de caule. Esse resultado corroboram os encontrados por Matsumoto et al. (2013). A interação lâmina x potássio não mostrou efeitos significativos no momento da colheita, com exceção do 1º período.

Os modelos polinomiais ajustados para o diâmetro do caule em função do incremento de lâminas de irrigação nos diferentes períodos são apresentados na Figura 33, sendo quadrático para o 2º e 3º períodos e linear no 1º período. Em ambos os casos, notou-se tendência de aumento do diâmetro do caule conforme o aumento das lâminas de irrigação. No 1º período, estimou-se que o menor valor da variável resposta analisada (6,54 mm) foi obtido no tratamento não irrigado (0 % CAD), enquanto que para 2º período, o máximo valor de diâmetro (13,93 mm) foi observado com 60% da CAD; e no 3º período, o máximo valor (18,54 mm) foi observado também com 60% da CAD. A variável resposta em função do incremento de doses de potássio, nos diferentes períodos foi igual à variável resposta média, comportando-se de maneira constante, em função do aumento das doses. Esses resultados diferenciaram-se do obtido por Matsumoto et al. (2013) para manjeriço, que observaram uma resposta quadrática crescente do diâmetro de caule com o aumento das doses de potássio.

Entretanto, Lucas (2012) não observou efeito das doses de potássio sobre o diâmetro do caule de maracujazeiros em Piracicaba-SP.

Tabela 18 – Resumo da análise de variância de regressão referente ao diâmetro de caule (mm) do manjeriço em quatro leituras no 1º período de cultivo e em função de laminas de irrigação e doses de potássio

Fator de variação	G.L.	1º Período			
		1ª	2ª	3ª	4ª
		Quadrado médio			
Blocos	2	2,66 ^{ns}	3,04*	10,79 ^{ns}	17,49**
Lâminas (L)	3	6,52 ^{ns}	4,95**	6,79 ^{ns}	19,38**
Linear	1	-	-	-	42,22**
Quadrática	1	-	-	-	16,01**
Resíduo a	6	2,12	0,32	2,67	0,99
Doses (D)	3	1,10 ^{ns}	12,01**	5,98 ^{ns}	7,25 ^{ns}
Interação L x D	9	0,59 ^{ns}	4,15**	0,63*	0,81*
Resíduo b	24	0,74	0,24	3,17	4,30
Média geral		5,65	6,99	7,05	8,34
Coeficiente de variância a (%)		25,77	8,03	23,18	11,95
Coeficiente de variância b (%)		15,16	7,07	25,24	24,83
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,02	0,02	0,12	0,28
Levene (p-valor)		0,67	0,12	0,13	0,33
Fator de variação	G.L.	2º Período			
		5ª	6ª	7ª	8ª
		Quadrado médio			
Blocos	2	18,09**	13,54**	13,80**	16,42**
Lâminas (L)	3	21,14**	45,70*	48,10**	102,51**
Linear	1	-	-	-	26,22**
Quadrática	1	-	-	-	270,19**
Resíduo a	6	1,02	0,98	1,06	1,25
Doses (D)	3	7,51 ^{ns}	6,75 ^{ns}	6,91 ^{ns}	9,36 ^{ns}
Interação L x D	9	0,84*	1,16 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,59 ^{ns}
Resíduo b	24	4,45	3,65	3,77	4,88
Média geral		8,50	9,05	9,22	10,39
Coeficiente de variância a (%)		11,93	10,98	11,21	10,75
Coeficiente de variância b (%)		24,83	21,09	21,06	21,26
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,29	0,19	0,22	0,31
Levene (p-valor)		0,34	0,72	0,73	0,74
Fator de variação	G.L.	3º Período			
		9ª	10ª	11ª	12ª
		Quadrado médio			
Blocos	2	16,42**	19,86**	20,26**	29,18**
Lâminas (L)	3	102,51**	124,02**	126,53**	182,22**
Linear	1	-	-	-	46,61**
Quadrática	1	-	-	-	480,24**
Resíduo a	6	1,25	1,51	1,59	2,22
Doses (D)	3	9,35 ^{ns}	11,32 ^{ns}	11,54 ^{ns}	16,63 ^{ns}
Interação L x D	9	1,59 ^{ns}	1,92 ^{ns}	1,96 ^{ns}	2,83 ^{ns}
Resíduo b	24	4,88	5,91 ^{ns}	6,03	8,69
Média geral		10,39	11,43	11,55	13,86
Coeficiente de variância a (%)		10,75	10,74	10,71	10,75
Coeficiente de variância b (%)		21,26	22,02	20,25	21,26
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,26	0,25	0,26	0,26
Levene (p-valor)		0,74	0,73	0,74	0,75
Lambda (λ)		—	—	—	—

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); G.L. – Graus de liberdade; Lambda (λ) – fator de transformação da família Box-Cox

Figura 33 – Diâmetro médio de plantas de manjeriço em função de lâminas de diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Figura 34 – Diâmetro médio de plantas de manjeriço em função doses de potássio em diferentes períodos de cultivos no momento da colheita. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

4.2.2.3 Fator de forma para estimativas de área foliar

A estatística descritiva das variáveis: número de folhas (NF), índice de área foliar (IAF), comprimento (C), largura (L), área do retângulo ($A_{\text{retângulo}}$), área da elipse (A_{elipse}) e área foliar real (Y_i) estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Estatísticas descritivas e teste de média do número total de folhas (NF), índice de área foliar (IAF), comprimento (C) e largura (L), área do retângulo ($A_{\text{retângulo}}$), área da elipse (A_{elipse}) e da área foliar real pelo obtida pelo software ImageJ (Y_i)

Irrigado - L1D1							
	NF	IAF	C (cm)	L (cm)	C L (cm ²)	CL ($\pi/4$) (cm ²)	Yi (cm ²)
Mínimo	1821	2,82	1,58	0,27	1,48	1,160	1,01
Máximo	1955	4,51	10,99	4,72	47,35	37,19	25,42
Média	1855±39A	3,88±0,53A	4,59±0,34A	2,35±0,28A	11,69±0,62A	9,18±0,62A	7,07±0,57A
Mediana	1879	4,33	4,23	2,27	9,93	7,80	6,21
Não irrigado - L4D1							
Mínimo	1021	3,27	0,98	0,42	0,41	0,32	0,47
Máximo	1744	4,00	6,93	3,80	25,91	20,35	18,77
Média	1371±209B	3,74±0,24A	3,27±0,95B	1,86±0,33B	6,58±0,63B	5,17±0,63B	4,98±0,60B
Mediana	1350	3,97	3,09	1,74	5,40	4,24	4,09
CV (%)	22,42	17,01	36,84	32,33	70,96	70,96	61,77

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 0,05 de probabilidade; $\pm$ - erro padrão

No tratamento irrigado, os valores de C das folhas variaram de 1,58 a 10,99 cm, com valores médios 4,59 cm, ao passo que L das folhas variou de 0,27 a 4,72 cm, com valores médios de 2,35 cm. Segundo Minami et al. (2007) o maior problema da cultura é a variação nas formas das folhas e tamanho das plantas. O maior valor médio de Y_i foi registrado no tratamento com irrigação (7,07 cm²), enquanto o menor foi observado no tratamento não irrigado (4,98 cm²). O número de folhas também foi maior no tratamento irrigado (Tabela 19). A magnitude da redução da área foliar semelhante à redução do número de folhas (cerca de 30%) é um indicativo de que a restrição causada pela deficiência hídrica afetou igualmente a expansão e a divisão celular (PINTO, 2006).

A ampla variabilidade do tamanho das folhas, verificada pela amplitude de C, de L e de Y_i , associada à elevada magnitude do coeficiente de variação (Tabela 19), é importante para a geração de modelos, pois permite sua utilização em folhas pequenas, médias e grandes. Portanto, esse amplo conjunto de dados de C, L, $A_{\text{retângulo}}$, A_{elipse} e Y_i determinado por meio de fotos digitais (600 folhas), é adequado para o estudo proposto segundo Cargnelutti Filho et al. (2012).

A distribuição percentual da Y_i de *Ocimum basilicum* L., em relação às classes de tamanho nos tratamentos irrigado e não irrigado encontra-se na Tabela 20. Observa-se que 45,77% da Y_i no tratamento irrigado estão relacionadas com folhas variando de 5 até 10 cm² e 65,93% da Y_i no tratamento não irrigado variaram de 0 até 5 cm², indicando que essas plantas possuem a maioria de suas folhas com um tamanho pequeno. No tratamento irrigado a maior folha possui Y_i de 25,42 cm²; já no tratamento sob sequeiro a maior folha apresentou Y_i de

18,77 cm². No tratamento de sequeiro, as duas primeiras classes de tamanho (0 a 5, e 5 a 10 cm²) abrangem 89,9% do número de folhas medidas; já no tratamento irrigado, essas mesmas classes de tamanho abrangem apenas 81,92% do número de folhas, sendo que há uma diferença de 7,98% entre os dois tratamentos.

Tabela 20 – Distribuição de frequência da área foliar de *Ocimum basilicum* L., em relação às classes de tamanho nos tratamento irrigado e sequeiro

Classe (cm ²)	Irrigado	Não irrigado
	(%)	(%)
0 a 5	36,15	65,93
5 a 10	45,77	23,97
10 a 15	13,85	9,46
15 a 20	4,62	0,63
20 a 25	0,77	0,00
25 a 30	0,38	0,00

Na Tabela 21 apresentam-se os modelos para estimativa da AF, o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) e a correlação de Pearson (r), o índice de concordância de Willmott (d) e o índice de desempenho de Camargo-Sentelhas (c), obtidos por meio da regressão entre a área foliar estimada e área foliar real por meio do software ImageJ, bem como a raiz do quadrado médio do erro (RQME) e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), obtidos por meio da validação dos modelos propostos.

Os modelos de regressão que estimaram a área foliar a partir do C, L, $A_{\text{retângulo}}$ e A_{elipse} foram obtidos em seis modelos estimadores e esses foram significativos a p-valor ($\alpha = 0,01$) suficientemente pequenos, demonstrando que existe estreita correlação entre a Y_i e as medidas lineares das plantas. A qualidade do ajuste foi verificada por meio dos elevados coeficientes de determinação ajustados; valores de R_a^2 variaram de 0,973 a 0,835, sendo o de menor valor correspondente ao modelo em que se utilizou o comprimento quadrático da folha, enquanto o maior valor de R_a^2 foi obtido quando a estimativa da área foliar teve, como base, os dados de $A_{\text{retângulo}}$ e A_{elipse} . Estes resultados indicam que no mínimo 83,5% das variações observadas em $\tilde{Y}_i$ foram explicadas pelos modelos obtidos (Tabela 21).

Tabela 21 – Equações para a estimativa da área foliar, coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) e correlação linear de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho de Camargo-Sentelhas (c), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e a soma do quadrado dos resíduos (SQR)

Variável	Equação	P-valor	R_a^2	r	d	c	RQME	SQR
C	$1,62723 * C$	<0,001	0,9299	0,976	0,816	0,796	0,856	3,402
C ²	$-2,641 * C + (2,101 * C) + (0,0254 * C^2)$	<0,001	0,8350	0,263	0,551	0,145	7,132	2,217
L	$3,05724 * L$	<0,001	0,9221	0,253	0,551	0,139	4,114	3,773
L ²	$0,990 - (0,328 * L) + (1,174 * L^2)$	<0,001	0,9101	0,252	0,520	0,131	4,331	1,203
A _{retângulo}	$0,62987 * A_{\text{retângulo}}$	<0,001	0,9729	0,976	0,985	0,961	0,857	1,315
A _{elipse}	$0,80198 * A_{\text{elipse}}$	<0,001	0,9729	0,962	0,977	0,940	1,146	1,315
Log(A _{retângulo})	$10^{(0,8205 * A_{\text{retângulo}})}$	<0,001	0,9521	0,909	0,978	0,889	0,161	1,007
Log(A _{elipse})	$10^{(0,92327 * A_{\text{elipse}})}$	<0,001	0,9943	0,975	0,976	0,952	0,931	1,007

* coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 1% de probabilidade

Com base nos valores dos R_a^2 (Tabela 21) e dos coeficientes de correlação verifica-se que os modelos mais apropriados para as relações entre as dimensões lineares e a área de uma folha individual são os que incluem ambas as dimensões, quais sejam o comprimento e a largura. Os modelos quadráticos (L² e C²) apresentaram valores de R_a^2 inferiores aos modelos lineares. O melhor resultado foi obtido com os modelos lineares (A_{retângulo} e A_{elipse}), pois estes apresentaram maiores valores de R_a^2 na geração do modelo e melhores desempenhos nos testes, menores valores de RQME e SQR, bem como os maiores valores de correlação de Pearson (r), comprovando que o produto das dimensões lineares aumenta a intensidade da associação linear entre as variáveis. Quanto mais o valor de R_a^2 se aproxima de 1,0 e quanto mais os valores de erro (RQME) se aproximam de zero, maior é a precisão do modelo ajustado.

