



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA
VETERINÁRIA.
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RODRIGO REZENDE MONTEIRO

**DESENVOLVIMENTO VEGETAL E RENDIMENTO EM ÓLEO ESSENCIAL DE
MANJERICÃO CULTIVADO EM DOIS DIFERENTES AMBIENTES.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA – DF
JANEIRO/2024**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA - FAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**DESENVOLVIMENTO VEGETAL E RENDIMENTO EM ÓLEO ESSENCIAL DE
MANJERICÃO CULTIVADO EM DOIS DIFERENTES AMBIENTES.**

RODRIGO REZENDE MONTEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADO POR:

JEAN KLEBER DE MATTOS, Dr. (ORIENTADOR)/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília/ CPF: 002288181-68
e-mail: jkamattos@gmail.com

MICHELLE SOUZA VILELA, Dr.^a (EXAMINADOR INTERNO)/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília/CPF: 919623401-23
e-mail: michellevilelaunb@gmail.com

ROSA MARIA DE DEUS DE SOUSA, Dra. (EXAMINADORA EXTERNA), Faculdade União Pioneira de Integração Social - UPIS/CPF: 239019771-04
e-mail: rosamdsf@yahoo.com.br

BRASÍLIA/DF, JANEIRO DE 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Rodrigo Rezende Monteiro. **Desenvolvimento vegetal e rendimento em óleo essencial de manjeriço cultivado em dois diferentes ambientes**. Orientador: Dr. Jean Kleber de Abreu Mattos, 2023. 70p. : il.

Dissertação de mestrado - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2023.

1. Manjeriço; desenvolvimento; ambientes. I. Mattos, J.K.A. II. Título: Dr.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTEIRO, R.R. **Desenvolvimento vegetal e rendimento em óleo essencial de manjeriço cultivado em dois diferentes ambientes**. Brasília. Faculdade de agronomia e Medicina Veterinária- Universidade de Brasília. 2023. 70p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rodrigo Rezende Monteiro

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Desenvolvimento vegetal e rendimento em óleo essencial de manjeriço cultivado em dois diferentes ambientes**.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte de esta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Rodrigo Rezende Monteiro

CPF: 05971790188

E-mail: rodrigo.agrounb@gmail.com

Brasília DF
Janeiro de 2024

AGRADECIMENTOS

A Universidade de Brasília, e secretaria do programa de pós-graduação do curso de agronomia, pela disposição e auxílio prestado no decorrer do presente trabalho.

A CAPES, pelo financiamento dessa pesquisa, por meio de auxílio prestado na forma de bolsa de mestrado.

Ao orientador Jean Kleber e Heloísa, que tornaram esse projeto possível com imensurável disposição, sabedoria e boas energias em nossos encontros semanais e conversas durante a discussão, idealização e execução desse trabalho.

A minha família, José Paulo, Luciene e Mariana sempre presente e disposta a ajudar no que fosse necessário para transpor os obstáculos encontrados no caminho, com incentivos, conhecimento e uma base sólida sobre a qual me debrucei do início ao fim.

Aos meus amigos, sempre presentes, tornando o percurso mais leve, rápido e agradável com sua companhia, auxílio e ótimas histórias para contar.

RESUMO GERAL

O manjeriçãõ (*Ocimum basilicum spp.*), uma planta aromática de pequeno e médio porte, originária de regiões tropicais e subtropicais asiáticas. Pode ser classificado conforme a composição química de seu óleo essencial, conferindo diversas aptidões e usos para cada cultivar. Atualmente, a redução das áreas e populações rurais, bem como a busca por produtos frescos e padronizados traz importância para os cultivos em áreas urbanas e com alta tecnologia, incluindo controle ambiental, sistemas de cultivo vertical e obtenção de produtos com bons teores nutricionais e conteúdo de compostos bioativos. A presente proposta visa analisar os impactos de sistemas de cultivo *indoors* sobre plantas de manjeriçãõ, comparando-as com plantas cultivadas em campo, analisando aspectos agrônômicos das plantas obtidas e a produção do óleo essencial. Foi confeccionada uma câmara de 1,60 m de comprimento, 80 cm de altura e 60 cm de largura em estrutura de madeira, para cultivo de plantas revestida internamente por uma manta aluminizada de espuma sintética. A câmara contou com arrefecimento e controle de umidade, sistema de iluminação LED, sensoriamento e automação do controle ambiental baseados na placa Arduino R3. Dez plantas de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum spp.*) foram postas a crescer em vasos de 2L no interior da câmara por cinco semanas. Ao mesmo tempo, dez plantas do mesmo lote foram postas a crescer em horta semicomercial no campo pelo mesmo período. Decorridos cinco semanas de ciclo vegetativo foram registrados: a altura das plantas, a massa fresca e a massa seca e o rendimento em óleo essencial, bem como foi avaliado o aspecto visual das plantas. Como resultados, a altura das plantas do campo foi em média 13,06% superior ao das plantas da estufa, diferença estatisticamente significativa. A massa fresca e a massa seca das plantas do campo foram superiores às das plantas da estufa, a massa fresca 20,6% e a massa seca 9,37%, diferenças estatisticamente significativas. O rendimento em óleo essencial das plantas da estufa foi equivalente aos das plantas do campo. Visualmente, as plantas crescidas na estufa apresentaram desenvolvimento semelhante ao das plantas do campo, com a vantagem de não exibirem deformações foliares e manchas necróticas observadas pontualmente em algumas plantas do campo. Concluiu-se que a câmara de cultivo *indoor* para manjeriçãõ apresentou-se competitiva.

Palavras-chave: Cultivo *indoor*, Óleos essenciais, Automação, Controle ambiental, Manjeriçãõ (*Ocimum basilicum spp.*).

ABSTRACT

Basil (*Ocimum basilicum* spp.), a small and medium-sized aromatic plant native to tropical and subtropical Asian regions. It can be classified according to the chemical composition of its essential oil, giving several aptitudes and uses to each cultivar. Currently, the reduction of rural areas and populations, as well as the search for fresh and standardized products, brings importance to crops in urban areas and with high technology, including environmental control, vertical cultivation systems and obtaining products with good nutritional contents and content of bioactive compounds. The present proposal aims to analyze the impacts of indoor cropping systems on basil plants, comparing them with plants grown in the field, analyzing agronomic aspects of the plants obtained and the production of the essential oil. A chamber of 1.60 m long, 80 cm high and 60 cm wide was made in a wooden structure, for the cultivation of plants, internally covered by an aluminized blanket of synthetic foam. The chamber had cooling and humidity control, LED lighting system, sensing, and environmental control automation based on the Arduino R3 board. Ten basil plants (*Ocimum basilicum* spp.) were set to grow in 2L pots inside the chamber for five weeks. At the same time, ten plants from the same plot were set to grow in a semi-commercial garden in the field for the same period. After five weeks of vegetative cycle, the height of the plants, the fresh and dry mass and the yield in essential oil were recorded, as well as the visual aspect of the plants. As a result, the height of the field plants was on average 13.06% higher than that of the greenhouse plants, a statistically significant difference. The fresh mass and dry mass of the field plants were higher than those of the greenhouse plants, the fresh mass 20.6% and the dry mass 9.37%, statistically significant differences. The essential oil yield of the greenhouse plants was equivalent to that of the field plants. Visually, the plants grown in the greenhouse showed development similar to that of the field plants, with the advantage of not exhibiting leaf deformations and necrotic spots observed occasionally in some field plants. It was concluded that the indoor cultivation chamber for basil was competitive.

Keywords: Indoor cultivation, Essential oils, Automation, Environmental control, Basil (*Ocimum basilicum* spp.).

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
2. REFERÊNCIAS	11
3. CAPÍTULO I	13
RESUMO.....	13
ABSTRACT	14
3.1. INTRODUÇÃO	15
3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.2.1. O CULTIVO EM AMBIENTE PROTEGIDO E ARTIFICIAL	16
3.2.2. PRINCIPAIS FATORES QUE IMPACTAM O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS.....	17
3.2.2.1. UMIDADE	18
3.2.2.2. FERTILIDADE DO SOLO.....	18
3.2.2.3. TEMPERATURA	19
3.2.2.4. RADIAÇÃO.....	20
3.2.3. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA CULTIVOS INDOOR.....	21
3.3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	23
3.3.2. CÂMARA DE CULTIVO VERTICAL	24
3.3.2.1. DIMENSIONAMENTO DO ESQUELETO.....	24
3.3.2.2. REVESTIMENTO DO ESQUELETO.....	24
3.3.2.3. ARREFECIMENTO E CONTROLE DE UMIDADE.....	25
3.3.2.4. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	26
3.3.2.5. SENSORIAMENTO	26
3.3.2.6. AUTOMAÇÃO	27
3.3.2.7. SUBSTRATO E REGAS.....	28
3.3.3. REGISTRO E COLETA DE DADOS	28
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.4.1. ANÁLISE GERAL DA CÂMARA.....	29

3.4.2. CONTROLE AMBIENTAL	29
3.4.3. ÁREA ÚTIL DA CÂMARA.....	30
3.5. CONCLUSÃO.....	30
3.6. REFERÊNCIAS	30
4. CAPÍTULO II	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT	38
4.1. INTRODUÇÃO	39
4.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	40
4.2.1. MANJERICÃO (<i>OCIMUM BASILICUM</i>) – BOTÂNICA E USOS.....	40
4.2.2. ADUBAÇÃO	41
4.2.3. ÉPOCAS E AMBIENTES DE CULTIVO	42
4.2.4. CONTROLE AMBIENTAL E AMBIENTE PROTEGIDO	43
4.2.5. CONTROLE DA IRRIGAÇÃO	44
4.2.6. CULTIVO INDOOR.....	45
4.3. MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.3.1. MATERIAL VEGETAL.....	47
4.3.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	49
4.3.3. AJUSTES NA CÂMARA DE CULTIVO.....	50
4.3.4. MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	50
4.3.5. ANÁLISE DO MATERIAL VEGETAL.....	50
4.3.5.1. ANÁLISE FÍSICA.....	50
4.3.5.2. ÓLEO ESSENCIAL	51
4.3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	52
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.4.1. AMBIENTES DE CULTIVO	52
4.4.2. MATERIAL VEGETAL.....	55
4.4.2.1. ALTURA, MASSA FRESCA E MASSA SECA.....	55
4.4.2.2. ASPECTO VISUAL.....	58
4.4.2.3. ÓLEO ESSENCIAL	60
4.5. CONCLUSÃO.....	62
5. REFERÊNCIAS.....	63

1. INTRODUÇÃO GERAL

O manjericão (*Ocimum basilicum* L.) é uma erva que integra a família Lamiaceae e está presente na culinária e terapias tradicionais de diversas culturas, apesar de ser originário de regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África, América do sul e central. Seu gênero (*Ocimum*) compreende um número grande de espécies, que diferem conforme hábito de crescimento, pigmentação, forma e textura das folhas e ainda, em sua composição aromática, influenciando em sua aptidão para determinados usos (MAKRI; KINTZIOS, 2008).

É uma importante fonte fitoquímicos, principalmente monoterpenos e fenilpropanoides, que são associados ao tratamento de diabetes, câncer, artrite, disfunções cardíacas e outras (SHAHRAJABIAN et al., 2020). Além disso, a planta também é rica em antocianinas, sesquiterpenos e ácidos fenólicos (MAKRI; KINTZIOS, 2008).

Os teores desses óleos essenciais determinarão a classificação do quimiotipo de cada tipo de manjericão, ainda que não existam grandes diferenças morfológicas entre as espécies de manjericão. Os quimiotipos são associados aos nomes dados para cada tipo de manjericão, batizados conforme seu local de origem, podendo ser originário de praticamente todos os continentes (SIMON et al., 1990).

Fernandes et al. (2004), avaliaram a produtividade de dois genótipos de manjericão, de folha estreita (*Ocimum minimum* L.) e de folha larga (*Ocimum basilicum* L.) em ambiente protegido, mediante hidroponia (floating); substrato preparado e substrato comercial, tendo concluído pela maior produtividade da hidroponia, embora não se diferenciasssem, dentro do mesmo genótipo, quanto ao rendimento e

composição do óleo essencial, houve vantagem para o manjeriço de folha estreita sobre o de folha larga.

Resende (2010) comparou duas épocas e os dois ambientes de cultivo para um genótipo de manjeriço. Houve diferenças quanto à altura das plantas por época, máxima de 58,3 cm. Houve interação entre a época e o ambiente de cultivo para as variáveis altura de planta, massa fresca de folhas e rendimento de óleo essencial em folhas secas. O ambiente protegido favoreceu o desenvolvimento da cultura, a produção e o rendimento de óleo essencial em uma das épocas testadas.

Sanson (2009), em Brasília, em ensaio de vasos sob casa de vegetação do tipo glasshouse, determinou o quimiotipo de seis genótipos de *Ocimum spp.* Provenientes de Brasília e de Salvador-Ba. Cinco deles *Ocimum basilicum*, tendo um de ramos purpúreos apresentado quimiotipo linalol/1,8cineol. Os outros quatro, de cor verde, apresentaram predominância de metil-chavicol no óleo essencial. Houve a presença de um genótipo híbrido de *O. basilicum* X *O. canum*, que apresentou o quimiotipo linalol/1,8cineol/cânfora.

Canini (2013), também em Brasília, estudou em campo a variação sazonal dos componentes do óleo essencial de um genótipo de *O. basilicum* comum na região, quimiotipo linalol/1,8cineol e concluiu que apesar da exaltação do componente minoritário eugenol no período chuvoso, o quimiotipo não mudou.

Jannuzzi (2013) com o mesmo genótipo de Canini observou em campo, que a poda das plantas a 40 cm da haste aos 45, 90 e 135 dias resultou em maior rendimento em óleo essencial em relação à poda a 15cm da haste.

Santos (2017) em Brasília determinou em ensaio de vasos sob casa de vegetação do tipo glasshouse, os quimiotipos de cinco genótipos de *Ocimum basilicum*. Quatro deles de cor púrpura predominante, apresentaram o linalol como

principal componente do óleo essencial. O único genótipo verde analisado foi do quimiotipo 11itral.

Os estudos elaborados evidenciam a variação da composição do óleo essencial de manjeriço, que pode ser resultado de fatores como a cultivar, o manejo e condições ambientais do local de cultivo.

O objetivo de presente trabalho é observar a variação no desenvolvimento e no rendimento do óleo essencial de um genótipo de manjeriço (*Ocimum basilicum*) cultivado no campo e em estufa.

2. REFERÊNCIAS

CANINI, G.B. Caracterização anatômica e composição química do óleo essencial de manjeriço (*Ocimum* spp.). 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília.

MAKRI, Olga; KINTZIOS, Spiridon. *Ocimum* sp.(basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. **Journal of herbs, spices & medicinal plants**, v. 13, n. 3, p. 123-150, 2008.

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

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, abril-junho 2004.

RESENDE, Renata Ferreira de. Biomass and essencial oil production by basil (*Ocimum basilicum* L.) in different seasons, growth environments and fertilizations.

2010. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

SANSON. A.D. Caracterização morfológica e perfil de aromáticos de acessos de manjeriço. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília.

SANTOS. F.D.P. Rendimento, componentes do óleo essencial e propagação de genótipos de manjeriços no Distrito Federal. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília.

SHAHRAJABIAN, Mohamad Hesam; SUN, Wenli; CHENG, Qi. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): A review. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 1961-1970, 2020.

SILVA P, J. Formas de secagem de hortaliças funcionais na agricultura familiar. Brasília, 2016. – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. ..28p.: il.

SIMON, James E. et al. Basil: A source of essential oils. In: **Advances in new crops. Proceedings of the first national symposium' New crops: research, development, economics', Indianapolis, Indiana, USA, 23-26 October 1988.** Timber Press, 1990. P. 484-489.

TAVARES LB, JUNQUEIRA AMR, MATOS JMM. Secagem artesanal de plantas medicinais e oportunidade de mercado para o agricultor familiar –In- Junqueira AMR & Matos JMM (Org). *Tecnologias Sustentáveis para a produção, transformação e comercialização de produtos da agricultura familiar* – Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2021. 254 p. – (UnB Livre).

3. CAPÍTULO I

ELABORAÇÃO DE UMA CÂMARA DE CULTIVO VERTICAL

RESUMO

Atualmente, a redução das áreas e populações rurais, bem como a busca por produtos frescos e padronizados, traz importância para os cultivos em áreas urbanas e com alta tecnologia, incluindo controle ambiental, sistemas de cultivo vertical e obtenção de produtos com bons teores nutricionais e conteúdo de compostos bioativos. Foi confeccionada uma câmara de 1,60 m de comprimento, 80 cm de altura e 60 cm de largura em estrutura de madeira, para cultivo de plantas, revestida internamente por uma manta aluminizada de espuma sintética. A câmara contou com arrefecimento e controle de umidade, sistema de iluminação LED, sensoriamento e automação baseados na placa Arduino R3. Passadas três semanas de funcionamento ininterrupto, confirmou-se o funcionamento e eficiência do sistema proposto, acionando os atuadores responsáveis pelo controle ambiental de forma satisfatória e confiável. A integridade física da câmara foi atestada, não apresentando danos decorrentes de incidência solar, chuvas ou mau uso, bem como danos advindos de eventuais variações na rede elétrica e manuseio. A proposta de construção de uma câmara de cultivo capaz de gerar um ambiente de cultivo controlado foi alcançada, a câmara se mostrou adequada para os experimentos futuros com plantas, em testes preliminares conduzidos em caráter experimental.

Palavras-chave: Cultivo indoor, automação, controle ambiental, iluminação artificial.

ABSTRACT

Currently, the reduction of rural areas and populations, as well as the search for fresh and standardized products, brings importance to crops in urban areas and with high technology, including environmental control, vertical cultivation systems and obtaining products with good nutritional contents and content of bioactive compounds. A chamber of 1.60 m long, 80 cm high and 60 cm wide was made in a wooden structure for the cultivation of plants covered internally by an aluminized blanket of synthetic foam. The chamber had cooling and humidity control, LED lighting system, sensing, and environmental control automation based on the Arduino R3 board. After three weeks of uninterrupted operation, it was confirmed that the control unit worked uniformly, activating the devices according to the requested schedule. The physical integrity of the chamber was attested, with no damage resulting from sunlight, rain or misuse, as well as damage from any variations in the electrical network and handling. The proposal of building a greenhouse capable of generating a controlled cultivation environment was achieved, the greenhouse proved to be suitable for future experiments with plants, in preliminary tests conducted on an experimental basis.

Keywords: Indoor cultivation, automation, environmental control, artificial lighting.

3.1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, povos de diversas origens fazem o uso de ervas aromáticas, seja na forma de condimentos, conferindo sabor às preparações culinárias, ou empregando-as de forma terapêutica, aproveitando os benefícios oriundos da presença de compostos bioativos nos tecidos vegetais das ervas em questão.