Desempenhos superiores de modelos ajustados em função do produto do comprimento pela largura também foram encontrados nas plantas de nabo forrageiro por Cargnelutti Filho et al. (2012). Maracajá et al. (2008) verificaram que ao se utilizar o produto do comprimento pela largura para estimar a área foliar do juazeiro, os modelos gerados apresentaram menores erros quando comparados aos obtidos por meio dessas medidas lineares individualizadas. Ao estimar a área foliar de plantas de seringueira por meio das dimensões lineares das folhas, Miguel et al. (2011) verificaram que o produto do comprimento pela largura, com o uso de um fator de correção (f=0,59), estimou com precisão a área foliar desta espécie.

Resultados similares quanto ao ajuste de modelos foram obtidos por Bosco et al. (2012) que ao estimarem a área foliar da macieira por meio de dimensões foliares verificaram que os modelos linear e quadrático, obtidos pelo produto do comprimento e

largura, foram mais eficazes que os obtidos com apenas uma das dimensões; os autores encontraram valores de R_a^2 de 0,99 e 0,98 e RQME de 2,54 e 1,37 para os modelos linear e quadrático, respectivamente. Toebe et al. (2010) verificaram que o modelo tipo potência da largura da folha foi o mais adequado para estimar a área foliar de feijão de porco, pois o mesmo apresentou o melhor R_a^2 (0,9757).

No entanto, os modelos escolhidos ($\tilde{Y}_l = 0,62987 * A_{\text{retângulo}}$ e $\tilde{Y}_l = 0,80198 * A_{\text{elipse}}$), não apresentam padrão dispersão dos resíduos e estes não seguem uma distribuição normal, confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk (Figura 35). Nas Figuras 35A e 35B pode-se observar que os gráficos dos resíduos apresentam uma tendência, em forma de cone, como um indicativo de heterocedasticidade, confirmada pelo teste de Goldfeld Quandt. Neste contexto, o método comum dos mínimos quadrados para calcular os coeficientes do modelo não pode ser utilizado de forma confiável, a não ser que uma ação corretiva seja aplicada para remover a heterocedasticidade (CHATTERJEE; HADI, 2006).

Por meio do teste de outliers de Bonferroni verificou-se a presença dos dados discrepantes no conjunto de dados. Para o modelo $A_{\text{retângulo}}$ foram retirados 17 valores e 21 valores para o modelo da A_{elipse} . Após a retirada dos dados discrepantes, esses foram transformados por função logarítmica para estabilizar a variância residual (Figura 36A e 36B).

Na Figura 36 estão apresentados os modelos escolhidos após as retiradas dos outliers e a transformação logarítmica. Os coeficientes de correlação ajustados entre eles para modelos $\text{Log}(A_{\text{retângulo}})$ e $\text{Log}(A_{\text{elipse}})$ foram 0,9521 e 0,9943, respectivamente. O modelo da A_{elipse} apresentou aumento no R_a^2 , mas o modelo ($A_{\text{retângulo}}$) apresentou uma ligeira diminuição no R_a^2 . O modelo da A_{elipse} , comparado aos demais modelos, resultou nos maiores valores de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (R_a^2), os menores valores de raiz do quadrado médio do erro (RQME) e os maiores índices d e c (Tabela 21). Portanto, os indicadores de validação confirmaram que esse é o modelo mais preciso.

O gráfico de dispersão para a AF real e estimada é apresentado na Figura 37C e 37D. A diferença entre os dados estimados e reais foi calculada para os dois modelos escolhidos; estes foram plotados contra média do previsto e do observado. Somente a análise de correlação não é suficiente para explicar as relações entre a AF real e a estimada. Um gráfico das diferenças entre real e estimada contra a sua média é mais informativo (BLAND; ALTMAN, 1986), Figura 37A e 37B. Neste gráfico é possível visualizar o viés (o quanto as diferenças se afastam do valor zero), o erro (a dispersão dos pontos das diferenças ao redor da média), além de outliers e tendências (HIRAKATA; CAMEY, 2009).

Figura 35 – Representação do modelo de regressão linear da área foliar estimada pela área do retângulo ($A_{\text{retângulo}}$) (A) e da área da elipse (A_{elipse}) (B). Dispersão padrão dos resíduos em relação aos modelos $A_{\text{retângulo}}$ (A_1) e A_{elipse} (B_1) apresentando uma distribuição com heterocedasticidade

Figura 36 – Representação do modelo de regressão linear da área foliar estimada pela área do retângulo (A_{retângulo}) (A) e da área da elipse (A_{elipse}) (B) após a retirada de outliers e transformação logarítmica. Dispersão padrão dos resíduos em relação aos modelos A_{retângulo} (A₁) e A_{elipse} (B₁) apresentando uma distribuição homocedástica

Figura 37 – Análise de concordância de Bland-Altman entre a área foliar real e a área foliar estimada pelo modelo $A_{\text{retângulo}}$ (A) e A_{elipse} (B) com transformação logarítmica; comparação entre valores reais e valores estimados pelos modelos de regressão linear da $A_{\text{retângulo}}$ (C) e da A_{elipse} . LSC – Limite superior de confiabilidade; LIC – Limite inferior de confiabilidade

Por meio da análise estatística, utilizando-se o gráfico Bland-Altman, pode-se concluir que, para o modelo de $A_{\text{retângulo}}$, as medidas possuem uma forte correlação, pois o coeficiente de correlação é de 0,9749, mas com baixa concordância, já que o viés, apesar de ser próximo de zero (0,0052), é estatisticamente significativo. Já A_{elipse} , as medidas também se apresentaram fortemente correlacionadas ($R^2 = 0,9743$), e o viés está próximo de zero (-0,0051), não sendo estatisticamente significativo, o que revela que as medidas apresentam boa correlação e boa concordância. No caso do modelo para $A_{\text{retângulo}}$, apesar das medidas não serem concordantes, como a distribuição espacial dos pontos na Figura 37A é homogênea, ou seja, não indica uma relação entre as diferenças e as médias das medidas, pode-se dizer que este viés é sistemático (HIRAKATA; CAMEY, 2009). Portanto, apesar das medidas não serem concordantes, pode-se utilizar a área foliar estimada pelo modelo $A_{\text{retângulo}}$ acrescentada

do viés (0,0052 cm²) como uma estimativa de $\bar{Y}_i$.

A partir da observação das Figuras 37C e 37D, pode-se verificar que os valores simulados pelo modelo apresentaram boa linearidade com relação aos valores mensurados. Porém, também se pode verificar na Figura 37C que à medida que os valores medidos aumentam, os valores simulados pelo modelo não acompanham esta tendência, ou seja, os pontos no gráfico se afastam da reta 1:1. Este fato não é observado na Figura 37D, na qual pode ser observado que os pontos no gráfico acompanham a reta 1:1.

Neste trabalho, observou-se que as equações lineares, obtidas por meio de relações alométricas, conforme apresentadas na Tabela 21, estimaram de maneira adequada a AF do manjerição, podendo ser utilizadas como alternativa rápida, barata e não destrutiva. Os modelos podem ajustar aos dados para as diversas fases de desenvolvimento da cultura em quaisquer momentos de coletas dos dados relativos às dimensões das folhas.

Na prática, a medição do comprimento e da largura da folha é suficiente para estimar a AF que seria determinada por meio do método de fotos digitais. Esse resultado é importante, pois possibilita determinar a AF, com precisão, durante todo o ciclo da cultura, sem a necessidade de destruição das folhas.

O modelo exponencial da área foliar obtida por meio do método de fotos digitais em função da área da retangular, $\hat{Y}_i = 10^{(0,8205 \text{ Aretângulo})}$, com um viés (0,0052 cm²), é adequado para estimar a área foliar de *Ocimum basilicum* L. Mas estimativas de área foliar de plantas de *Ocimum basilicum* L. são mais precisas quando são utilizadas o modelo exponencial da área da elipse. O modelo $\hat{Y}_i = 10^{(0,92327 \text{ Aelipse})}$, proporcionou alta precisão e exatidão às estimativas.

4.2.3 Variáveis da produção

4.2.3.1 Massa seca (folhas + inflorescência)

A análise de variância foi realizada para os dados médios de massa seca (folhas + inflorescência) obtidos nos três períodos cultivados e o seu somatório total (Tabela 22). No 1º e 2º período observou-se significância dos fatores de modo isolado no fator lâmina de irrigação, assim como a interação entre doses de potássio. Entretanto no 3º período e no somatório dos três períodos (Total) observou-se a não significância da interação, sendo que de modo isolado somente o fator lâmina foi significativo. Os resultados significativos do fator lâmina de irrigação corroboram com os encontrados nos estudos de manjerição realizados por Ojeda-Silveira et al. (2013), Asadollahi et al. (2013) e Biesiada e Kus (2010). No fator não

significativo das doses de potássio esses resultados corroboram com os encontrados por Matsumoto et al. (2013) e Coscolin (2012). Para interação significativa, resultado semelhante foi encontrado por Farias (2011) com manjerição.

Tabela 22 – Resumo da análise de variância referente à massa seca (folhas + inflorescência) do manjerição nos três períodos de cultivo e em função de lâminas de irrigação e doses de potássio

Fator de variação	G.L.	Massa seca (folhas + inflorescência)			
		1º Período	2º Período	3º Período	Total
Quadrado médio					
Blocos	2	505,99*	352,65 ^{ns}	405,54 ^{ns}	599,82 ^{ns}
Lâminas (L)	3	3816,63*	6335,66*	30780,09**	48887,9**
Linear		5785,76**	11950,72**	37855,27**	26020,63 ^{ns}
Quadrático		6,0133*	5423,39*	47713,34**	116341,56**
Resíduo a	6	3816,6	784,39	2716,23	4987,43
Doses (D)	3	399,46 ^{ns}	508,49 ^{ns}	951,56 ^{ns}	2466,58 ^{ns}
Interação L x D	9	1961,86**	787,74*	1094,05 ^{ns}	4114,57 ^{ns}
Resíduo b	24	160,86	331,47	2008,11	2259,41
Média geral		101,42	123,42	165,30	390,15
Coeficiente de variância a (%)		19,71	22,69	31,53	18,10
Coeficiente de variância b (%)		12,51	14,75	27,11	12,18
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,03	0,39	0,06	0,90
Levene (p-valor)		0,10	0,63	0,02	0,80

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$)

G.L. – Graus de liberdade

No 1º período o modelo polinomial cúbico foi o que melhor se ajustou ao comportamento da variável resposta massa seca em função do incremento das lâminas de irrigação (% CAD). Constatou-se redução na característica avaliada no fator lâmina de irrigação ao nível de 35,98 (%CAD), que obteve o maior valor de massa seca (115,66 g), até a 70 (%CAD), que apresentou o mínimo valor da variável resposta (104,17 g) e 0 % da CAD com valor de 75,93 g de matéria seca. Para o 2º período foi observado modelo polinomial quadrático significativo; houve um acréscimo na massa seca de 0 a 68,69 % da CAD, onde se obteve o máximo valor de massa seca de 142,88 g, ocorrendo posterior redução até 100% da CAD. No 3º período também foi observado um modelo polinomial quadrático significativo, houve um acréscimo na característica de 0 a 63,04 % da CAD, onde se obteve o máximo valor de massa seca de 214,56 g, ocorrendo posterior redução até 100% da CAD (Figura 38). As diferenças na massa seca entre os períodos podem ser explicadas pelas mudanças nas condições ambientais. Essas diferenças também foram observadas por Pravuschi et al. (2010) e Ekren et al. (2012).

Figura 38 – Massa seca (folhas + inflorescência) de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

De acordo com Ekren et al. (2012) a massa seca do manjerição diminui sob níveis variados de estresse hídrico. A massa seca da planta diminuiu devido à exposição a níveis prejudiciais de seca (50% da CAD) ou em excesso de água (125% da CAD). Esses resultados concordam com obtidos por Pravuschi et al. (2010), os quais observaram que as diferentes lâminas de irrigação influenciaram as variáveis relacionadas ao crescimento e à produção em plantas de manjerição; apresentaram produtividade máxima de matéria seca ($42,78 \text{ g planta}^{-1}$) para lâmina correspondente a 100% ECA, com acréscimo de 58,60% em relação ao tratamento sem irrigação (0% ECA). Já no tratamento com 150% ECA o excesso de água aplicado diariamente prejudicou o desenvolvimento da cultura.

Singh (2004) constataram diferenças significativas na matéria seca das folhas, caule, raízes e total em todos os tratamentos hídricos, havendo crescente redução de acordo com a severidade do estresse aplicado. Se ocorrer deficiência hídrica, as plantas diminuem sua taxa fotossintética, reduzindo a capacidade dos drenos em acumular fotoassimilados (COX, 1996). Em plantas de manjerição submetidas ao déficit hídrico entre -0,4 e -2,4 MPa de potencial de água na folha, Leonardo (2007) verificou decréscimo linear de 1,46 g de massa seca, conforme o aumento gradual de -0,4 MPa.

O total de massa seca, por planta, dos três períodos em função da lâmina de irrigação esta apresentado na Figura 39. Nota-se um comportamento quadrático da variável resposta e acréscimo na massa seca de 0 a 56,99 % CAD, onde se obteve o máximo valor de massa seca (464,13 g). Para valores superiores de CAD, ocorreu redução da massa seca. Resultados semelhantes foram observados por Farias (2011), que também relatou acréscimo inicial, com

posterior decréscimo na massa seca de manjeriço em maiores lâminas de irrigação.