Tal fato, aliado à popularização de dietas funcionais e tratamentos alternativos ou tradicionais faz com que ervas medicinais e seus compostos bioativos sejam o foco de diversas pesquisas, permeando-se no campo científico, que explora o metabolismo e compostos bioativos presentes em tais ervas (LARIBI, 2015).

Nesse contexto, está inserido o manjeriço (*Ocimum basilicum L.*), uma planta herbácea anual pertencente à família das Lamiaceae (Labiatae), possui hábito de crescimento arbustivo, que pode atingir de 0,5 a 1m de altura e origem nas regiões tropicais do continente asiático (PURUSHOTHAMAN et al., 2018).

No Brasil, o manjeriço é comumente cultivado em pequenas e médias áreas rurais para comercialização como condimento in natura ou para obtenção de óleos essenciais (FERNANDES et al., 2004). Entretanto, dados das nações unidas apontam para o avanço da urbanização e redução da população rural, em um cenário onde a população urbana representará 66% da mundial. O que trará novos desafios para a agricultura sustentável (UNITED NATIONS, 2014).

Dessa forma, a procura por produtos cada vez mais frescos e próximos aos centros urbanos implica no avanço no emprego de tecnologias relativamente recentes que vêm recebendo cada vez mais atenção; aquelas relacionadas ao cultivo indoor, cultivo vertical ou urbano, um contraponto ao sistema de cultivo à campo e estufas convencionais. Essas tecnologias incluem sistemas de iluminação, cultivos sem solo

e controle do ambiente, a fim de criar e sustentar condições ideais para o desenvolvimento vegetal dentro de dispositivos fechados ou semifechados.

Assim, o desenvolvimento e utilização de um dispositivo capaz de simular diferentes condições ambientais proporciona a obtenção de dados acerca da melhor combinação entre fatores ambientais e genéticos para melhor desenvolvimento vegetal (MUNNS, 2017). Por consequência, gerando produtos com as qualidades desejáveis para o cenário descrito, de forma a contornar os contrapontos à produção em sistemas de agricultura urbana e proporcionar a obtenção de produtos com maior qualidade e características desejáveis.

O objetivo do presente capítulo é a confecção de uma câmara vertical em estrutura de madeira para o cultivo de plantas, revestida internamente com manta aluminizada e com arrefecimento e controle de umidade, sistema de iluminação LED, sensoriamento e automação.

3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1. O CULTIVO EM AMBIENTE PROTEGIDO E ARTIFICIAL

O fenótipo, bem como as características químicas de um material vegetal colhido, resulta da interação de sua carga genética com o ambiente, de forma que condições desfavoráveis limitam a expressão máxima do potencial produtivo existente no genoma de um material vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2017). Sendo aparatos de cultivo protegido ou artificial, importantes ferramentas que possibilitam o controle de fatores ambientais, a fim de obter dados acerca da melhor combinação entre a carga genética de um material vegetal e os elementos que restringem sua máxima expressão (MUNNS, 2017).

Em cultivos tradicionais, a campo, as plantas são organismos capazes de capturar e converter a radiação solar em carboidratos por meio do conhecido processo fotossintético, utilizando como substrato o dióxido de carbono extraído por meio de trocas gasosas com o ar atmosférico, água e nutrientes captados pelo sistema radicular (RAVEN et al., 2001; TAIZ; ZEIGER, 2017).

A sequência de reações que participam da fotossíntese é assistida por diversas enzimas, com a atividade regulada por fatores como a temperatura, de forma geral, em uma faixa que varia entre 10 e 40°C (RAVEN et al., 2001).

Dessa forma, ambientes de cultivo artificiais ou protegidos devem garantir que as plantas recebam, em quantidades adequadas e em faixa de temperatura ideal, radiação, água e nutrientes, bem como trocas gasosas necessárias ao processo fotossintético (SILVA, 2020).

Os reflexos da interação entre o material vegetal e o ambiente de cultivo podem ir além dos aspectos físicos externos das plantas, especialmente as de interesse voltado para seu teor nutricional, potencial antioxidante e compostos bioativos presentes nos tecidos, que podem sofrer variação conforme a espécie e sistema de cultivo (NICULA et al., 2012).

3.2.2. PRINCIPAIS FATORES QUE IMPACTAM O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS

O cultivo em ambiente protegido visa controlar os fatores responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento vegetal, fazendo o uso de coberturas parciais ou totais, que visam amenizar ou isolar completamente as plantas no interior dessas estruturas das condições adversas no exterior (DOS REIS, 2005). Esse sistema ainda

pode receber aparatos de controle ambiental mais sofisticados, incluindo iluminação artificial e resfriamento.

Entre os fatores que impactam o desenvolvimento vegetal destacam-se a radiação, a nutrição e temperatura, onde os sistemas de cultivo protegido fazem o emprego de diversas tecnologias visando o melhor custo-benefício para seu controle.

3.2.2.1. UMIDADE

A água é um componente essencial à vida da planta. Dependendo da espécie, pode representar até 99% da sua composição. A água também exerce função de meio onde ocorrem as reações químicas do metabolismo e na parte física, mantém a turgência e a integridade do plasmodesmata. A elevada presença da água na composição dos tecidos vegetais, pode corresponder a apenas 1% da água que a planta absorve do solo e transfere para a atmosfera, por meio do processo de transpiração. No ambiente natural, a planta, via de regra, recebe a água via pluviosidade, mas ao serem cultivadas, as plantas frequentemente necessitam de suplementação mediante a irrigação (SOARES & COSTA, 2009).

3.2.2.2. FERTILIDADE DO SOLO

Dezessete elementos são considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn. Os nove primeiros, exceto o K, participam da formação dos tecidos vegetais e representam 99% de sua massa. Como benéficos temos Na, Si, Se e Co.

São encontrados majoritariamente no solo, sendo fundamental a sua presença no substrato onde a planta está vegetando, para que haja um bom desenvolvimento (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

3.2.2.3. TEMPERATURA

A temperatura do ar no ambiente de cultivo afeta diretamente a fenologia das plantas, onde temperaturas mais altas tendem a acelerar o ciclo de desenvolvimento vegetal e temperaturas mais baixas, retardá-lo (BERGAMASCHI, 2007).

A faixa de temperatura ideal varia conforme a espécie de planta estudada, entretanto, a maior parte dos processos fisiológicos ocorre em uma faixa que vai de 0 a 40°C, sendo espécies tropicais adaptadas para faixas de temperatura entre 12 e 40°C e espécies de clima temperado se desenvolvendo bem em faixas entre 10 e 30°C (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Em países de clima frio, a utilização de estruturas com cobertura total do ambiente por material transparente tem por objetivo utilizar o efeito estufa gerado pela cobertura para promover o aquecimento do ar e evitar estresses gerados pelo frio, em contrapartida, em países de clima tropical, a utilização de estufas ou casas de vegetação tem por objetivo proteger as plantas de altas temperaturas, chuvas ou estresses causados pela alta incidência solar, além de reduzir o consumo de água de irrigação (DOS REIS, 2005; AL-JAMAL, 1994).

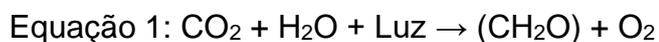
Os métodos empregados no controle da temperatura em países de clima quente, como o Brasil, incluem a ventilação e nebulização, sendo empregados de forma independente ou em conjunto, reduzindo a temperatura por meio das trocas de calor que ocorrem entre o vapor de água e o ar no interior das estruturas de cultivo (MONTERO et al., 1990). Entretanto, é importante citar que a eficiência do uso de nebulizadores depende do déficit de umidade entre o ar interno e externo da estrutura de cultivo, sendo esse sistema pouco eficiente em ambientes já úmidos (FURLAN; FOLEGATTI, 2002; AL-JAMAL, 1994).

3.2.2.4. RADIAÇÃO

A radiação proveniente do sol possui uma distribuição espectral com comprimentos de onda entre 300 e 2500 nm, sendo o espectro de luz visível contido na faixa que vai de 400 a 750 nm (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A captura e canalização da energia da luz solar pelos cloroplastos, que a emprega nas vias fotossintetizantes para a produção de açúcares é o processo pelo qual toda a energia presente na biosfera terrestre se originou (RAVEN et al., 2001).

A equação geral da fotossíntese é descrita a seguir (Equação 1):



Onde CH₂O representa uma unidade de carboidrato.

Os pigmentos presentes nos cloroplastos são capazes de absorver a energia luminosa e entrar em um maior estado de excitação, liberando a energia absorvida na forma de calor, fluorescência ou reações fotoquímicas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O espectro de radiação visível compreendido entre os valores que vão de 400 nm à 700 nm é denominado de espectro de radiação fotossinteticamente ativa, ou PAR (do inglês photosynthetic active radiation), capaz de ser absorvida e utilizada nas reações fotossintéticas (FLUENCE, 2022).

O principal pigmento contido no cloroplasto é a clorofila, que absorve fortemente a energia luminosa do espectro azul (cerca de 430 nm) e do espectro vermelho (cerca de 660 nm) enquanto o espectro verde e amarelo sofre pouca absorção e é refletido (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Outra medida importante para a avaliação da iluminação empregada no cultivo de plantas é a Densidade de Fluxo de Fótons Fotossintéticos, DFFF, ou PPFD (do inglês photosynthetic photon flux density), que quantifica as medidas instantâneas da PAR, fornecendo a medida de fótons fotossinteticamente ativos em uma unidade de

área por uma unidade de tempo, usualmente $\mu\text{mol m}^2 \text{s}$. Assim, a DFFF é uma medida com maior precisão quando se considera fontes luminosas com diferentes distribuições espectrais (FLUENCE, 2022; SILVA, 2020).