Figura 39 – Massa seca (folhas + inflorescência) de manjeriço em função das lâminas de irrigação no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Os valores médios de massa seca (folhas + inflorescência) para as interações significativas dos tratamentos são apresentados na Tabela 23. A comparação entre as médias da massa seca foi realizada pelo teste múltiplo de média de Scott-Knott, a um nível de probabilidade de 5%. Verificou-se que apenas o tratamento não irrigado diferiu dos demais para os dois períodos.

Tabela 23 – Massa seca (folhas + inflorescência) em gramas por planta, de manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio no 1º e 2º períodos de cultivo

% CAD	Lâmina	Doses de potássio (kg ha ⁻¹)				Médias
		0	50	100	200	
		1º Período				
100		99,26 B	102,66 B	152,73 A	96,39 B	112,75 a
75		106,54 A	108,83 A	87,02 A	106,98 A	102,34 a
30		116,06 A	100,95 A	125,41 A	116,13 A	114,64 a
0		92,90 A	113,30 A	37,65 C	59,85 B	75,92 b
Médias		103,69 A	106,43 A	100,69 A	94,83 A	101,42
2º Período						
100		125,33 A	148,33 A	122,99 A	149,65 A	136,58 a
75		114,48 A	141,05 A	143,12 A	134,50 A	133,29 a
30		146,33 A	137,88 A	112,49 A	142,61 A	134,83 a
0		114,09 A	72,01 B	78,34 B	91,64 B	89,02 b
Médias		125,05 A	124,82 A	114,24 A	129,60 A	123,43

Linhas – letras maiúsculas; Colunas – letras minúsculas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Aplicando-se análise de regressão múltipla não linear para as lâminas de irrigação e doses de potássio, constataram-se efeitos lineares e quadráticos significativos (Tabela 24). Para a obtenção do modelo final, partiu-se de um modelo quadrático completo, desconsiderando os termos de maior ordem não significativos. Os termos lineares dos modelos, quando na presença dos termos quadráticos, foram mantidos mesmo quando não apresentaram significância, conforme metodologia apresentada por Box e Draper (2007). Neste estudo o efeito dos blocos não foi considerado, pois não faz parte da equação de regressão (PIMENTEL-GOMES).

Tabela 24 – Estimativas dos coeficientes do modelo final para variável resposta produtividade de massa seca total (kg ha^{-1}) do manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio

Fato de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Probabilidade
Modelo	5	132218484,57	193,22	0,0000
Resíduo	42	49008,65		
Parâmetros	Coeficientes	Erro padrão	Teste t	Probabilidade
Intercepto	13218,72**	950,97	13,90	0,000
L	215,28**	34,51	6,24	0,000
L ²	-1,92**	0,33	-5,98	0,000
D	-17,88 ^{ns}	16,57	-1,08	0,287
D ²	0,05 ^{ns}	0,07	0,72	0,472
L x D	0,03 ^{ns}	0,11	0,31	0,761

* coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 1% de probabilidade;

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$)

A representação gráfica do modelo da Tabela 24 corresponde a uma superfície de resposta de três dimensões (Figura 40), na qual indicam as possíveis combinações de lâminas de irrigação e doses de potássio que resultaram na mesma produtividade da massa seca do manjeriço.

$$\hat{Y} = 13218,72 + 215,28 X - 1,92 X^2 - 17,88 Z + 0,05 Z^2 + 0,03 X Z$$

Figura 40 – Produtividade de massa seca total (kg ha^{-1}) do manjerição em função das lâminas de irrigação e doses de potássio

O efeito não significativo das doses de potássio fica evidente no gráfico pelo paralelismo das linhas ao eixo Z, corroborando os resultados da Tabela 22. Com a redução da dose de potássio, verifica-se o acréscimo da produtividade de massa seca. Conclui-se, pois, que o máximo absoluto estimado para a produtividade de massa seca de manjerição é $\hat{Y}_{(K;0)} = 19253,3 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondendo a 56,06 % CAD e dose nula de potássio. As linhas da superfície na direção dos eixos da lâmina de irrigação possuem inicialmente maior inclinação positiva, e que diminuem progressivamente a partir do máximo até atingir 100% CAD.

Em diferentes cultivares de manjerição, Asadollahi et al. (2013) observaram o efeito do estresse hídrico (30, 60 e 90% da CAD) na massa seca (folhas + inflorescências). Os autores verificaram que com o aumento do estresse hídrico a produtividade de matéria seca foi reduzida significativamente. O maior valor de matéria seca ($5115,2 \text{ kg ha}^{-1}$) foi no tratamento 90% da CAD com a cultivar “Karaj” em apenas uma colheita. Yassen et al. (2003) verificaram também a vantagem de plantas produzidas sob a influência de irrigação.

4.2.3.2 Teor de óleo essencial

Nos resultados da análise de variância para teor de óleo essencial, os fatores lâminas de irrigação e doses de potássio, assim como a interação entre eles, foram significativos com exceção do fator dose de potássio no 1º período (Tabela 25). Os resultados significativos do fator lâmina de irrigação corroboram com os encontrados no estudo de manjerição por Asadollahi et al. (2013) e Coscolin (2012). No fator significativo das doses de potássio esses resultados corroboram com os encontrados em estudo com manjerição realizado por Prakasa Rao et al. (2007) e Nurznska-Wierdak e Borowski (2011).

Tabela 25 – Resumo da análise de variância referente ao teor de óleo essencial (%) por planta nos três períodos de cultivo e em função de lâminas de irrigação e doses de potássio

Fator de variação	G.L.	Teor de óleo essencial (%)			
		1º Período	2º Período	3º Período	Total
Quadrado médio					
Blocos	2	0,05249 ^{ns}	0,09974 ^{ns}	1,03825**	2,25882*
Lâminas (L)	3	1,26521**	0,78356*	0,36100**	2,52947**
Linear		2,7869**	0,00443 ^{ns}	0,833*	6,34030**
Quadrático		1,00827*	2,16113**	0,091**	0,44958 ^{ns}
Resíduo a	6	0,0843	0,13048	0,00499	0,25516
Doses (D)	3	0,14938 ^{ns}	0,58817**	1,03825**	0,62189*
Linear		-	1,39345**	0,8474**	1,81666**
Quadrático		-	0,23730 ^{ns}	0,0618**	0,1717 ^{ns}
Interação L x D	9	0,64299**	0,59227*	0,36100**	1,36624**
Resíduo b	24	0,11564	0,08831	0,00124	0,19663
Média geral (%)		0,963	1,184	1,334	3,495
Coeficiente de variância a (%)		30,14	30,51	5,29	14,45
Coeficiente de variância b (%)		35,31	25,10	2,64	12,69
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,052	0,022	0,787	0,267
Levene (p-valor)		0,406	0,864	0,294	0,629

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$)

G.L. – Graus de liberdade

Nos três períodos de colheita e no total, os coeficientes da regressão foram significativos, explicam, por meio de modelos polinomiais, o comportamento do teor de óleo essencial em função das lâminas de irrigação e doses de potássio (Tabela 25 e Figuras 41,42, 43 e 44).

No 1º período o modelo polinomial que melhor se ajustou ao comportamento do teor de óleo em função do incremento das lâminas de irrigação (% CAD), foi o quadrático. Constatou-se redução na característica avaliada no fator lâmina de irrigação ao nível de 0 % CAD, quando se obteve o maior valor para o teor de óleo (1,4 %). Além disso, verificou-se relação inversamente proporcional entre a % CAD e a variável resposta, atingindo o valor mínimo de 0,68 % para 72,71 % CAD. No 2º período foi observado modelo polinomial

quadrático significativo, com tendência diferente; houve um acréscimo na característica de 0 até 49,54 % da CAD, onde se obteve o máximo valor de teor de óleo de 1,51 %, ocorrendo posterior redução até 100 % da CAD. No 3º período também foi observado um modelo polinomial quadrático significativo, com máximo teor de óleo verificado na ausência de irrigação e redução na característica de 0 a 100 % da CAD (Figura 41). As diferenças no teor de óleo essencial entre os três períodos podem ser explicadas pelas mudanças nas condições ambientais. Essas diferenças também foram observadas por Pravuschi et al. (2010) e Ekren et al. (2012).

Figura 411 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos.
*Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

O total do teor de óleo essencial por planta dos três períodos em função das lâminas de irrigação está apresentado na Figura 42. Nota-se um comportamento linear da variável resposta, sendo que houve um decréscimo de 0,01 % no teor óleo essencial para cada acréscimo unitário em % da CAD.

Figura 42 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Para o teor de óleo essencial em função do fator dose de potássio, no 1º período observou-se comportamento constante, indicando que não houve influência em relação às doses (Figura 43). Para o 2º período, houve incremento linear de 0,02 % no teor óleo essencial para cada acréscimo de 1 kg ha⁻¹ de potássio. Já no 3º período, o melhor ajuste seguiu um modelo quadrático, porém com tendência semelhante àquela observada no 2º período para o incremento no teor de óleo essencial em função do aumento da dose de potássio.

Figura 43 – Teor de óleo essencial de manjerição em função das doses de potássio em diferentes períodos. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

O total do teor de óleo essencial por planta dos três períodos em função das doses de potássio está apresentado na Figura 44. Nota-se um comportamento linear da variável resposta e houve um acréscimo de 0,0026 % no teor óleo essencial para cada acréscimo de 1 kg de potássio por hectare.

Apesar de não influenciar na produtividade de massa seca de manjeriço, como constatado no presente estudo, no cultivo de algumas plantas medicinais e aromáticas, uma maior quantidade de potássio contribui para um aumento no teor de óleo essencial (NURZYNSKA-WIERDAK et al., 2013). Para o plantio do manjeriço, Prakasa Rao et al. (2007), verificaram que elevadas doses de K (doses acima de 80 kg ha⁻¹) resultaram em maior produção de óleo essencial.

Figura 44 – Teor de óleo essencial de manjeriço em função das doses de potássio no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Os valores médios do teor de óleo essencial por planta para as interações significativas dos tratamentos são apresentados na Tabela 26. A comparação foi realizada pelo teste múltiplo de média de Scott-Knott, a um nível de probabilidade de 5%.

Os teores de óleo de manjeriço neste estudo foram semelhantes ao descrito na literatura (ANWAR et al., 2005; BOWES). Simon (1995) afirmam que o teor de óleo de manjeriço obtido variou de 0,04% a 0,70% em estudo de uma série de manjeriço nos Estados Unidos. Entretanto Kruger et al. (2002) estudaram 270 genótipos de manjeriço na Alemanha e o teor de óleo nas folhas encontrado foi de 2,65%.

Em média, quanto maior a dose de potássio, maiores são os teores de óleo essencial, independente da lâmina aplicada. De maneira geral, as menores lâminas resultaram nos

maiores teores de óleo, sendo também verificado efeito de interação entre lâmina e dose. Para avaliação feita considerando o período total, não houve efeito da lâmina. Entretanto, as doses de 100 e 200 kg ha⁻¹ de potássio mostraram-se superiores em relação às demais para o somatório de todo o período de cultivo.

Tabela 26 – Teor de óleo essencial (%) por planta, de manjerição em função das lâminas de irrigação e doses de potássio no três períodos de cultivo

potássio nos três períodos de cultivo						
% CAD	Lâmina	Doses de potássio (kg ha ⁻¹)				Médias
		0	50	100	200	
		1º Período				
100		0,429 b A	0,123 b B	0,629 a A	0,503 a A	0,422 b
75		0,565 b A	0,379 b A	0,385 b A	0,083 b B	0,353 b
30		0,473 b A	0,723 a A	0,120 b A	0,543 a A	0,465 b
0		0,847 a A	0,683 a A	0,803 a A	0,527 a A	0,715 a
Médias		0,578 A	0,477 A	0,484 A	0,415 A	
2º Período						
100		0,353 b C	1,111 b A	1,607 a A	0,873 b B	0,987 b
75		1,340 a A	1,533 a A	1,191 a A	1,170 b A	1,313 a
30		0,807 a B	1,873 a A	1,502 a A	1,753 a A	1,483 a
0		0,946 a B	0,476 c B	0,741 b B	1,667 a A	0,956 b
Médias		0,861 B	1,249 A	1,259 A	1,365 A	
3º Período						
100		1,193 b B	1,08 d A	0,959 d D	1,326 d A	1,139 d
75		1,047 c D	1,173 c A	1,300 c B	1,446 c A	1,242 c
30		1,281 a D	1,421 a A	1,587 a B	1,766 a A	1,514 a
0		1,22 b D	1,360 b A	1,587 b B	1,680 b A	1,442 b
Médias		1,185 D	1,258 C	1,338 B	1,555 A	
Total						
100		2,405 b B	2,440 c B	3,824 a A	3,206 b A	3,204 a
75		3,518 a A	3,464 b A	3,262 a A	2,784 b A	3,462 a
30		3,035 b B	4,741 a A	3,329 a B	4,607 a A	3,567 a
0		3,859 a A	3,203 b B	3,853 a A	4,400 a A	3,749 a
Médias		2,969 B	3,256 B	3,927 A	3,825 A	

Linhas – letras maiúsculas; Colunas – letras minúsculas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Ekren et al. (2012) descrevem que a proporção média de óleo essencial de manjerição roxo foi afetada pelos tratamentos de irrigação. A proporção média de óleo mais elevada foi obtida com o tratamento que repunha 50% da capacidade de campo e o menor valor foi encontrado para 100%. O incremento do teor de óleo essencial com o aumento do déficit de água no solo também tem sido documentado por Yassen et al. (2003), Omidbaigi et al. (2003) e Khalid (2006). As taxas de óleo essencial foram maiores do que os resultados de Yassen et al. (2003), Arabaci Bayram (2004), Telci et al. (2005) e Ekren et al. (2012). Segundo Sanson (2009), em condições de casa de vegetação, o manjerição híbrido estéril (*Ocimum cf. canum*) apresentou em média uma biomassa seca de 29,38 gramas, com um teor de óleo essencial de 2,07%. Sabe-se que a proporção de óleo essencial em plantas depende de diferentes fatores, e é moderadamente afetada pelas condições ambientais (KHALID, 2006).