A luz emitida no espectro azul e vermelho afetam as plantas cultivadas de diferentes formas, inicialmente estudos utilizando iluminação oriunda de LEDs voltaram-se principalmente para a luz vermelha por apresentar melhor absorção pela clorofila e eficiência energética quando comparada com diodos azuis. Entretanto diversas pesquisas apontam para a importância da suplementação de luz azul em cultivos (MASSA et al., 2008).

3.2.3. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA CULTIVOS INDOOR

Os sistemas de cultivo indoors oferecem a oportunidade de fornecer às plantas cultivadas energia luminosa em espectros que podem interferir no acúmulo de compostos bioativos, bem como no potencial antioxidante dos extratos de tecido vegetal (PROZ, 2020).

A iluminação dentro de um cultivo vertical é um dos principais fatores a serem observados, sendo a energia gasta para tal, um dos principais geradores de gastos para o sistema, fazendo com que o emprego de novas tecnologias que otimizem a entrega de energia luminosa de forma eficiente seja um ponto determinante para o sucesso de sistemas de cultivo vertical.

O uso de iluminação baseada em LEDs (diodos emissores de luz) pode suprir a demanda por energia luminosa de plantas cultivadas em ambiente protegido ou artificial, proporcionando melhor modulação e otimização do uso de energia dentro do sistema ao aumentar a intensidade luminosa no espectro fotossintético utilizado pelas plantas (COCETTA et al., 2017).

Diversos estudos já foram conduzidos acerca de sistemas de iluminação para cultivos protegidos baseados em LEDs e a busca por maiores taxas fotossintéticas com o menor gasto energético possível, entretanto os resultados ótimos dependem não só do sistema de iluminação, mas também da espécie em que é utilizado (COCETTA et al., 2017).

Os avanços tecnológicos mais recentes tiveram grande impacto nos estudos acerca dos sistemas de iluminação utilizados em cultivo vertical, haja vista que anteriormente a suplementação de luz azul era considerada cara e limitante, já que tais diodos eram pouco eficientes em comparação com outros sistemas de iluminação ou, LEDs monocromáticos vermelhos.

Tais avanços proporcionaram a obtenção de diodos baratos sem comprometer a eficiência energética dos sistemas que fazem uso de diodos monocromáticos ou de amplo espectro como o branco quente, neutro ou frio, que são obtidos a partir de LEDs azuis tratados com fósforo (PIMPULKAR et al., 2009).

O uso de luz branca fria oriunda de LEDs demonstrou eficiência para o cultivo de cultivares de alface em experimento que comparou sistemas compostos por diodos monocromáticos, branco quente e branco frio em combinação ou isolados. Os resultados apontaram para maior acúmulo de pigmentos e taxa fotossintética em determinadas cultivares cultivadas sob LEDs branco frio (CAVALCANTE, 2022).

Em um outro estudo conduzido utilizando rabanete, soja e trigo cultivados sob LEDs de luz branca quente, neutra e fria os autores observaram que a iluminação com menor composição azul (oriunda de LEDs branco quente) resultou em maior estiolamento e expansão foliar, enquanto plantas sob iluminação branca fria, rica em luz azul, se mostraram mais compactas.

Ainda segundo os autores, LEDs branco frio se mostram como a iluminação artificial mais indicada para cultivos indoor, por causa de sua maior porcentagem de luz azul (25%), que nutre os requerimentos para o desenvolvimento vegetal. Além disso, esse tipo de iluminação apresenta maior eficiência elétrica (COPE; BUGBEE, 2013).

Dessa forma uma luminária destinada para cultivo vertical deverá contar com sistema de modulação de energia luminosa, elevando o custo dela, em contrapartida uma luminária que faz uso de lâmpadas de espectro mais amplo pode entregar resultados satisfatórios em uma variedade maior de espécies cultivadas sem que haja incremento na complexidade e custo do equipamento, favorecendo sua aquisição e utilização.

3.3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O presente experimento foi conduzido na Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília, localizada no Parque Estação Biológica W5 Norte Final-Brasília/DF, a 15° 48' Latitude Sul e 47° 53' Longitude Oeste, a 1.000 metros de altitude.

A câmara de cultivo vertical foi construída e permaneceu no interior de uma estrutura protegida da insolação, chuvas e ventos, com paredes laterais formadas majoritariamente por telado antiafídeo e telhas translúcidas para cobertura.

3.3.2. CÂMARA DE CULTIVO VERTICAL

3.3.2.1. DIMENSIONAMENTO DO ESQUELETO

O dimensionamento da câmara foi feito seguindo três critérios; o espaço disponível, a necessidade da cultura e capacidade de controle ambiental do sistema proposto.

Dessa forma, foi construído um esqueleto em madeira tratada, as dimensões totais do esqueleto da estrutura foram 1,60m de comprimento, 80cm de altura e 60cm de largura.

As partes de madeira foram unidas por pregos e parafusos, possibilitando sua desmontagem em peças menores que podem ser transportadas e movimentadas para experimentos futuros.

Uma vez que se atestou a integridade do esqueleto, bem como seu caráter desmontável e móvel, prosseguiu-se para o revestimento dele.

3.3.2.2. REVESTIMENTO DO ESQUELETO

O revestimento utilizado para o fechamento da estrutura foi composto por uma manta aluminizada, que consiste em uma espuma sintética não inflamável com 6mm de espessura em que em uma das faces da espuma existe uma camada de folha aluminizada.

Esse material conta com qualidades importantes para a câmara, como seu caráter impermeável, isolamento térmico, impede a passagem de luz solar externa e uma vez que sua face aluminizada está voltada para o interior da câmara, ajuda a aumentar a eficiência do sistema de iluminação.

A manta foi cortada e grampeada ao esqueleto, as junções entre os pedaços de manta foram feitas por meio de fita adesiva para dutos de ar-condicionado, uma

vez que todo o esqueleto foi recoberto foram feitas as aberturas para passagem de fiação e janelas de exaustão, bem como sensoriamento e componentes do sistema de controle ambiental.

A câmara já montada e com vasos plantados é exibida na figura 1:



Figura 1: Câmara de cultivo finalizada. Fonte: Do autor (2023).

3.3.2.3. ARREFECIMENTO E CONTROLE DE UMIDADE

O sistema de arrefecimento foi composto por um umidificador elétrico do tipo gerador de névoa e dois exaustores de 120mm.

O princípio utilizado para o controle da temperatura consiste na troca de calor entre o vapor de água e o ar no interior da câmara, para tal, os exaustores foram posicionados na parte superior das paredes laterais da câmara, enquanto a névoa adentra a câmara por um condutor na parte inferior. A pressão negativa gerada pelos exaustores puxa o ar, que é misturado à névoa e então circula pela câmara, em temperatura menor.

O processo de acionamento dos exaustores e umidificador será descrito posteriormente no tópico “automação”.

3.3.2.4. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A fim de fornecer energia luminosa fotossinteticamente ativa para as plantas, foi instalado uma luminária com altura ajustável composta por LEDs branco frio, os diodos foram adquiridos em loja especializada em iluminação de interiores, vendidos em barras de 90cm de comprimento que foram prendidas ao suporte da luminária.

O ajuste de altura foi feito de forma manual conforme o desenvolvimento das plantas, por meio de uma corda e roldana, de forma similar a um varal de teto doméstico. A altura da luminária em relação ao topo das plantas foi ajustada manualmente conforme o crescimento da planta, ficando sempre a 10cm do topo das plantas.

3.3.2.5. SENSORIAMENTO

O principal sensor que compôs o sistema foi do tipo DHT22, que mede a umidade relativa do ar e sua temperatura, tal sensor foi posicionado no centro da estrutura, mantido em posição com auxílio de seu próprio cabo conector, que é semirrígido e impermeável.

Dessa forma o sensor consegue medir constantemente a temperatura e umidade sem interferência das paredes ou com imprecisões advindas da proximidade do gerador de névoa, luminária ou exaustores.

Além desse sensor, o dispositivo contou com termômetro externo e relógio calibrado para o horário de Brasília, que é utilizado por outras partes do circuito controlador.

3.3.2.6. AUTOMAÇÃO

A automação da câmara foi feita por meio de uma central controladora, tal central foi construída a partir de uma placa de prototipagem Arduino Uno R3, responsável por receber informações vindas dos sensores e relógio, comparar com os parâmetros criados pelo operador e acionar os dispositivos controlados pela central.