O teor de óleo essencial, em média, aumentou da primeira para a segunda colheita, e desta para a terceira. Segundo Zheljazkov et al. (2008), o corte de manjerição pode agir como um fator de estresse que promove a síntese e acúmulo de óleo essencial de manjerição. Os mesmos autores avaliaram efeito do corte na produtividade de biomassa, teor de óleo de *Ocimum basilicum* L. (cvs. Alemão e Mesten) e *Ocimum sanctum* L. no Mississippi. O teor de óleo essencial de *Ocimum basilicum* cv. Alemão variou de 0,40 para 0,75%; o teor de óleo da cv. Mesten variou de 0,50 a 0,72%; e o teor de óleo de *Ocimum sanctum* L. variou de 0,17 para 0,50%. Em relação aos rendimentos de óleo essencial de cvs. Alemão e Mesten de *Ocimum basilicum* L. observou-se aumento da segunda e terceira colheita, resultados estes semelhantes aos relatados no presente estudo.

Segundo Jannuzzi (2013) os valores de massa seca de folha (g planta^{-1}) variaram de $86,3 \pm 36,2$ (Basil citron) a $23,4 \pm 1,08$ (Sweet Italian Large Red Leaf) e o teor de óleo essencial nas cultivares de manjerição variou de $1,72 \pm 0,02$ (Basilic Marsellais II) a $0,32 \pm 0,10$ (Genovese Basil I).

De acordo com Morais (2006), há medida que a temperatura e umidade relativa aumentam há um aumento no rendimento de óleo essencial. Ming et al. (2002) com óleo essencial de *Piper aduncum* oriundo de uma população natural no Estado do Paraná, constataram que o rendimento foi menor nos meses de temperaturas mais baixas.

Choudhury e Bordoloi (1988), com *Ocimum gratissimum* obtiveram os maiores rendimentos em plantas que se desenvolveram em condições de altas temperaturas, umidade do ar e chuva.

Chalchat e Ozcan (2008) obtiveram teor de óleo em folhas de *Ocimum basilicum* de 1,0% e Vieira e Simon (2000), estudando espécies do Brasil, identificaram rendimento entre 0,3 a 3,6%. Blank et al. (2004), na região nordeste, identificaram em 53 genótipos de *Ocimum basilicum* teores de óleo essencial variando de 0,19 a 2,5%.

4.2.3.3 Rendimento de óleo essencial

Nos resultados de análise de variância, para rendimento de óleo essencial, os fatores lâminas de irrigação e doses de potássio, assim como a interação entre eles, foram significativos, à exceção do fator potássio no 3º período. Os resultados significativos do fator lâmina de irrigação concordam com os encontrados no estudo de manjerição por Asadollahi et al. (2013) e Pravuschi et al. (2010). Nos três períodos de colheita e também no somatório, houve coeficientes de regressão significativos, os quais explicam por modelos

polinomiais o comportamento do teor de óleo essencial em função das lâminas de irrigação e doses de potássio (Tabela 27 e Figuras 45,46, 47 e 48).

Tabela 27 – Resumo da análise de variância referente ao rendimento de óleo essencial (kg ha^{-1}) de manjerição em função de lâminas de irrigação e doses de potássio

Fator de variação	G.L.	Rendimento de óleo essencial (kg ha ⁻¹)			
		1º Período	2º Período	3º Período	Total
Quadrado médio					
Blocos	2	190,39*	351,43 ^{ns}	4227,40*	9037,01**
Lâminas (L)	3	508,44**	4403,17**	6519,46**	17742,54**
Linear		530,11**	1103,52 ^{ns}	2450,99*	3564,70**
Quadrático		409,89**	10417,78**	17105,10**	4520,28**
Resíduo a	6	31,29	239,71	387,14	259,03
Doses (D)	3	482,98**	1688,30**	660,21 ^{ns}	1997,50 ^{ns}
Linear		1442,57**	2812,46**	1262,81 ^{ns}	3,5196 ^{ns}
Quadrático		1,79 ^{ns}	638,78 ^{ns}	459,98 ^{ns}	
Cúbica		-	-	-	4,6853**
Interação L x D	9	1836,45**	1483,85**	379,10 ^{ns}	5662,94**
Resíduo b	24	101,07	353,86	503,81	727,11
Média geral (%)		37,72	59,48	86,48	183,69
Coeficiente de variância a (%)		14,83	26,03	22,75	8,76
Coeficiente de variância b (%)		26,65	31,62	25,95	14,68
Shapiro-Wilk (p-valor)		0,183	0,273	0,171	0,67
Levene (p-valor)		0,85	0,75	0,20	0,62

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); G.L. – Graus de liberdade

No 1º período o modelo polinomial quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de rendimento de óleo essencial em função do incremento das lâminas de irrigação (%CAD). Constatou-se redução na característica avaliada no fator lâmina de irrigação no nível de 0 %CAD, quando o máximo valor estimado foi de $45,24 \text{ kg ha}^{-1}$, diminuindo até 68,9 %CAD, cujo valor de rendimento de óleo estimado correspondente foi de $33,04 \text{ kg ha}^{-1}$. No 2º período, observou-se modelo polinomial quadrático significativo; com acréscimo na característica de 0 até 54,3 % da CAD, onde se obteve o máximo valor de rendimento de óleo de $82,46 \text{ kg ha}^{-1}$; posteriormente ocorreu redução nas estimativas do rendimento até 100% da CAD. No 3º período também foi observado um modelo polinomial quadrático significativo; houve um acréscimo na característica de 0 a 55,3 % da CAD, onde se obteve o máximo valor de rendimento de óleo essencial de $114,65 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 45).

Figura 45 – Rendimento de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

O total do rendimento de óleo essencial por hectare dos três períodos em função das lâminas de irrigação está apresentado na Figura 46. Nota-se um comportamento quadrático da variável resposta e houve um acréscimo de $3,42 \text{ kg ha}^{-1}$ no rendimento de óleo essencial para cada incremento unitário em % da CAD, até o ponto máximo (54,81% CAD; $235,03 \text{ kg ha}^{-1}$).

Segundo Leonardo (2007) o aumento do rendimento de óleo essencial nas folhas e na inflorescência de plantas de *Ocimum basilicum* é diretamente proporcional ao aumento da deficiência hídrica.

Figura 46 – Rendimento de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Considerando o fator potássio, verificou-se comportamento linear decrescente no 1º período, com redução de $0,073 \text{ kg ha}^{-1}$ de óleo essencial para cada kg de potássio aplicado por hectare. Por outro lado, mostrou-se crescente no 2º período (incremento de $0,099 \text{ kg ha}^{-1}$ de óleo essencial por kg de potássio aplicado por hectare) e constante no 3º período (Figura 47).

Figura 47 – Rendimento de óleo essencial de manjerição em função das lâminas de irrigação em diferentes períodos. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Considerando o total dos três períodos o ajuste de modelo polinomial cúbico foi significativo frente aos quadrático e linear, apesar de por muitas vezes não representar aproximação satisfatória do efeito biológico da cultura ao tratamento aplicado. Nota-se o aumento do rendimento de óleo essencial com o incremento das doses de potássio, com valor máximo estimado pelo modelo ajustado de $197,38 \text{ kg ha}^{-1}$ para 200 kg ha^{-1} de potássio.

Figura 48 – Rendimento de óleo essencial de manjerição em função das doses de potássio no total dos três períodos de cultivo. *Significativo ($P < 0,05$) pelo teste t de Student (1908)

Os valores médios de rendimento de óleo essencial para as interações significativas dos tratamentos são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Rendimento de óleo essencial (kg ha^{-1}) de manjerição em função das lâminas de irrigação e doses de potássio

% CAD	Lâmina	Doses de potássio (kg ha ⁻¹)				Médias
		0	50	100	200	
		1º Período				
100		25,13 c B	10,21 c C	76,91 a C	38,75 a A	37,75 a
75		48,29 b A	32,22 b B	26,99 b B	7,01 b B	28,63 b
30		42,74 b A	58,74 a A	11,98 b B	50,43 b B	40,97 a
0		62,82 a A	61,96 a A	24,32 b B	25,06 b B	43,54 a
Médias		44,75 A	40,78 A	35,05 B	30,31 B	
2º Período						
100		17,91 a B	66,40 a A	78,77 a A	52,28 b A	53,84 b
75		61,54 a A	86,56 a A	66,06 a A	59,46 b A	68,41 a
30		47,64 a B	103,26 a A	67,44 a B	101,77 a A	80,03 a
0		44,80 a A	13,74 b B	22,83 b B	61,29 b A	35,67 c
Médias		42,97 a B	67,49 A	58,78 A	68,70 A	
3º Período						
100		73,30	73,09	62,98	96,77	77,29 b
75		1100,57	114,02	110,58	107,87	108,26 a
30		81,71	100,22	104,68	123,20	102,46 a
0		68,05	49,47	52,03	62,13	57,92 b
Médias		81,66 A	84,20 A	82,57 A	97,50 A	
Total						
100		119,35 b B	149,70 b B	218,67 a A	187,80 b A	168,88 c
75		210,42 a A	232,80 a A	203,64 a A	174,35 b A	205,30 b
30		172,10 a B	262,22 a A	184,12 a B	275,40 a A	223,46 a
0		175,68 a A	125,19 b B	99,18 b B	148,48 b A	137,13 d
Médias		169,38 B	192,48 A	176,40 B	196,51 A	

Linhas – letras maiúsculas; Colunas – letras minúsculas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

A comparação entre as médias do rendimento de óleo essencial foi realizada pelo teste múltiplo de média de Scott-Knott, ao nível de probabilidade de 5%. Em geral, os rendimentos de óleo essencial aumentaram na segunda colheita e, em seguida, com a terceira colheita. O aumento do rendimento da segunda ou da terceira colheita pode ser parcialmente devido ao fato de que o manjerição estabeleceu sistemas radiculares e desenvolvimento inferior da haste (que não foi cortada) na primeira colheita. Assim, as plantas precisam de menos recursos para o desenvolvimento de novos ramos e folhas, o que pode resultar em maiores rendimentos de óleo. Resultados semelhantes foram obtidos por Zheljazkov et al. (2008) em estudo de três cultivares de manjerição em colheitas sucessivas.

A diferenciação entre os períodos de colheita ao longo do ano é relato por Chaves (2001) no qual as espécies se adaptam às diferentes situações ambientais e estágios fenológicos, sendo que cada uma dessas características leva a produção diferenciada de óleo essencial e seus compostos.

May et al. (2008b) observaram aumento na massa seca da parte aérea e na produção de óleo essencial ao longo do ciclo de cultivo. O cultivo do manjeriço submetido a cortes sucessivos pode aumentar a produção do óleo em cada colheita. O rendimento de óleo essencial não foi afetado pelo número de cortes e a produção total de óleo essencial nos oito cortes foi de 1157 kg ha⁻¹, mas notou-se redução da produção de massa seca.

Diferente do que foi relatado no estudo de Prakasa Rao et al. (2007), a produção de óleo de manjeriço não foi significativamente determinada pela dose de potássio. Por sua vez, no caso de *Rosa damascena* Mill. a aplicação da dose média de potássio (30 kg ha⁻¹) contribuiu para a máxima concentração de óleo essencial (DANESHKHAH et al. 2007). Um aumento na taxa de NPK no cultivo de camomila contribuiu para um aumento no teor de óleo essencial e de rendimento como descrito por Hendawy e Khalid (2011).

Aplicando-se análise de regressão múltipla não linear para as lâminas de irrigação e doses de potássio, constataram-se efeitos lineares e quadráticos significativos (Tabela 29).

Tabela 29 – Estimativas dos coeficientes do modelo final para o rendimento de óleo essencial (kg ha⁻¹) de manjeriço em função das lâminas de irrigação e doses de potássio

Fato de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Probabilidade
Modelo	5	193380,9	86,8	0,0001
Resíduo	42	2228,3		
Parâmetros	Coeficientes	Erro padrão	Teste t	Probabilidade
Intercepto	138,196*	20,27	6,81	0,0000
L	3,214*	0,73	4,37	0,0000
L ²	-0,0312*	0,0068	-4,56	0,0000
D	0,0532 ^{ns}	0,353	0,150	0,8809
D ²	-0,0001 ^{ns}	0,0015	-0,076	0,9396
L x D	0,0015 ^{ns}	0,0024	0,616	0,5414

* coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 1% de probabilidade;

^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$).

A representação gráfica do modelo da Tabela 29 corresponde a uma superfície de resposta tridimensional (Figura 49), na qual são indicadas as possíveis combinações de lâminas de irrigação e doses de potássio que resultam no mesmo rendimento de óleo essencial do manjeriço. O rendimento máximo de óleo essencial coincidiu com a maior dose de potássio, estimado em 242,6 kg ha⁻¹, e com a lâmina de irrigação correspondente a 54,81% da CAD.

De acordo com Corrêa Junior et al. (1994) e Pravuschi (2008) plantas irrigadas podem compensar o teor de princípios ativos com maior produção de biomassa, o que resulta em maior rendimento final de princípios ativos por área.

De acordo com Blank et al. (2004), quanto à espécie *Ocimum basilicum*, os genótipos PI197442 e PI358472 apresentaram os maiores teores de óleo essencial com 2,536 e 1,957 ml 100 g⁻¹ com relação à massa seca de folhas e inflorescências, enquanto que o OCI-33 e PI197442 apresentaram os maiores rendimentos de óleo essencial com 30,081 e 21,817 L ha⁻¹, respectivamente. O acesso de *Ocimum gratissimum* mais produtivo foi PI211715 com teor de óleo essencial de 1,350 ml 100g e produtividade de 26,295 L ha⁻¹.

Figura 49 – Rendimento de óleo essencial (kg ha⁻¹) do manjericão em função das lâminas de irrigação e doses de potássio

4.2.4 Aspectos nutricionais

Realizou-se a análise foliar na fase fenológica do florescimento, isto é, no momento da colheita do manjericão. A concentração de nutrientes na folha do manjericão, além de refletir o seu estado nutricional, evidencia os efeitos das doses crescentes do potássio na absorção dos nutrientes na planta. Na análise de variância, não se observou significância para a interação período de colheita x dose de potássio para os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, com exceção do enxofre (Tabela 30).

Tabela 30 – Resumo da análise de variância referente aos macronutrientes da folha do *Ocimum basilicum* em quatro doses de potássio e três períodos de colheita

Fator de variação	G.L.	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Período de colheita (P)	2	111,172 ^{**}	14,681 ^{**}	156,216 ^{**}	0,578 ^{ns}	19,221 ^{**}	76,485 ^{**}
Doses de potássio (D)	3	11,325 ^{ns}	0,873 ^{ns}	12,829 ^{ns}	0,744 ^{ns}	0,793 ^{**}	0,634 ^{**}
Interação P x D	6	0,016 ^{ns}	0,296 ^{ns}	0,2188 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0829 ^{ns}	0,024 ^{**}
Resíduo	24	15,143	0,313	10,007	2,706	0,063	0,171
Média geral (g kg ⁻¹)		46,80	6,32	26,93	21,85	3,58	7,48
Coefficiente de variação (%)		8,31	8,86	11,74	7,53	7,21	5,53

^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{*} significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ao nível ($p \geq 0,05$); G.L. – Graus de liberdade

Nos resultados da análise foliar (Tabela 30) verifica-se que as folhas apresentavam de uma forma geral, concentrações médias superiores às consideradas adequadas para a cultura do manjeriço, com exceção do K, que foi adequado, de acordo com as recomendações de Succop (1998). Entre estas estão o N na concentração de 25 a 35 g kg⁻¹; P de 2 a 4 g kg⁻¹; K de 15 a 30 g kg⁻¹; Ca de 3 a 10 g kg⁻¹; Mg de 2,5 g kg⁻¹ e o S de 1,5 a 5 g kg⁻¹.

Aboutalebi et al. (2013a) avaliaram o efeito de adubos orgânicos e inorgânicos em duas cultivares de manjeriço e encontraram valores superiores de concentração foliar de P, Mg e Ca. Esses resultados corroboram com os encontrados por Dzida (2010); o autor em estudo com doses de carbonato de cálcio em duas cultivares de manjeriço encontrou valores semelhantes de concentração foliar de N, Ca e Mg aos verificados no presente estudo.

Majkowska-Gadomska et al. (2014) avaliaram o efeito de diferentes épocas de plantio nas concentrações foliares de três cultivares de manjeriço. Os autores concluíram que houve diferenças dos macronutrientes foliares entre as cultivares, mas na época de plantio não houve diferença estatística nos teores de macronutrientes nas folhas de manjeriço. Os valores médios de concentrações foliares foram: N – 11,8 g kg⁻¹; P – 2,9 g kg⁻¹; K – 11,7 g kg⁻¹; Mg – 1,6 g kg⁻¹; Ca – 8,1 g kg⁻¹.

Em relação ao cálcio, não houve diferença estatística ($p \geq 0,05$) entre os fatores de variação aplicados, assim como, para sua interação (P x D), verificando-se que não houve uma inibição competitiva que pode ocorrer entre o nutriente Ca e o K (MALAVOLTA, 1989). Esses resultados confirmam os encontrados por Lucas (2012) ao estudar doses crescentes de potássio na cultura do maracujazeiro amarelo.

O magnésio é um nutriente que pode competir com o K, porém nesse experimento não houve um equilíbrio entre esses nutrientes, não ocorrendo essa competição. A maior concentração de Mg nas folhas de manjeriço foi no 1º período (4,91 g kg⁻¹) e a menor concentração no 3º período (2,38 g kg⁻¹) Nota-se uma redução na concentração nos períodos de colheita. O Mg é um elemento que está relacionado com a clorofila da planta e como o solo

apresentava condições adequadas desse nutriente não foi possível avaliar essa diferença nos dois primeiros períodos de colheita. Porém, na terceira colheita possivelmente o nível desse macro elemento era reduzido, não havendo reposição do mesmo passou a ser significativo em relação às colheita iniciais. Geralmente, a adubação com Mg é realizada via calagem do solo e em função das condições iniciais do solo este procedimento não foi realizado o que pode ter sido mais um fator a contribuir nessa diferença entre os tratamentos.

A redução dos teores de Mg nas folhas é atribuída ao efeito competitivo entre os íons K e Mg. A redução do teor de Mg nas folhas nos períodos de colheita pode ser atribuída ao fato do sistema radicular estar ainda pouco desenvolvido (1º e 2º período), não atingido a área onde o adubo foi aplicado, estando, portanto, impossibilitado de absorver o K adicionado. De acordo com os dados de Biesida e Kús (2010) e Zengin et al. (2007) o nível médio de cálcio foliar no manjerição foi de 20,0 a 33,6 g kg⁻¹, e de magnésio de 1,5 a 3,1 g kg⁻¹, concordando com os resultados obtidos no presente estudo. O enxofre é um nutriente pouco estudado e, em geral, sua necessidade é suprida quando se faz uso de adubação com sulfato e matéria orgânica. A concentração desse nutriente nas folhas do manjerição não tem efeito sobre a fonte de variação potássica, entretanto, houve um aumento de concentração nos períodos. A menor concentração foi obtida no 1º período (5,11 g kg⁻¹). Com exceção do Ca, em todos os macronutrientes foi observado o efeito do fator período de colheita. Nas folhas a partir da segunda colheita a concentração de Mg diminuiu, enquanto que as concentrações foliares de N, P, K e S aumentavam (Figuras 50 e 51).

Figura 50 – Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio foliar do *Ocimum basilicum* nos períodos de colheita, em função das doses de potássio

Figura 51 – Concentração de magnésio e enxofre foliar do *Ocimum basilicum* nos períodos de colheita, em função das doses de potássio

A disponibilidade de nutrientes não é determinada apenas pelo seu valor, mas também por suas proporções relativas (Figura 52). Nas folhas de manjeriço, os valores da relação Ca:P variaram de 4,18 no 1º período de colheita para 2,95 no 3º período de colheita, valores próximos aos observados por Majkowska-Gadomska et al. (2014), de 2,8 no manjeriço “roxo” e 4,8 no manjeriço “doce”. A relação Ca:Mg indica uma deficiência alta em magnésio. De acordo com Barczak et al. (2008), a proporção Ca:Mg deve permanecer em 3, valores mais elevados indicam excesso de absorção de cálcio, em detrimento do magnésio. A razão $K:(Ca+Mg)$, é considerado um importante indicador do valor nutricional das plantas, não devendo ser superior a 2,2 (SZPUNAR-KROK, 2011). As proporções nas folhas de manjeriço variaram de 0,9 a 1,27 nos períodos de colheita. A relações Ca:Mg e $K:(Mg+Ca)$

são semelhantes às obtidas por Majkowska-Gadomska et al. (2014); os autores encontraram valores de 2,5 a 4,1 para Ca:Mg e 0,9 a 1,5 e Ca:Mg.

Figura 52 – Relações de Ca:P, Ca:Mg e K:(Mg+Ca) nas folhas de *Ocimum basilicum* no três períodos de colheita

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o experimento foi conduzido e os resultados obtidos, foi possível chegar as seguintes conclusões:

As lâminas de irrigação e doses de potássio proporcionaram incremento no rendimento de óleo essencial do *Ocimum basilicum* L.

O consumo hídrico da cultura nos períodos de cultivo I, II e III foi de 70,91 mm, 103 mm e 187 mm, respectivamente, correspondendo à lâmina diária média de 1,03; 1,84 e 3,07 mm d⁻¹. A estimativa do Kc e do IC em função do GD foram altamente significativas para a cultura do manjeriço, nos três períodos de cultivo estudados.

O modelo exponencial da área foliar obtida por meio do método de fotos digitais em função da área da retangular, $Y_i = 10^{0,8205 A_{\text{retângulo}}}$, com um viés (0,0052 cm²), é adequado para estimar a área foliar de *Ocimum basilicum* L. Mas estimativas são mais precisas quando são utilizadas o modelo exponencial da área da elipse. O modelo $Y_i = 10^{0,92327 A_{\text{elipse}}}$.

A propagação por estaquia de *Ocimum basilicum* L. pode ser realizada tanto por substrato Plantmax sem tratamento de ácido indolbutírico, como pela areia lavada com o tratamento de ácido indolbutírico na concentração de 2000 mg L⁻¹ para a produção de mudas.

REFERÊNCIAS

- ABOUTALEBI, A.; ARADOOEI, S.; ZAKERIN, A. Effect of different levels of irrigation period and foliar application of methanol on essence of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). **Annals of Biological Research**, Teerã, v. 4, n. 6, p. 220-223, 2013a.
- ABOUTALEBI, A.; JAHROMI, M.G.; FARAH, M.H. Evaluation of growth and yield of organically-grown basil (*Ocimum basilicum* L.) in soilless culture. **International journal of food**, Helsinki, v. 11, n. 1, p. 299-301, 2013b.
- ALBUQUERQUE U.P.; ANDRADE, L.H.C. El genero *Ocimum* L. (Lamiaceae) en el nordeste del Brasil. **Anales Jardín Botánico de Madrid**, Madrid, v. 56, n. 1, p. 43-64, 1998.
- ALLEN, R.G. **REF-ET for Windows ver. 2.0**—reference evapotranspiration calculation software. Kimberly, 2000. Disponível em: <<http://extension.uidaho.edu/kimberly/tag/reference-evapotranspiration/>>. Acesso em: 11 ago. 2014.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, D. **Manual de culturas hortícolas**. Lisboa: Presença, 2006. 360 p.
- AMARO, H.T.R.; SILVEIRA, J.R.; DAVID, A.M.S.S.; RESENDE, M.A.V.; ANDRADE, J.A.S. Tipos de estacas e substratos na propagação vegetativa da menta (*Mentha arvensis* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 313-318, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**, Recife, v. 2, n. 4, p. 303-307, 2007.
- ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; MATTA, F.M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*). **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 153, n. 5, p. 33-40, 2008.
- ANWAR, M.; PATRA, D.D.; CHAND, S.; KUMAR, A.; NAQVI, A.A.; KHANUJA, S.P.S. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 13/14, p. 1737–1746, 2005.
- ARABACI, O.; BAYRAM, E. The effect of nitrogen fertilization and different plant densities on some agronomic and technologic characteristic of *Ocimum basilicum* L. (basil). **Journal Agronomic**, Madison, v. 3, n. 2, p. 255-262, 2004.
- ASADOLLAHI, A.; MIRZA, M. ABBASZADEH, B. Comparison of essential oil from leaves and inflorescence of three Basil (*Ocimum basilicum* L.) populations under drought stress. **International journal of Agronomy and Plant Production**, Amsterdam, v. 4, n. 10, p. 2764-2767, 2013.

AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. **Official analytical methods of the American Spice Trade Association**. 2nd ed. Englewood Cliffs, 1968. 53 p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura**. 2nd ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1

BADU-APRAKU, B.; OYEKUNLE, M.K.; OBENG-ANTWI, OSUMAN, A.S.; ADO, S.G.; COULIBAY, N.; YALLOU, C.G.; ABDULAI, M.; BOAKYEWA G.A.; DIDJEIRA A.. Performance of extra-early maize cultivars based on GGE biplot and AMMI analysis. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 150, n. 4, p. 473-483, 2012.

BARATA, L.E.S.; VILHA, A.M.; CARVALHO, R.Q. Mercado de perfumaria e cosmética no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, 3., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: SBOE, 2005. 1 CD-ROM.

BARBOSA, F.F.; BARBOSA, L.C.A.; MELO, E.C.; BOTELHO, F.M.; SANTOS, R.H.S. Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *lippia alba* (mill) N. E. Brown. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1221-1225, 2006.

BARREIROS, A.L.B.; DAVID, M.D.; DAVID, J.P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativa e defesa do organismo. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 113-123, 2006.