A central controladora é apresentada na figura 2:

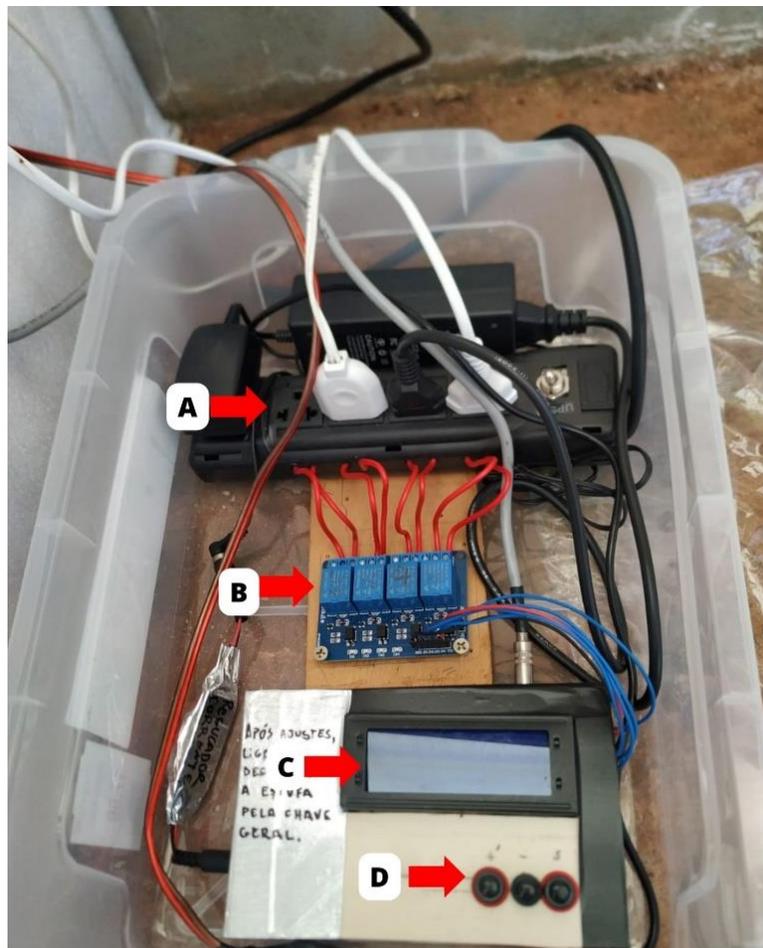


Figura 2: Central controladora A) Tomadas de energia; B) Relés; C) Visor LCD; D) Botões de ajuste. Fonte: Do autor, (2023).

Por meio dos botões de aumentar e diminuir, o operador pode escolher a faixa de temperatura, umidade e hora de ligar e desligar o sistema de iluminação.

Os equipamentos são ligados e desligados por meio de relés que controlam as tomadas onde estão conectados, em caso de pane do sistema, todos os relés ficarão acionados até o retorno do operador para resolução.

De forma constante, a central confere a temperatura atual, umidade e hora, sempre que necessário desligando ou ligando os atuadores para atingir o parâmetro inserido pela interface do sistema.

3.3.2.7. SUBSTRATO E REGAS

A estufa foi dimensionada para comportar um sistema de cultivo em vasos para plantas com volume de 3 litros, totalizando 10 unidades, não havendo necessidade de irrigação automática em virtude da presença frequente de pesquisadores acompanhando o decorrer do experimento.

O substrato contido nos vasos foi misturado em um único recipiente maior e dividido proporcionalmente entre os vasos, sendo composto por terra vegetal comercial, solo retirado das proximidades do experimento e dois gramas de NPK 10-10-10 por vaso de cultivo.

Essa metodologia foi adotada a fim de seguir o padrão utilizado na estação experimental de biologia da UnB.

3.3.3. REGISTRO E COLETA DE DADOS

A fim de registrar os dados acerca da temperatura e umidade dentro da câmara de cultivo, um segundo sensor do tipo DHT22 foi utilizado, em conjunto com um *data-logger* e um relógio digital, salvando a temperatura e umidade relativa do ar a cada cinco minutos durante todo o período de uso da câmara de cultivo.

Os dados obtidos são transferidos para uma planilha e tratados a fim de gerar gráficos com a temperatura e umidade média do ambiente controlado.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1. ANÁLISE GERAL DA CÂMARA

Após a aplicação da metodologia descrita no tópico anterior para a construção da estufa, foram realizados testes exploratórios sem a presença de plantas no interior da câmara, tais testes tiveram por objetivo atestar a funcionalidade dos componentes empregados.

Passadas três semanas de funcionamento ininterrupto, confirmou-se que a central controladora funciona de forma uniforme, acionando os dispositivos conforme a programação solicita.

Além disso, a integridade física da câmara foi atestada, não apresentando danos decorrentes de incidência solar, chuvas ou mau uso, bem como danos advindos de eventuais variações na rede elétrica e manuseio.

3.4.2. CONTROLE AMBIENTAL

Em todas as avaliações foi possível observar a temperatura no interior da câmara menor que a temperatura externa, demonstrando que o sistema de arrefecimento conseguiu dissipar o calor gerado pelo sistema de iluminação e ainda manter a temperatura no interior menor que a temperatura externa.

Esse resultado pode ser explicado pelo material isolante que reveste a câmara, de forma que todo calor gerado em seu interior foi expulso pelos exaustores e não adentrou a estufa após sua dissipação.

3.4.3. ÁREA ÚTIL DA CÂMARA

Outro ponto importante observado é a área disponível para alocação de vasos, sendo possível o plantio de até 10 plantas no interior da câmara sem que os vasos se encostem.

Dessa forma, a estufa se mostra adequada para o uso em experimentos futuros, podendo receber uma população adequada para o delineamento experimental.

3.5. CONCLUSÃO

A proposta de construção de uma estufa capaz de gerar um ambiente de cultivo controlado foi alcançada, a estufa se mostrou adequada para os experimentos futuros em testes preliminares conduzidos em caráter experimental.

Futuros testes exploratórios com plantas cultivadas em seu interior serão capazes de demonstrar a interação entre plantas e ambiente, bem como os impactos das mesmas sobre as medições obtidas pelo sensoriamento além da resposta do material vegetal aos sistemas propostos.

3.6. REFERÊNCIAS

AL-JAMAL, K. Greenhouse cooling in hot countries. **Energy**, v. 19, n. 11, p. 1187-1192, 1994.

CANINI, Giselle Beber. Caracterização anatômica e composição química do óleo essencial de manjeriço (*Ocimum* spp.). 2012.

CAVALCANTE, Rosyane Costa et al. EFEITO DE DIFERENTES LUMINÁRIAS LED NA FOTOSSÍNTESE DE ALFACE CULTIVADA EM AMBIENTE CONTROLADO. 2022.

CAROVIĆ-STANKO, Klaudija et al. Composition and antibacterial activities of essential oils of seven *Ocimum* taxa. **Food Chemistry**, v. 119, n. 1, p. 196-201, 2010.

CASTRO, D. M. **Efeito da variação sazonal, colheita selecionada e temperaturas de secagem sobre a produção de biomassa, rendimento e composição de óleos essenciais de folhas de *Lippia alba* (Mill.) NE Br. Ex Britt. E Wilson (Verbenaceae). 2001. 132p.** 2001. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade de São Paulo, Botucatu.

COCETTA, Giacomo et al. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **The European Physical Journal Plus**, v. 132, p. 1-15, 2017.

CHANG, Xianmin; ALDERSON, Peter; WRIGHT, Charles. Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 80, n. 5, p. 593-598, 2005.

DECHEN, Antonio Roque; NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Elementos requeridos à nutrição de plantas. 2007.

DÖRR, Oliver S. et al. Plant architecture and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of light from microwave plasma and high-pressure sodium lamps. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 202, p. 111678, 2020.

DOS REIS, N. V. B. Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2005.

COPE, Kevin R.; BUGBEE, Bruce. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light. **HortScience**, v. 48, n. 4, p. 504-509, 2013.

FERNANDES, Priscila C. et al. Cultivo de manjeriço em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 260-264, 2004.

FLUENCE. About PAR, PPF, And PPFD. FLUENCE by OSRAM, 2020. Disponível em: <<https://fluence.science/science-articles/horticulture-lighting-metrics/>>. Acesso em: 27 Outubro 2022.

FURLAN, Raquel A.; FOLEGATTI, Marcos V. Distribuição vertical e horizontal de temperaturas do ar em ambientes protegidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 93-100, 2002.

GILL, Sarvajeet Singh; TUTEJA, Narendra. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant physiology and biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GONÇALVES, Juarez Henrique Teixeira; SANTOS, Adriana Suellen; MORAIS, Harriman Aley. Atividade antioxidante, compostos fenólicos totais e triagem fitoquímica de ervas condimentares desidratadas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 13, n. 1, p. 486-497, 2015.

HALLIWELL, Barry. How to characterize a biological antioxidant. **Free radical research communications**, v. 9, n. 1, p. 1-32, 1990.

JANNUZZI, Hermes. Rendimento e caracterização química do óleo essencial de genótipos de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) no Distrito Federal. 2013.

JUANA, Fernández-López; ANGEL, Pérez-Alvarez José; MANUEL, Viuda-Martos. Beneficial health effects of bioactive compounds present in spices and aromatic herbs. **Studies in Natural Products Chemistry**, v. 37, p. 115-134, 2012.

JUŠKEVIČIENĖ, Danguolė et al. Estimation of Morphological Features and Essential Oil Content of Basils (*Ocimum basilicum* L.) Grown under Different Conditions. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1896, 2022.

LARIBI, Bochra et al. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. **Fitoterapia**, v. 103, p. 9-26, 2015.

MASSA, Gioia D. et al. Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1951-1956, 2008.

MAKRI, Olga; KINTZIOS, Spiridon. *Ocimum* sp.(basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. **Journal of herbs, spices & medicinal plants**, v. 13, n. 3, p. 123-150, 2008.

MENDONÇA, Clarissa Izetti de; LIMA, Juliana Lopes. Coleção didática de acessos do gênero *Ocimum*. 2013.

MONTERO, J. I. et al. Cooling of greenhouses with compressed air fogging nozzles. In: **II Workshop on Greenhouse Construction and Design 281**. 1989. P. 199-210.

MUNNS, David PD. **Engineering the environment: Phytotrons and the quest for climate control in the cold war**. University of Pittsburgh Press, 2017.

NICULA, Camelia; BUIE, Alina; BRAN, Oana. ACCUMULATION OF CHLOROPHYLL AND CAROTENOIDS PIGMENTS IN PLANTS GROWN UNDER ARTIFICIAL LIGHT. **Carpathian Journal of Food Science & Technology**, v. 4, n. 1, 2012.

PROZ, Mariel de los Ángeles et al. Effects of indoor, greenhouse, and field cultivation on bioactive compounds from parsley and basil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 15, p. 6320-6330, 2021.

PROZ, Mariel de los Ángeles. Compostos bioativos em salsa (petroselinum crispum) e manjeriço (ocimum basilicum) produzidos sob diferentes sistemas de cultivo. 2020.

PURUSHOTHAMAN, Balakrishnan et al. A comprehensive review on Ocimum basilicum. **J. Nat. Remedies**, v. 18, n. 3, p. 71-85, 2018.

PIMPUTKAR, Siddha et al. Prospects for LED lighting. **Nature photonics**, v. 3, n. 4, p. 180-182, 2009.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, SUSAN E. Biologia vegetal. 6ª edição. **Guanabara Koogan SA**, 2001.

SAKALAUSKAITĖ, Jurga et al. The effects of different UV-B radiation intensities on morphological and biochemical characteristics in Ocimum basilicum L. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 6, p. 1266-1271, 2013.

SANTOS, A. S. et al. Descrição de sistema e de métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório. **Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2004.

SANTOS, Fabrício Dheocleciano Pereira dos. Rendimento, componentes do óleo essencial e propagação de genótipos de manjericões no Distrito Federal. 2017.

SHAHRAJABIAN, Mohamad Hesam; SUN, Wenli; CHENG, Qi. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): A review. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 1961-1970, 2020.

SHARMA, Pallavi et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**, v. 2012, 2012.

SILVA, Evandro N. et al. Coordinate changes in photosynthesis, sugar accumulation and antioxidative enzymes improve the performance of *Jatropha curcas* plants under drought stress. **Biomass and bioenergy**, v. 45, p. 270-279, 2012.

SILVA, L. Desenvolvimento de um protótipo de uma câmara de cultivo de plantas. 2020. 106 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

SILVA, Marília Lordêlo Cardoso et al. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-681, 2010.

SIMON, James E. et al. Basil: A source of essential oils. In: **Advances in new crops. Proceedings of the first national symposium 'New crops: research, development, economics', Indianapolis, Indiana, USA, 23-26 October 1988**. Timber Press, 1990. P. 484-489.

Soares, J.M. & Costa F.F da. Irrigação -In: SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S. (Ed.). A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. Cap. 9. P. 351-427.

STASHENKO, Elena E.; JARAMILLO, Beatriz E.; MARTÍNEZ, Jairo R. Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante in vitro de los metabolitos 36amília36ios volátiles de plantas de la 36amília Verbenaceae. **Rev. Acad. Colomb. Cienc**, v. 27, n. 105, p. 579-597, 2003.

STEVENSON, David E.; HURST, Roger D. Polyphenolic phytochemicals—just antioxidants or much more?. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 64, n. 22, p. 2900-2916, 2007.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TSASI, Gerasimia et al. The effect of harvesting on the composition of essential oils from five varieties of *Ocimum basilicum* L. cultivated in the Island of Kefalonia, Greece. **Plants**, v. 6, n. 3, p. 41, 2017.

UNITED NATIONS. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights Economic & Social Affairs. New York: [s.n.]. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>>.

VAN BREUSEGEM, Frank et al. The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant science*, v. 161, n. 3, p. 405-414, 2001.

VAN DEN DOOL, H. A. N. D.; KRATZ, P. Dec. **A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography**. 1963.

CAPÍTULO II

DESENVOLVIMENTO VEGETAL E RENDIMENTO EM ÓLEO ESSENCIAL DE UM ACESSO DE *OCIMUM BASILICUM* L. CULTIVADO EM DOIS DIFERENTES AMBIENTES.

RESUMO

O manjericão (*Ocimum basilicum* L.), é uma planta aromática de pequeno e médio porte, originária de regiões tropicais e subtropicais asiáticas. Pode ser classificado conforme a composição química de seu óleo essencial, conferindo diversas aptidões e usos para cada cultivar. A presente proposta visa analisar os impactos de sistemas de cultivo indoors sobre plantas de manjericão, comparando-as com plantas cultivadas em campo, analisando aspectos agrônômicos das plantas obtidas e a produção do óleo essencial. Foi confeccionada uma câmara para cultivo de plantas de 1,60 m de comprimento, 80 cm de altura e 60 cm de largura em estrutura de madeira revestida internamente por uma manta aluminizada de espuma sintética. A câmara contou com arrefecimento e controle de umidade, sistema de iluminação LED, sensoriamento e automação do controle ambiental baseados na placa Arduino R3. Dez plantas de manjericão foram postas a crescer em vasos de 2L no interior da câmara por cinco semanas. Ao mesmo tempo, dez plantas do mesmo lote foram postas a crescer em horta semicomercial no campo pelo mesmo período. Decorridas cinco semanas de ciclo vegetativo foram registrados: a altura das plantas, a massa fresca e a massa seca e o rendimento em óleo essencial, bem como foi avaliado o aspecto visual das plantas. Como resultados, a altura das plantas do campo foi em média 13,06% superior ao das plantas da estufa, diferença estatisticamente significativa. A massa fresca e a massa seca das plantas do campo foram superiores às das plantas da estufa, a massa fresca 20,6% e a massa seca 9,37%, diferenças estatisticamente significativas. O rendimento em óleo essencial das plantas da estufa foi equivalente aos das plantas do campo. Visualmente, as plantas crescidas na estufa apresentaram desenvolvimento semelhante ao das plantas do campo, com a vantagem de não exibirem deformações foliares e manchas necróticas observadas pontualmente em algumas plantas do campo. Concluiu-se que a câmara de cultivo indoor apresentou-se adequada para o cultivo do manjericão.

Palavras-chave: *Ocimum* spp., cultivo vertical, óleo essencial, cultivo *indoor*, automação.

ABSTRACT

Basil (*Ocimum basilicum*) is a small and medium-sized aromatic plant native to tropical and subtropical Asian regions. It can be classified according to the chemical composition of its essential oil, giving several aptitudes and uses to each cultivar. The present proposal aims to analyze the impacts of indoor cropping systems on basil plants, comparing them with plants grown in the field, analyzing agronomic aspects of the plants obtained and the production of the essential oil. A chamber of 1.60 m long, 80 cm high and 60 cm wide was made in a wooden structure for the cultivation of plants covered internally by an aluminized blanket of synthetic foam. The chamber had cooling and humidity control, LED lighting system, sensing, and environmental control automation based on the Arduino R3 board. Ten basil plants were set to grow in 2L pots inside the chamber for five weeks. At the same time, ten plants from the same plot were set to grow in a semi-commercial garden in the field for the same period. After five weeks of vegetative cycle, the height of the plants, the fresh and dry mass and the yield in essential oil were recorded, as well as the visual aspect of the plants. As a result, the height of the field plants was on average 13.06% higher than that of the greenhouse plants, a statistically significant difference. The fresh mass and dry mass of the field plants were higher than those of the greenhouse plants, the fresh mass 20.6% and the dry mass 9.37%, statistically significant differences. The essential oil yield of the greenhouse plants was equivalent to that of the field plants. Visually, the plants grown in the greenhouse showed development similar to that of the field plants, with the advantage of not exhibiting leaf deformations and necrotic spots observed occasionally in some field plants. It was concluded that the indoor cultivation chamber was suitable for basil cultivation.

Keywords: Basil, vertical farming, essential oil, indoor cultivation, automation.

4.1. INTRODUÇÃO

O manjericão (*Ocimum basilicum L.*) é uma importante fonte fitoquímicos, principalmente monoterpenos e fenilpropanoides, que são associados ao tratamento de diabetes, câncer, artrite, disfunções cardíacas e outras (SHAHRAJABIAN et al., 2020). Além disso, a planta também é rica em antocianinas, sesquiterpenos e ácidos fenólicos (MAKRI; KINTZIOS, 2008).

Os compostos presentes nos óleos essenciais obtidos a partir de cada acesso de manjericão determinarão a classificação do quimiotipo de cada tipo de manjericão, ainda que não existam grandes diferenças morfológicas entre as espécies de manjericão. Os quimiotipos são associados aos nomes dados para cada tipo de manjericão, batizados conforme seu local de origem, podendo ser originário de praticamente todos os continentes (SIMON et al., 1990).

O metabolismo secundário, responsável pelo acúmulo de óleos essenciais nos tecidos vegetais é fortemente afetado por fatores genéticos e ambientais, que afetarão a classificação da espécie quanto ao seu quimiotipo (GOBBO-NETO et al., 2007).

É importante ressaltar que além de fatores genéticos, outros fatores podem acarretar alterações significativas na produção de metabólitos secundários, que decorrem da interação entre as plantas e o ambiente, onde os estímulos ambientais podem alterar significativamente a produção de metabólitos secundários. Tais fatores abrangem a interação de plantas com insetos e outras plantas, idade e estágio de desenvolvimento, fatores abióticos como luminosidade, temperatura, pluviosidade nutrição e até fatores como técnica e horário de colheita (DE MORAIS et al., 2009).

Nesse sentido, sistemas voltados para a produção de ervas aromáticas devem levar em consideração a influência dos fatores ambientais sobre a qualidade, composição e rendimento de óleo essencial, empregando inovações e aperfeiçoamento de técnicas que resultem em plantas ricas em óleo essencial com

composição dentro de padrões e uniformidade esperados pelo mercado (GOBBO-NETO et al., 2007).

O objetivo do presente capítulo é analisar os impactos de sistemas de cultivo indoors sobre plantas de manjeriço, comparando-as com plantas cultivadas em campo, analisando aspectos agrônômicos das plantas obtidas e a produção do óleo essencial.