BARCZAK, B.; KOZERA W.; RALCEWICZ M.; KNAPOWSKI T. The contents and ionic ratios of the select- ed components of bean in the background of fertilization with microelements. **Journal Central Europe Agriculture**, Nitra, v.9, n. 4, p. 771-776, 2008

BIESIADA, A.; KUS, A. The effect of nitrogen fertilization and irrigation on yielding and nutritional status of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). **Acta Scientiarum Polonorum**, Poznań, v. 9, n. 2, p. 3-12, 2010.

BIOGENIC STIMULANTS. **The wormwood oil**. Disponível em: <<http://www.bpg.bg/bulgarianrose/essentialoils/oils/wormwood.phtml>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The Lancet**, London, v. 327, n. 8476, p. 307-310, 1986.

BLANK, A.F.; SILVA, P.A.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; SILVA- MANN, R.; BARRETO, M.C.V. Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo de manjerição cv. Genovese. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 175-180, 2005.

BLANK, A.F.; SOUZA, E.M. de; ARRIGONI-BLANK, M.F.; PAULA, J.W.A. de; ALVES, P.B. Novas Cultivares Maria Bonita: cultivar de manjerição tipo linalol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1811-1813, 2007.

BLANK, A.F.; CARVALHO FILHO, J.L.S.; ALVES, P.B.; RODRIGUES, M.O.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; SILVA-MANN, R.; MENDONÇA, M.C. Efeito do horário de colheita e secagem de folhas de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) cultivar FinoVerde no óleo essencial e seus constituintes químicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, 2., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2003. p. 144.

BLANK, A.F.; CARVALHO FILHO, J.L.S.; SANTOS NETO, A.L.; ALVES, P.B.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; SILVA-MANN, R.; MENDONÇA, M.C. Caracterização morfológica e agrônômica de acessos de manjerição e alfavaca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 113-116, 2004.

BORDIN, I.; HIDALGO, P.C.; BÜRKLE, R.; ROBERTO, S.R. Efeito da presença da folha no enraizamento de estacas semilenhosas de porta-enxertos de videira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 215-218, 2005.

BOSCO, L.C.; BERGAMASCHI, H.; CARDOSO, L.S.; PAULA, V.A.; CASAMALI, B. Seleção de modelos de regressão para estimar a área foliar de macieiras ‘Roayal Gala’ e ‘Fuji Suprema’ sob tela antigranizo e em céu aberto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 504-514, 2012.

BOTREL, P.P.; PINTO, J.E.B.P.; ARAÚJO, A.C.C.; BERTOLUCCI, S.K.V. Variação no teor e na composição volátil de *Hyptis marrubioides* EPL. cultivada no campo e em casa de vegetação. **Revista Química nova**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 33-37, 2010.

BOWES, K.; ZHELJAZKOV, V.D. *Ocimum sanctum* L. and *Ocimum basilicum* L. grown in Nova Scotia, Canada show potential as essential oil crops. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.129, n.6, p.789-794, 2004.

BOX, G.E.P. Non-normality and tests on variance. **Biometrika**, London, v. 40, n. 4, p. 318-335, 1953.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An Analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Response surfaces, mixtures, and ridge analyses**. 2nd ed. New Jersey: Wiley-Interscience. 2007. 857 p.

BRASIL. **Plantas medicinais e orientações gerais para cultivo**: boas práticas agrícolas de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2006. 48 p.

BRITO, A.C. **Emergência de plântulas e propriedades do pólen e do estigma do manjerição (cultivar Maria Bonita) com vistas à hibridação artificial**. 2009. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2009.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CANTARELLI, E.B.; COSTA, E.C.; OLIVEIRA, L.SILVA; PERRANDO, E.R. Efeito de diferentes doses de formicida Citromax no controle de *Acromyrmex lundii* (Hymenoptera: Formicidae). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 249-253, 2005.

CARDOSO, C.; YAMAMOTO, L.Y.; PRETI, E.A.; ASSIS, A.M.; NEVES, C.S.V.J.; ROBERTO, S.R. AIB e substratos no enraizamento de estacas de pessegueiro “Okinawa” coletadas no outono. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1307-1314, 2011.

- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A.L. CASARROTO, G. Estimativa da área foliar de nabo forrageiro em função de dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 47-51, 2012.
- CARVALHO, A.C.B.; NUNES, D.S.G.; BARATELLI, T.G.; SHUQAIR, N.S.M.S.A.Q.; NETTO, E.M. Aspectos da legislação no controle dos medicamentos e fitoterápicos. **T & C Amazônia**, Manaus, v. 5, n. 11, p. 1-7, 2007.
- CARVALHO, D.F.; LIMA, M.E.; OLIVEIRA, A.D.; ROCHA, H.S.; GUERRA, J.G.M. Crop coefficient and water consumption of eggplant in no-tillage system and conventional soil preparation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 784-793, 2012.
- CARVALHO, F.R. A ecologia no cultivo de plantas medicinais. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 85-90, 2012.
- CARVALHO FILHO, J.L.S.; BLANK, A.F.; ALVES, P.B.; EHLERT, P.A.D.; MELO, A.S.; CAVALCANTI, S.C.H.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; SILVA-MANN, R. Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, João Pessoa, v. 16, n. 1, p. 24-30, 2006.
- CASTRO, H.G.; FERREIRA, F.A.; SILVA, D.J.H.; MOSQUIM, P.R. **Contribuição ao estudo das plantas medicinais: metabólitos secundários**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2004, 113 p.
- CHALCHAT J.; OZCAN, M.M. Comparative essential oil composition of flowers, leaves and stems of basil (*Ocimum basilicum* L.) used as herb. **Food Chemistry**, London, v. 110, n. 2, p. 501-503, 2008.
- CHANG, X. **Effects of light and temperature on volatile oil compounds and growth in Basil (*Ocimum basilicum* L.)**. 2004. 199 p. Thesis (Ph.D. in Philosophy) - University of Nottingham, Nottingham, 2004.
- CHANG, X.; ALDERSON, P.G.; WRIGHT, C.J. Effect of temperature of integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum Basilicum* L.). **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v. 80, n. 5, p. 593-598, 2005.
- CHATTERJEE S., HADI A.S. **Regression analysis by example**. 5th ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 2006. 424 p.
- CHAVES, F.C.M. **Produção, rendimento e composição óleo essencial de alfava-cravo (*Ocimum grantissimum* L.) em função da adubação orgânica e época de corte**. 2001. 146 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2001.
- CHOUDHURY, S.M.; BORDOLOI, D.N. Effect of sowing on the growth, yield and oil quality of *Ocimum gratissimum*. **Indian Perfumer**, New Delhi, v. 30, n. 3, p. 254-260, 1986.
- CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, F.R. Efeito de variáveis meteorológicas sobre a evapotranspiração de referência em uma região de clima tropical úmido do Brasil. In: REUNIÓN ARGENTINA Y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 2004, Mar Del Plata. **Anais...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. p. 27.

CORRÊA, R.M.; CORRÊA, S.K.V.B.; PINTO, J.E.B.P.; REIS, E.S.; ALVES, L.A. Rendimento de óleo essencial e caracterização organolépticas de folhas de assa-peixe submetidas a diferentes métodos de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 339-344, 2004.

CORRÊA JUNIOR, C.; MING, L.C.; SCHEFFER, M.C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP. 1994. 162 p.

COSCOLIN, R.B.S. **Efeitos fisiológicos e bioquímicos induzidos por deficiência hídrica em plantas de *Ocimum basilicum* L.** 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

COSTA, L.C.B.; PINTO, J.E.B.P.; BERTOLUCCI, S.K.V. Comprimento da estaca e tipo de substrato na propagação vegetativa de atroveran. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1157-1160, 2007.

COSTA FILHO, L.O.; ENCARNAÇÃO, C.R.F.; OLIVEIRA, A.F.M. Influência hídrica e térmica e desenvolvimento de *Ocimum gratissimum* L. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 8, p. 8-13, 2006.

COX, W.J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 3, p. 489-496, 1996

DANESHKHAH, M.; MOHSEN, K.; NIKBAKHT A. Effects of different levels of nitrogen and potassium fertilizers on flower yield and essential oil content of *Rosa damascena* Mill. from Barzok of Kashan. **Journal of Horticultural Science and Technology**, Iranian, v. 8, n. 2, p. 83-90, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DUKE, J.A.; HURST, S.J. Ecological amplitudes of herbs, spices and medicinal plants. **Lloydia**, Cincinnati, v. 38, n. 5, p. 404-410, 1975.

DUTRA, L.F.; KERSTEN, E.; FACHINELLO, J.C. Época de coleta, ácido indolbutírico e triptofano no enraizamento de estacas de pessegueiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 327-333, 2002.

DZIDA, K. Nutrients contents in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) herb depending on calcium carbonate dose and cultivar. **ACTA Scientiarum Polonorum**. Poznań, v. 9, n. 4, p. 143-151, 2010.

EKREN, S.; SÖNMEZ, Ç.; ÖZÇAKAL, E.; KURTTAS, Y.S.K.; BAYRAM, E.; GURGULU, H. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 109, p. 155-161, 2012.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ERENO, D. Perfume de manjeriço. **Revista FAPESP**, São Paulo, n. 120, p. 72-75, 2006.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.).

Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 8, p. 551-594.

ESPINOSA, W.; REIS, A.E.G. Lixiviação de Ca, K e Mg em um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) de cerrados. I. Magnitude do fenômeno na época chuvosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 299-317, 1982.

EZZ EL-DIN, A.; HENDAWY S.F.; AZIZ E.E.; OMER E.A. Enhancing growth, yield and essential oil of caraway plants by nitrogen and potassium fertilizers. **International Journal of Academic Research**, Baku, v. 2, n. 3, p. 192-197, 2010.

FABROWSKI, F.J. *Eucaliptus smithii* R. T. BAKER (Myrtaceae) como espécie produtora de óleo essencial no sul do Brasil. 2002. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. (Ed.). **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: EMBRAPA, 2005. 221 p.

FARIAS, S.D. **Produção de biomassa de manjeriço em função de lâminas de irrigação e adubação potássica**. 2006. 38 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2011.

FERNANDES, P.C.; FACANALI, R.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; MARQUES M.O.M. Cultivo de manjeriço em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 260-264, 2004.

FILGUEIRA F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FONSECA, É.P.; VALERI, S.V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N.A.N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de trema *micrantha* (L.) Blume produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

FRANCISCO, J.P. **Fertirrigação do abacaxi cultivar vitória com vinhaça: efeitos no solo e na planta**. 2014. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

FRANCISCO, J.P.; JOSÉ, J.V.; FERNANDES, R.D.M.; DIOTTO, A.V.; MARQUES, P.A. A.; FOLEGATTI, M.V. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em um nitossolo vermelho distrofico e em um latossolo vermelho amarelo In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INOVAGRI, 2014. p. 1915-1921.

FURLAN, M.C. **Efeito da adubação com N, P₂O₅-K₂O sobre a biomassa, o rendimento e a composição do óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. cv. genovese.** 2000. 172 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000.

FURLANI, P.R. **Instruções para Cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1998. 30 p. (IAC. Boletim Técnico, 168).

GABRIEL, K.R. The biplot graphic of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.

GOLLOB, H.F. A statistical model which combines features of factor analytic e analysis of variance. **Psychometrika**, Williamsburg, v. 33, n. 1, p. 73-115, 1968.

GOMES, J.M. **Parâmetros na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de NPK.** 2001. 166 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GROSSMAN, L. **Óleos essenciais:** na culinária, cosmética e saúde. São Paulo: Optionline, 2005. 301 p.

GUENTHER, E. **The essential oils.** Malabar: Krieger, 1972. 427 p.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JUNIOR, F.T.; GENEVE, R.L. **Plant propagation:** principles and practices. 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 880 p.

HAY, K.M., WATERMAN, P.G. **Volatile oil crops:** their biology, biochemistry and production. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1993. 185 p.

HENDAWY, S.F.; KHALID, K.A. Effect of chemical and organic fertilizers on yield and essential oil of chamomile flower heads. **Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology**, Miki cho, v. 5, n. 1, p. 43-48. 2011

HIRAKATA, V.N.; CAMEY, S.A.C. Análise de concordância entre métodos de Bland-Altman. **Clinical and Biomedical Research**, Porto Alegre, v. 29, n. 3, p. 261-268, 2009

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, n. 1, p. 519-570, 1973.

HUNT, G.A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: TARGET SEEDLINGS SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, 1990, Roseburg. **Proceedings...** Fort Collins: USDA, Forest Service, 1990. p. 218-222.

JANNUZZI, H. **Rendimento e caracterização química do óleo essencial de genótipos de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) no Distrito Federal**. 2013. 69 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

KANDIANNAN, K.U.; PARTHASARATHY, K.S.; KRISHNAMURTHY, C.K.; THANKAMANI, V.S. Modelling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, n. 4, p. 532-537, 2009.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431 p.

KHALID, K.A. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). **International Agrophysics**, Lublin, v. 20, n. 4, p. 289-296, 2006.

KRUGER, H.; WETZEL, S.B.; ZEIGER, B. The chemical variability of *Ocimum* species. **Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants**, Birmingham, v. 9, n. 2, p. 335-344, 2002.

LABRA, M.; MIELE, M.; LEDDA, B.; GRASSI, F.; MAZZEI, M.; SALA, F. Morphological characterization, essential oil composition and DNA genotyping of *Ocimum basilicum* L. cultivars. **Plant Science**, Limerick, v. 167, n. 4, p. 725-731, 2004.

LASCANO, R.J.; SOJKA, R.E. **Irrigation of agricultural crops**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 2007. 664 p.

LAVORANTI, O.J.; LINS, A.C.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A. **Modelagem AMMI para estudos de interação em modelos estatísticos de efeitos fixos**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2004. 7 p. (Comunicado Técnico, 124).

LAWRENCE, B.M.; MOOKHEYEE, B.D.; WILLIS, B.J. (Ed.). **Developments in food sciences, flavors and fragrances: a world perspective**. Amsterdam: Elsevier, 1988. 161 p.

LEAL, D.P.V. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar e fotossíntese acumulada em biomassa e energia, para diferentes variedades, disponibilidades hídricas no solo e ciclos de cultivos**. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LEE, J.; SCAGEL, C.F. Chicoric acid found in basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. **Food Chemistry**, Reading, v. 115, n. 2, p. 650-656, 2009.

LEE, S.J.; UMANO, K.; SHIBAMOTO, T.; LEE, K.G. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, London, v. 91, n. 1, p. 131-137, 2005.

LEMBERKOVICS, E.; NGUYEN, H.; MDTHÉ, J. I.; TARR, K.; PETRI, G.; VITÁNYI, G. Formation of essential oil and phenolic compounds during the vegetation period in *Ocimum basilicum*. **Planta Medica**, New York, v. 59, n. 344, p. 334-346, 1993.

LEONARDO, M. **Produção de óleo essencial associado à deficiência hídrica em plantas de *Ocimum basilicum* L. cv. Genovese**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2007.

LIMA, C.J.G.S. **Manejo da fertirrigação no cultivo de roseiras em ambiente protegido**. 2013. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

LIMA, M.L.S.; SOUZA, B.S.; OLIVEIRA, A.M.; TORRES, S.B. Efeito da temperatura e da luz na germinação de sementes de Alfavaca (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 31-33, 2007.

LOOSE, L.H.; MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LUCAS, D.D.P.; RIGHI, E.Z. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da berinjela cultivada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 250–257, 2014.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 544 p.

LOURENÇO, R.S.; MEDRADO, M.J.S.; FOWLER, J.A.P.; MOSELE, S.H. Influência do substrato no desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Perspectiva**, Erechim, v. 24, n. 88, p. 81-99, 1999.

LUCAS, A.A.T. **Resposta do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* ins var. *flavicarpa* Deg) a lâminas de irrigação e doses de adubação potássica**. 2002. 88 p. Dissertação. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LUZ, J.M.Q.; MORAIS, T.P.S.; BLANK, A.F.; SODRÉ, A.C.B.; OLIVEIRA, G.S. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de manjerição sob doses de cama de frango. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 349-353, 2009.

LYRA, G.B.; SILVEIRA, E.L.; LYRA, G.B.; PEREIRA, C.R.; SILVA, L.D.B.; SILVA, G.M. Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 784-793, 2012.

MAIA NB. 2005. **Perfume de manjerição**. Disponível em <[http://www.fapesp.br/materia.php?data\[id_materia\]=2267](http://www.fapesp.br/materia.php?data[id_materia]=2267)>. Acesso em: 15 out. 2013.

MAIRAPETYAN, S.K. Aromatic plant culture in open air hidroponics. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 502, n. 3, p. 33-36, 1999.

MAJKOWSKA-GADOMSKA, J.; WIERZBICKA, B.; DZIEDZIC, A. The effect of seedling planting time on macroelement and microelement concentrations in Basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 23, n. 1, p. 125-129, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201 p.

MARACAJÁ, P.B.; MADALENA, J.A.; ARAÚJO E.; LIMA, B.G.; LINHARES, P.C. Estimativa de área foliar de juazeiro por dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Verde de Agroecologia**, Pombal, v. 3, n. 4, p. 1–5, 2008.

MAROTTI, M.; PICCAGLIA, R.; GIOVANELLI, E. Differences in essential oil composition of Basil (*Ocimum basilicum* L.) italian cultivars related to morfological characteristics. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 44, n. 12, p. 3926-3929, 1996.

MARQUES, P.A.A.; FAUS, J.F.G.; SILVA, B.C.P.; JOSÉ, J.V. Teor do óleo essencial de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) em diferentes horários de colheita. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 21., 2013, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SIICUSP, 2013. p. 1.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa: UFV, 1994. 220 p.

MARTINS, E.R.; FIGUEIREDO, L.S. Cultivo de plantas medicinais. In: LEITE, J.P.V. **Fitoterapia: bases científicas e tecnológicas**. São Paulo: Atheneu, 2009. cap. 2, p. 143-167.

MATERA, P.; MATERA, D. **Herbs for all**. Warszawa: IWZZ, 1990. 72 p.

MATSUMOTO, S.N.; ARAUJO, G.S.; VIANA, A.E.S. Growth of sweet basil depending on nitrogen and potassium doses. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 489-493, 2013.

MATTANA, R.S.; FRANCO, V.F.; YAMAKI, H.O.; MAIA E ALMEIDA, C.I.; MING, L.C. Propagação vegetativa de plantas de pariparoba (*Pothomorphe umbellata* L.) em diferentes substratos e números de nós. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 325-329, 2009.

MAUAD, M.; FELTRAN, J.C.; CORRÊA, J.C.; DAINESE, R.C.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Enraizamento de estacas de azaléia tratadas com concentrações de ANA em diferentes substratos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 771-777, 2004.

MAY, A.; PINHEIRO, M.Q.; SACCONI, L.V.; JESUS, J.P.F. **Manjerição (*Ocimum basilicum*)**. Campinas: IAC, 2008a. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/tecnologias/manjericao/manjericao.htm>>. Acesso em: 05 out. 2013.

MAY, A.; BOVI, O.A.; MAIA, N.B.; BARATA, L.E.S.; SOUZA, R.C.Z., SOUZA, E.M.R.; MORAES, A.R.A.; PINHEIRO, M.Q. Basil plants growth and essential oil yield in a production system with successive cuts. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 385-389, 2008b.

MAZUTTI, M.; BELEDELLI, B.; MOSSI, A.J.; CANSIAN, R.L.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, J.V. Caracterização química de extratos de *Ocimum basilicum* L. obtidos através de extração com CO₂ a altas pressões. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1198-1202, 2006.

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N.R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1733-1742, 2000.

- MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.4, p.513-519, 2004.
- MEDICI, L.O.; ROCHA, H.S.; CARVALHO, D.F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R.A.; Automatic controller water plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v.67, n.6, p.727-730, 2010.
- MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S., SUGAWARA, M.T.; PEÇANHA, A.L.; GOTTARDO, R.D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.471-475, 2007.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MIGUEL, A.A.; OLIVEIRA, L.E.M.; MESQUITA, A.C.; CAIRO, P.A.R.; BONOME, L.T. S.; OLIVEIRA, D. M. Estimativa da área foliar de seringueira usando o método das dimensões. **Revista Agrarian**. Dourados, v.4, n.13, p.165-171, 2011.
- MILNER, L. Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n.70, p.122, 2002.
- MINAMI, K.; SUGUINO, E.; MELLO, S.C.; WATANABE, A.T. **A cultura do manjerição**. Série produtor rural nº 36. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca e documentação, 2007. 25 p.
- MING, L.C.; CHAVES, F.C.M.; MARQUES, M.O.M; MEIRELES, M.A.A. Produção sazonal de óleo essencial em uma população natural de *Piper aduncum* L., em Adrianópolis-PR. **Horticultura Brasileira**, Botucatu, v.20, Suplemento, 2002.
- MOEINI ALISHAH, H.; HEIDARI, R.; HASSANI, A.; ASADI DIZAJI, A. Effect of water stress on some morphological and bio- chemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). **Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v.6, n.4, p.763-767, 2006.
- MONTANARI JUNIOR, I. Aspectos do cultivo comercial de calêndula. **Revista Agroecológica**, Porto Alegre, v.1, n.2, p.24-25, 2000.
- MORAIS, L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.4050-4063, 2009.
- MORAIS, T.P.S. **Produção e composição do óleo essencial de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) sob doses de cama de frango**. 2011. 37 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- MUNNU, S.; SINGH, M. Effect of nitrogen and irrigation regimes on the yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). **Journal of Spices and Aromatics Crops**, New Delhi, v. 11, n. 2, p. 151-154, 2002.
- NURZYŃSKA-WIERDAK, R. Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition. **Acta Scientiarum Polonorum**, Szczecin, v. 12, n. 5, p. 3-16, 2013.

NURZYNSKA-WIERDAK, R.; BOROWSKI, B. Changes in the content and chemical composition of sweet basil essential oil under the influence of fertilization of plants with nitrogen and potassium. **Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska**, Lublin, v. 3, n. 15, p. 133-145, 2011.

NURZYNSKA-WIERDAK, R.; ROZEK, E.; BOROWSKI, B. Response of different basil cultivars to nitrogen and potassium fertilization: total and mineral nitrogen content in herb. **Acta Scientiarum Polonorum**, Szczecin, v. 10, n. 4, p. 217-232, 2011.

OJEDA-SILVEIRA, C.M.; NIETO-GARIBAY, A.; REYNALDO-ESCOBAR, I.M. Tolerancia al estrés hídrico en variedades de Albahaca *Ocimum basilicum* L. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 31, n. 2, p. 145-154, 2013.

OLIVEIRA, F.; AKISUE, G.; AKISUE, M.K. **Farmacognosia**. São Paulo; Rio de Janeiro; Belo Horizonte: Atheneu, 1996. 13 p.

OLIVEIRA, J.M.; RAMIREZ, A.G. **Processos industriais de óleos essenciais: equipamentos utilizados e análises de purezas do óleo**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/upload>>. Acesso em: 11 out. 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.C.; FAQUIN, V.; PINTO, J.E.B.P. Efeitos de calagem e adubação no crescimento e nutrição de arnica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 347-351, 2006.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

OMIDBAIGI, R.; HASSANI, A.; SEFIDKON, F. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) at different irrigation regimes. **Journal of essential oil-bearing plants**, Nainital, v. 6, n. 2, p. 104-108, 2013.

ONO, E.; RODRIGUES, J.D.; BARREIRO, A.P.; MARQUES, M.O.M. Yield and composition of the essential oil of basil on plant growth regulators application. **Journal of Essential Oil Research**, Messina, v. 23, n. 2, p. 17-22, 2011.

OUYANG, D.S.; MACKENZIE, A.F.; FAN, M.X. Ammonia volatilization from urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p. 1443-1447, 1998

PADALIA, R.C.; VERMA, R.S. Comparative volatile oil composition of four *Ocimum* species from northern India. **Natural Product Research**, London, v. 25, n. 6, p. 569-575, 2011.

PATON, A.; PUTIEVSKY, E. Taxonomic problems and cytotoxic relationship between and within varieties of *Ocimum basilicum* and related species (Labiatae). **Kew Bulletin**, Surrey, v. 51, n. 3, p. 509-524, 1996.

PAULUS, D.; VALMORBIDA, R.; TOFFOLI, E.; PAULUS, E.; GARLET, T.M.B. Avaliação de substratos orgânicos na produção de mudas de hortelã (*Mentha gracilis* R. Br. e *Mentha x villosa* Huds.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 90-97, 2011.

PAVIANI, L.C. **Extração com CO₂ a altas pressões e fracionamento do óleo essencial de capim-limão utilizando peneiras moleculares**. 2004. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim, 2004.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 2013. 183 p.

PEREIRA, M.C.; VILELA, G.R.; COSTA, L.M.A.S.; SILVA, R.F.; FERNANDES, A.F., FONSECA, E.W.N.; PICCOLI, R.H. Inibição do desenvolvimento fúngico através da utilização de óleos essenciais de condimentos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 731-738, 2006.

PEREIRA, R.C.A., MOREIRA, M.R. **Recomendações de cultivo de elixir paregórico (*Ocimum selloi* Benth)**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. 2 p. (Comunicado Técnico, 139).

_____. **Manjeriço: cultivo e utilização**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 31 p.

PILLAI, R.R., CHINNAMMA, N.P. Effect of harvest dates on yield and quality of oil in *ocimum grantissimum* L. grow in Cuba. **Journal of Essential Oil Research**, Messina, v. 8, p. 139-141, 1996.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PINTO, C. M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2006.

POLITEO, O.; JUKIC, M.; MILOS, M. Chemical composition and antioxidant capacity of free volatile aglycones from basil (*Ocimum basilicum* L.) compared with its essential oil. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 1, p. 379-385, 2007.

PRAKASA RAO, E.V.S.; PUTTANNA K; GANESHA RAO RS; RAMESH S. Nitrogen and potassium nutrition of French basil (*Ocimum basilicum* Linn.). **Journal of Spices and Aromatics Crops**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 99-105, 2007.

PRAKASH, P.; GUPTA, N. Review article therapeutic uses of *Ocimum sanctum* linn (tulsi) with a note on eugenol and its pharmacological actions: a short review. **Indian Journal of Physiology and Pharmacology**, New Delhi, v. 49, n. 2, p. 125-131, 2005.