4.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1. MANJERICÃO (*OCIMUM BASILICUM*) – BOTÂNICA E USOS

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) é uma erva que integra a família Lamiaceae, sua propagação se dá por meio de estacas de ramos jovens e sementes, é caracterizado botanicamente como uma planta perene ou anual, possuindo muitas ramificações e atinge 0,6 a 1,0m de altura (KARAMATOVA et al. 2021).

Suas folhas são simples e opostas, com tamanho e formato variados conforme a espécie, apresenta inflorescência do tipo cimeira espiciforma, flores brancas, rosa ou arroxeadas e labiadas. Seus frutos são do tipo aquênio, contendo pequenas sementes pretas e oblongas (COUTO, 2006).

No Brasil o cultivo de manjeriço é feito principalmente por pequenos e médios produtores que visam o comércio de suas folhas frescas ou secas, que são utilizadas na indústria e culinária (LUZ, 2014).

As folhas colhidas possuem diversas aplicações, em especial dentro da indústria farmacêutica e usos dentro da culinária. Isso se deve à presença de óleos essenciais em suas folhas e inflorescências, que são utilizadas para a extração de compostos de interesse ou consumo in natura na forma de chás ou como condimento (MAKRI; KINTZIOS, 2008).

Diversos tipos de manjeriço podem ser cultivados, os quais recebem diversas nomenclaturas em decorrência de suas características físicas e pela composição do óleo essencial extraído. Essa composição determinará a classificação do quimiotipo de cada tipo de manjeriço, ainda que não existam grandes diferenças morfológicas entre as espécies de manjeriço. Os quimiotipos são associados aos nomes dados para cada tipo de manjeriço, batizados conforme seu local de origem, podendo ser originário de praticamente todos os continentes (SIMON et al., 1990).

Os principais compostos aromáticos que integram o óleo essencial de manjeriço são o timol, metil-chavicol, linalol, eugenol, cineol e alfa pireno. Entretanto, essa composição pode sofrer variações advindas de fatores externos, como época de cultivo, tratamentos culturais e manejo (MARTINS, 2000).

4.2.2. ADUBAÇÃO

Todos os vegetais necessitam de substâncias químicas para seu desenvolvimento adequado, essas substâncias são absorvidas uma vez que estejam em sua forma mineral, desempenhando diversos papéis dentro do metabolismo vegetal. Seja na forma de metabolismo primário ou secundário, sendo o último, diretamente relacionado à produção de compostos aromáticos presentes no óleo essencial (FAQUIN, 2005).

De forma geral, a recomendação para o cultivo de manjeriço é de 5 kg/m² de esterco de gado curtido, enquanto a adubação mineral sugerida segue a relação 1:1:1 de N, P₂O₅ e K₂O, para 230 a 300 kg por hectare para o plantio. Também se recomenda a adubação nitrogenada após cada corte, na proporção de 50 a 75 kg por hectare (SIMON, 1985; PEREIRA, 2011).

As vantagens da utilização de adubação orgânica incluem a liberação lenta dos minerais e melhorias do solo a longo prazo, entretanto, a adubação exclusivamente mineral pode estar relacionada à diminuição na concentração de princípios ativos no óleo essencial extraído (CARVALHO, 2004; RESENDE, 2010).

4.2.3. ÉPOCAS E AMBIENTES DE CULTIVO

A influência das épocas de cultivo sobre o desenvolvimento, rendimento e composição de óleo essencial para acessos de *Ocimum basilicum*, já foi foco de diversas pesquisas, explorando a interação do ambiente com tais características do material vegetal. A época de cultivo afeta principalmente os cultivos realizados a céu aberto, uma vez que os únicos fatores controlados pelo agricultor nesse sistema são a adubação e a irrigação, quando existente (LUZ et al., 2014).

Em um estudo conduzido avaliando acessos de *Aloysia triphylla* cultivada no estado do Rio Grande do Sul foi concluído que o cultivo nas estações mais frias reduziu o desenvolvimento vegetal e produção de óleo essencial, onde as plantas cultivadas no verão se sobressaíram em relação aos cultivos nas demais estações. Demonstrando o impacto das baixas temperaturas e radiação solar sobre o desenvolvimento vegetal, que foi favorecido por temperaturas mais altas e maiores níveis de radiação (MENEGAT et al., 2013).

Além de variações de temperatura e radiação solar, outro fator que pode afetar os cultivos a céu aberto é a incidência de ventos, que podem ter efeito negativo no acúmulo de óleos essenciais em estruturas superficiais das plantas, contribuindo para variações sazonais na qualidade e rendimento de óleo nesse tipo de cultivo (VALMORBIDA et al., 2006).

Com relação às temperaturas, o cultivo de manjeriço apresentou bons resultados para desenvolvimento vegetal e produção de óleo essencial em temperaturas entre 25 e 30°C com temperatura mínima recomendada de 15°C, sendo o desenvolvimento vegetativo paralisado abaixo de 10,9°C (CHANG et al., 2005).

Em Brasília, a influência da época de cultivo também pode ser observada em acessos de manjeriço, que apresentaram maior desenvolvimento e acúmulo de óleo essencial na época da chuva quando comparados aos acessos cultivados durante a época seca. Além do aspecto físico, a época chuvosa também tem potencial de afetar a composição do óleo essencial extraído, favorecendo o acúmulo de linalol e eugenol (CANINI, 2013).

4.2.4. CONTROLE AMBIENTAL E AMBIENTE PROTEGIDO

Uma forma de contornar as variações geradas pela incidência de intemperes é o cultivo em ambiente protegido, que oferece a possibilidade de exercer maior controle sobre o ambiente, a depender do nível de tecnologia empregado.

A principal característica do cultivo protegido é a cobertura, que pode variar entre coberturas vazadas que geram um percentual de sombra sobre o cultivo e coberturas de filme plástico. A utilização de filme plástico no cultivo protegido pode auxiliar os produtores a reduzir a incidência solar durante as horas mais quentes do dia e manter o ambiente aquecido durante as temperaturas noturnas mais baixas (SENTELHAS; SANTOS, 1995).

Apesar da redução da incidência de radiação solar global incidindo sobre as plantas, o efeito estufa proporcionado pela cobertura plástica tem efeitos positivos sobre a temperatura do ar, que tende a ser maior nesse ambiente coberto. Essa

mudança traz maior acúmulo de graus dia, que acelera o crescimento vegetativo em comparação com o cultivo em ambiente externo (PEZZOPANE et al., 1995).

Outra inovação que o cultivo em estufas cobertas por filme plástico oferece é a possibilidade de utilizar materiais com características de filtragem espectral da radiação solar, permitindo a passagem de determinados comprimentos de onda, impactando as funções fisiológicas das plantas (PAULUS, 2016).

Por outro lado, existem opções para o controle da temperatura no interior dessas estufas, por meio da utilização de malhas de sombreamento, que pode atenuar as temperaturas internas de uma estufa de cultivo (GUISELINI; SENTELHAS, 2004).

A umidade relativa do ar no interior das estufas também é outro ponto que deve ser observado, uma vez que a cobertura plástica das estufas afeta diretamente a retenção da umidade que escapa do solo e pela evapotranspiração.

No interior de estufas, a umidade tende a ser similar à registrada no exterior, entretanto, a maior diferença se dá no período noturno. Essa diferença é atribuída à retenção de vapor d'água pelo filme plástico, bem como a queda acentuada de temperatura durante a noite (SENTELHAS; SANTOS, 1995).

Vale ressaltar que esses dados podem variar conforme o manejo da estufa, que pode contar com ventilação controlada, paredes vazadas e outros métodos de controle, que podem contribuir para uma redução ou aumento da umidade.

4.2.5. CONTROLE DA IRRIGAÇÃO

A irrigação é um dos principais fatores que limita a obtenção de colheitas constantes e uniformes em diferentes épocas e ambientes de cultivo, afetando diretamente o desenvolvimento vegetal, acúmulo de matéria seca, fresca e produção de frutos.

Para uma irrigação de precisão, é necessário saber a evapotranspiração de referência (ET_o), obtida por lisímetros e estações meteorológicas, e o balanço hídrico da cultura (ET_c), o quociente entre os dois resulta no K_c, que é o coeficiente da cultura. Segundo Daza-Torres et al. (2017) os K_cs para o manjeriço são: estágio de crescimento, 0,45±0,02 (25 dias após o transplante, dat); estágio de maturidade, 0,59±0,02 (26–50 dat); e estágio de senescência, 0,42±0,03 (51–71 dat).

Acessos do gênero *Ocimum* cultivados sob em vasos sob diferentes níveis de estresse hídrico apresentaram diferenças significativas na massa seca e fresca, acúmulo de óleo essencial e composição química do óleo essencial, bem como diminuição no teor de proteína e principais nutrientes como N, P e K (KHALID, 2006).

Acerca da matéria seca, Ekren et al. (2012) observaram sensibilidade de manjeriço roxo ao estresse hídrico, com redução significativa do acúmulo de matéria seca.

Em outro experimento com manjeriço sob estresse hídrico Omidbaigi et al., (2003), constataram aumento no teor de óleo essencial extraído de acessos sob estresse. Por outro lado, Singh (2003) cita que em alguns ensaios, não houve impacto no teor de óleo essencial, bem como em sua composição.

Os impactos do manejo hídrico sobre o manjeriço variam conforme a espécie, destacando a importância de testes e avaliações conforme o acesso cultivado, prezando o cultivo livre de estresse hídrico, uma vez que a resposta ao mesmo pode afetar negativamente os resultados obtidos.