PRAVUSCHI, P.R. **Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção de óleo essencial do manjeriço**. 2008. 35p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2008.

PRAVUSCHI, P.R.; MARQUES, P.A.A.; RIGOLIN, B.H.M.; SANTOS, A.C.P. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produção de óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 687-693, 2010.

PRINS, C.L.; LEMOS, C.S.; FREITAS, S.P. Efeito do tempo de extração sobre a composição e o rendimento do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 8, n. 4, p. 92-95, 2006.

PUSHPANGADAN, P.; BRADU, B.L. Basil. In: CHADHA, K.L.; GUPTA, R. (Ed.). **Advances in horticulture, medicinal and aromatic plants**. 11th ed. New Delhi: Malhotra Publishing House, 1995. p. 627–657.

PUTIEVSKY, E. Temperature and daylength influence on the growth and germination of sweet basil and oregano. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v. 58, n. 3, p. 583–587, 1983.

PUTIEVSKY, E.; GALAMBOSI, B. Production system of sweet basil. In: HILTUNEN, R.; HOLM, Y. (Ed.). **Basil (the genus *Ocimum*) medicinal and aromatic plants- industrial profiles**. Amsterdam: Harwood Academic Publ., 1999. chap. 2, p. 39-65.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, 2013.

RADÜNZ, L.L. **Efeito da temperatura do ar de secagem no teor e na composição dos óleos essenciais de guaco (*Mikania glomerata Sprengel*) e hortelã-comum (*Mentha x villosa Huds*)**. 2004. 90 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p. (IAC. Boletim, 100).

RAMOS, M.B.M.; VIEIRA, M.C.; ZÁRATE, N.; SIQUEIRA, J.M.; ZIMINIANI, M.G. Produção de capítulos florais da camomila em função de populações de plantas e da incorporação ao solo de cama-de-aviário. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 566-572, 2004.

REFFAT, A.M.; SALEH, M.M. The combined effect of irrigation intervals and foliar nutrition on sweet basil plants. **Bulletin of Faculty of Agriculture**, Cairo, v. 48, n. 3, p. 515-527, 1997.

RESENDE, R.F.D. **Produção de biomassa e óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em diferentes épocas, ambientes de cultivo e tipos de adubação**. 2010. 30 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

RIBEIRO, P.G.F.; DINIZ, R.C. **Plantas aromáticas e medicinais: cultivo e utilização**. Londrina: IAPAR, 2008. 218 p.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. USDA. Handbook, 60

RIGUEIRO, M.P. **Plantas que curam**. 5. ed. São Paulo: Paulus, 1992. 347 p.

ROBBERS, J.E.; SPEEDIE, M.K.; TYLER, V.E. **Pharmacognosy and pharmacobiotechnology**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1996. 14 p.

ROSADO, L.D.S.; PINTO, J.E.B.P.; BOTREL, P.P.; BERTOLUCCI, S.K.V.; NICULAU, E.S.; ALVES, P.B. Influência do processamento secagem no teor e composição química do óleo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 291-296, 2011.

SAID-AL AHL, H.A.H.; MAHMOUD, A.A. Effects of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. **Ozean Journal of Applied Science**, Kutahya, v. 3, n. 1, p. 97-111, 2010.

SAID-AL AHL, H.A.H.; MEAWAAD A.A.; ABOU-ZEID, E.N.; ALI, M.S. Response of different basil varieties to soil salinity. **International Agrophysics**, Lublin, v. 24, n. 2, p. 183-188, 2010.

SAJJADI, S.E. Analysis of the essential oil of two cultivated basil (*Ocimum basilicum* L.) from Iran. **Daru**, Iran, v. 14, n. 3, p. 128-130, 2006.

SANGWAN, N.S.; FAROOQI, A.H.A.; SHABIH, F.; SANGWAN, R.S. Regulation of essential oil production in plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 34, n. 1, p. 3-21, 2001.

SANSON, A.D. **Morfologia, produção de biomassa e caracterização química do óleo essencial de seis acessos de *Ocimum spp.*** 2009. 36 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SANTOS, A.S. **Óleos essenciais: uma abordagem econômica e industrial**. São Paulo: Ed. Interciência, 2011. 374 p.

SANTOS, F.; MONTENEGRO, A.; SILVA, J.; SOUZA, E. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.3, p.304-310, 2009.

SANTOS, T.T.; SANTOS, M.F.; MENDONÇA, M.C.; SILVA JÚNIOR, C.D.; SILVA-MANN, R.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; BLANK, A.F. Efeito do estresse hídrico na produção de massa foliar e teor de óleo essencial em sambacaitá (*Hyptis pectinata* L.). **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 1-4, 2004.

SARTORATOTTO, A.; MACHADO, A.L.M.; DELARMELINA, C.; FIGUEIRA, G.M.; DUARTE, M.C.T.; REHDER, V.L.G. Composition and antimicrobial activity of essential oils from aromatic plants used in Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 275-280, 2004.

SCHEFFER, M.C. Roteiro para estudo de aspectos agronômicos das plantas medicinais selecionadas pela fitoterapia do SUS-PR/CEMEPAR. **SOB Informa**, Itajaí, v. 11, n. 1, p. 29-31, 1992.

SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney, 2001. 54 p.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 4, p. 591-611, 1965.

SILVA, F.da; CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas: Pós-colheita e óleos essenciais**. Viçosa-MG: UFV, DFT, 2000, 135p,

SILVA, C.R.; ALVEZ JÚNIOR, J.; SILVA, T.J.A.; FOLEGATTI, M.V.; CAMPECHE, L.F.S.M. Variação sazonal na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 26-35, 2006.

SILVA, F. **Óleo essencial e conservação pós-colheita de manjerucão (*Ocimum basilicum* L.) em dois horários e duas épocas de colheita**. 2000. 80 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2000.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, S.M. **Sistemas e épocas de cultivo na produção agrônômica e de óleo essencial de *Melissa officinalis* L.** 2011. 48 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

SILVA, S.R.S.; DEMUNER, A.J.; CLAUDIO, L.; CASALI, V.W.D.; NASCIMENTO, E.A.; PINHEIRO, A.L. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Irrigação do Feijoeiro**. Embrapa: Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2001, 230 p.

SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G. (Ed.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre: Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. cap. 18, p. 394-412.

SIMON, J.E. **Basil**. West Lafayette: Purdue University, 1995. 6 p.

SIMON, J.E.; QUINN, J.; MURRAY, R.G. Basil: a source of essential oils. In: JANIK, J.; SIMON, J.E. (Ed.). **Advances in new crops**. Portland: Timber Press. 1990. chap. 2, p. 484-489.

SINGH, K.; SINGH, P.P.; BEG, S.U.; KUMAR, D.; PATRA, D.D. Efeito da época de colheita e aplicação de nitrogênio sobre o rendimento de óleo essencial e de qualidade de um clavicól metil rico da Índia cultivar manjerucão (*Ocimum basilicum*). **Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences**, Lucknow, v. 24, n. 3, p. 293-296, 2004.

SINGH, M. Effects of plant spacing, fertilizer, modified urea material and irrigation regime on herbage, oil yield and oil quality of rosemary in semi-arid tropical conditions. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v. 79, n. 3, p. 411-415, 2004.

SINGH, S.; SINGH, M.; SINGH, A.K. Enhancing productivity of Indian basil (*Ocimum basilicum* L.) through harvest management under rainfed conditions of subtropical north Indian plains. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 601-606, 2010.

SKRUBIS, B.; MARKAKIS, P. The effect of photoperiodism on the growth and the essential oil of *Ocimum basilicum* (sweet basil). **Economic Botany**, New York, v. 30, n. 4, p. 389-393, 1976.

SOARES, R.D.; CHAVES, M.A.; SILVA, A.A.L.; SILVA, M.V.; SOUZA, B.S. Influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum*) com relação aos teores de óleos essenciais e de linalol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1108-1113. 2007.

SOBTI, S.; PUSHPANGADAN, P. Studies in the genus *Ocimum*: cytogenetics, breeding and production of new strains of economic importance. In: ATAL, C.K.; KAPUR, B.M. (Ed.). **Cultivation and utilization of aromatic plants**. New Delhi: Kalayani Publ., 1982. p. 457-472.

SOUZA, A.P.; LIMA, M.E.; CARVALHO, D.; GUERRA, M.G.J.; ANDRADE, I.P.S.; ROCHA, H.S. Influência da decomposição de diferentes resíduos vegetais submetidos a laminas de irrigação no comportamento da vegetação espontânea. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 317-324, 2012.

SOUZA, F.S.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; VON PINHO, R.G.; LIMA, G.C. Índice de cobertura vegetal pela cultura do milho no período de chuvas intensas no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 345-351, 2010.

STRECK, N. A.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1275-1280, 2005.

STUDENT. The probable error of a mean. **Biometrika**, London, v. 6, p. 1-25, 1908.

SUCCOP, C.E. **Hydroponic greenhouse production of fresh market basil**. 1998. 54 p. Dissertation (Master in Sciences) - Departamento de Horticultura e Landscape Architecture, Colorado State University, Fort Collins, 1998.

SZPUNAR-KROK, E. **Productive and economic effect of selects technologies of seed production of grain legumes in pure sowing and its mixtures with cereals**. 2011, 67 p. Rozprawa habil- itacyjna. Wyd. Uniwersytetu Rzeszowskiego, 2011

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p

TELICI, I.; BAYRAM, E.; YILMAZ, G.; AVCI, A.B. **Türkiye’de Kültürü yapılan yerel feslegen (*Ocimum* spp.) genotiplerinin morfolojik, agronomik ve teknolojik özelliklerinin karakterizasyonu ve üstün bitkilerin seleksiyonu**. Ankara: Scientific and Technological Research Council of Turkey, 2005. 55 p. (Research Report, TOGTAG-3102).

THANOMCHAT, P.; PAOPUN, Y. The structure of leaf trichomes and stomata of *Cimum basilicum* Linn. **Journal of Microscopy Society of Thailand**, Bangucoque, v. 27, n. 1, p. 46-49, 2013.

TOEBE, M.; BRUM, B.; LOPES, S.J.; FILHO, A.C.; SILVEIRA, T.R. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 475-478, 2010.

UMERIE, S.C.; ANASO, H.U.; ANYASORO, L.J.C. Inseticidal potentials of *Ocimum basilicum* leaf extracts. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 64, n. 3, p. 237-239, 1998.

- UYEDA, C.A. **Influência da aplicação de vinhaça na condutividade hidráulica do solo saturado e no escoamento superficial**. 2009. 65 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- VALLONE, H.S.; GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. Diferentes recipientes e substrato na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2010.
- VALMORBIDA, J.; BOARO, C.F.S.; MARQUES, M.O.M.; FERRI, A.F.; Rendimento e composição química de óleos essenciais de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de potássio. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 8, n. 4, p. 56-61, 2006
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- VERMA, R.S.; PADALIA, R.C.; CHAUHAN, A. Variation in the volatile terpenoids of two industrially important basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars during plant ontogeny in two different cropping seasons from India. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 92, n. 3, p. 626-631, 2012.
- VIEIRA, R.F.; GRAYER, R.J.; PATON, A.; SIMON, J.E. Genetic biodiversity of *Ocimum gratissimum* L. based on volatile oil constituents, flavonoids and RAPD marks. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 207-216, 2000.
- VIEIRA, R.F.; SIMON, J.E. Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in markets and used in traditional medicine in Brazil. **Economic Botany**, New York, v. 54, n. 2, p. 207-216, 2000.
- VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima. **Ciência da Terra**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 1-8, 1972.
- VINA, A.; MURILLO, E.; Essential oil composition from twelve varieties of basil (*Ocimum* spp) grown in Colombia. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 5, p. 744-749, 2003.
- VON HERTWING, I.F. **Plantio aromáticas e medicinais**: plantio, colheita, secagem, comercialização. 2. ed. São Paulo: Icone, 1991. 414 p.
- WILKINSON, R.E. **Plant**: environment interactions. New York: Marcel Dekker, 1994. 456 p.
- WILLIAMS, L.; AYARS, J. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 132, n. 3/4, p. 201-211, 2005.
- XU, G.; WOLF, S. KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of plant nutrition**, New York, v. 25, n. 4, p. 719-734, 2002.

YASSEN, M., RAM, P., ANJU, Y., SINGH, K. Response of Indian basil (*Ocimum basilicum* L.) to irrigation and nitrogen schedule in Central Uttar Pradesh. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 17, n. 2, p. 177–181, 2003.

ZENGİN M.; ÖZCAN M.M.; ÇETİN Ü.; GEZGİN S. Mineral contents of some aromatic plants, their growth soils and infusions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 88, n. 4, p. 581–589, 2008.

ZHELJAZKOV, V.D. Basil. In: PHEHLIVANOR, M.; MOSKOV, G.; JANKOV, B.; TERZIEV, J.; ZHELJAZKOV, V.; YANTCHEVA, H. (Ed.). **Plant production**. Plovdiv: Higher Institute of Agriculture, 1998. chap. 3, p. 317-320.

ZHELJAZKOV, V.D.; CANTRELL, C.L.; EBEIHAR, M.W. Productivity, oil content and oil composition of sweet basil as a function of nitrogen and sulfur fertilization. **Hortscience**, Alexandria, v. 43, n. 8, p. 1415-1422, 2008.