4.2.6. CULTIVO INDOOR

Apesar das vantagens e inovações tecnológicas citadas no tópico anterior, o cultivo protegido ainda conta com limitações, em particular a incidência de pragas e

controle ambiental limitado, dependendo, via de regra, do ambiente externo, bem como da disponibilidade de terras agricultáveis.

Com a expansão da população em zonas urbanas, decréscimo da população rural e conseqüente redução da mão de obra disponível, bem como mudanças climáticas, uma nova tecnologia de cultivo é proposta para contornar tais limitações. Conhecida como cultivo indoor ou cultivo vertical, esse método busca realizar o cultivo de plantas em ambientes pouco convencionais, como os encontrados em ambientes urbanos (KALANTARI et al., 2018).

O cultivo vertical pode trazer outras vantagens, como a proximidade ao consumidor final, redução do uso de defensivos, uso racional da água e alteração do ambiente de cultivo para produção contínua, mesmo em períodos inadequados para cultivos tradicionais (BIRKBY, 2016).

Esse tipo de cultivo pode ser encontrado nas mais diversas formas, incluindo o cultivo caseiro, feito por entusiastas não profissionais, até verdadeiras fazendas urbanas, geralmente concebidas em edificações modificadas ou construídas especialmente para tal propósito. Independente da escala e profissionalismo empregado, esse tipo de cultivo está em ascensão, ao passo em que a população urbana cresce (KALANTARI et al., 2017).

De forma geral, o cultivo vertical emprega iluminação artificial de forma total ou parcial para suprir a demanda de radiação dos vegetais cultivados no sistema, que costumam estar em substrato aeropônico ou hidropônico, e em um ambiente climatizado, fazendo o uso de tecnologias disponíveis e adequadas ao local para regular fatores como a umidade relativa do ar, temperatura e renovação do ar.

Apesar da existência de sistemas altamente sofisticados, é importante ressaltar que um sistema de cultivo vertical ou uma pequena câmara para cultivos indoor devem

suprir em quantidades adequadas e em faixa de temperatura ideal, radiação, água e nutrientes, bem como trocas gasosas necessárias ao processo fotossintético (SILVA, 2020).

Assim, diferentes variações dentro desse sistema devem ser avaliadas conforme a necessidade local, disponibilidade tecnológica e viabilidade econômica, não se distanciando da classificação de cultivo indoor ou vertical.

4.3. MATERIAIS E MÉTODOS

4.3.1. MATERIAL VEGETAL

O material vegetal empregado no experimento consistiu em 20 mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) obtidas a partir de propagação vegetativa de estacas provenientes de planta mãe adquirida em comércio local.

As estacas foram fixadas em leito com terra vegetal para enraizamento por 5 semanas, após esse período as estacas foram retiradas do substrato e individualizadas em 20 vasos de 3,0L de capacidade, contendo substrato vegetal similar ao utilizado para o enraizamento inicial.

O substrato utilizado foi adquirido em loja especializada em jardinagem, sendo composto por esterco curtido, terra de curral e estabilizantes de pH, ideal para cultivo orgânico. A embalagem pode ser conferida na figura 1 enquanto a análise do solo de cultivo é apresentada na tabela 1.



Figura 1 - Substrato utilizado. Fonte: Do autor (2023).

Após um período de três semanas, as estacas já se encontravam enraizadas e receberam adubação de cobertura composta por 2g de NPK 10-10-10 em cada vaso, na mesma ocasião, foram podadas para que todas as plantas ficassem com 15cm de altura em relação à superfície do substrato do vaso, conforme apresentado na figura 2.



Figura 2: Mudanças após três semanas de enraizamento (A); mudanças após a uniformização à 15cm de altura (B). Fonte: Do autor (2023).

4.3.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Uma vez que os 20 vasos passaram pela poda e adubação, foram divididos aleatoriamente em dois grupos com 10 indivíduos cada, em seguida foram colocados em seus respectivos ambientes de cultivo (estufa de cultivo e campo à céu aberto).

As plantas que seguiram para o cultivo a céu aberto foram cuidadosamente retiradas dos vasos e plantadas em covas com espaçamento de 50 cm entre elas, enquanto as demais foram acomodadas na estufa de cultivo visando a igual distribuição de espaço para cada indivíduo, evitando competição por luminosidade.

As análises de solo dos dois ambientes de cultivo podem ser averiguadas na tabela 1.

Tabela 1. ANÁLISES DE SUBSTRATO (ESTUFA) E SOLO (CAMPO), UTILIZADOS NOS ENSAIOS (BRASÍLIA- DF, 2024).

1.COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA		
COMPONENTE	Terra Vegetal	Solo de Horta
Argila, g/Kg	400	425
Areia, g/Kg	400	375
Silte, g/Kg	200	200
2.COMPLEXO SORTIVO		
pH em H ₂ O, sem unidade	6,8	6,4
FÓSFORO - P, extraído com Mehlich 1, em mg/dm ³ = ppm	12,7	36,1
CÁLCIO - Ca, em cmol c /dm ³ = mE/100mL	12,8	8,7
MAGNÉSIO - Mg, em cmol c /dm ³ = mE/100mL	4,8	1,4
POTÁSSIO - K, em cmol c /dm ³ = mE/100mL	2,62	0,81
SÓDIO - Na, em cmol c /dm ³ = mE/100mL	0,40	0,05
ALUMÍNIO - Al, em cmol c /dm ³ = mE/100mL	0,1	0,1
ACIDEZ (H + Al), em cmol c /dm ³ = mE/100mL	3,2	2,7
SOMA DAS BASES, em cmol c /dm ³ = mE/100mL	20,6	11,0
CTC ou T, a pH 7, em cmol c /dm ³	23,8	13,7
SATURAÇÃO por BASES - V, em %	87	80
SATURAÇÃO por ALUMÍNIO - m, em %	0,0	1
SATURAÇÃO com SÓDIO - ISNa, em %	2	0
CARBONO ORGÂNICO - C, em g/kg	53,5	40,4
MATÉRIA ORGÂNICA - MO, em g/kg	92,0	69,5
3.MICRONUTRIENTES		
BORO DISPONÍVEL - B, em mg/dm ³ = ppm	0,32	0,13
COBRE DISPONÍVEL - Cu, em mg/dm ³ = ppm	0,70	1,70
FERRO DISPONÍVEL - Fe, em mg/dm ³ = ppm	19,2	71,3
MANGANÊS DISPONÍVEL - Mn, em mg/dm ³ = ppm	171,9	81,7
ZINCO DISPONÍVEL - Zn, em mg/dm ³ = ppm	7,70	20,80
ENXOFRE DISPONÍVEL - S, em mg/dm ³ = ppm	30,1	47,5

Fonte: Laboratório Soloquímica-Brasília-DF, 2023.

4.3.3. AJUSTES NA CÂMARA DE CULTIVO

Conforme descrito no Capítulo I, a câmara de cultivo vertical proporciona ao operador a possibilidade de ajustar parâmetros ambientais como a faixa de temperatura, umidade e fotoperíodo, nesse ensaio a câmara foi ajustada para manter a umidade relativa do ar em uma faixa entre 85% e 95%, temperatura entre 10°C e 30°C e funcionamento do sistema de iluminação ajustado para 12h, com início às 06h da manhã e desligamento às 18h da tarde.

As regas foram feitas manualmente sempre que fosse constatada a diminuição da umidade das camadas superiores dos vasos.

4.3.4. MONITORAMENTO AMBIENTAL

O ambiente de cultivo em estufa de cultivo vertical foi monitorado por meio do próprio circuito controlador de variáveis ambientais da estufa, registrando a temperatura e umidade relativa do ar em cartão de memória a cada cinco minutos, enquanto o monitoramento das plantas cultivadas a céu aberto foi feito por meio da coleta de dados meteorológicos disponibilizados ao público pelo governo.

Decorridos os 35 dias de experimento, os dados foram tratados e tabulados, gerando gráficos de temperatura e umidade médias dentro da estufa e fora dela.

4.3.5. ANÁLISE DO MATERIAL VEGETAL

4.3.5.1. ANÁLISE FÍSICA

Durante quarenta dias todas as plantas foram mensuradas semanalmente em altura (cm). Ao final, a parte aérea de todas foi retirada para obtenção da massa fresca e seca, após o que as plantas foram analisadas para determinação do conteúdo de óleo essencial.

Para obtenção da massa seca, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e deixadas em ambiente de laboratório por duas semanas, ocasião em que foram colocadas em estufa de secagem a 30°C por 24 horas (SILVA, 2016; TAVARES et al., 2021).

4.3.5.2. ÓLEO ESSENCIAL

Para a extração do óleo essencial foi feita uma parceria com a Indústria de Insumos Orgânicos Biosgen que recebeu as plantas já secas. As plantas foram manualmente rasuradas e colocadas em destilador para a extração. A obtenção do óleo essencial (OE) e foi obtida através de destilação por arraste a vapor das folhas e parte aérea do manjeriço, obtendo-se assim o óleo essencial de manjeriço (OEMA).

O destilador utilizado foi o modelo D2, de aço inoxidável, com capacidade de 2 kg de folhas e geração de vapor obtida por via elétrica (Figura 3). O processo completo de destilação foi padronizado em 90 min.



Figura 3: Destilador modelo D2 em aço inoxidável. Fonte: do autor (2023).

4.3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento seguiu um delineamento em blocos ao acaso com dois tratamentos e 10 repetições, sendo os tratamentos os dois diferentes ambientes de cultivo e cada planta integrando o tratamento, uma repetição.

As análises estatísticas apresentadas foram feitas com dados coletados de todas as plantas integrantes do experimento, utilizando-se o software estatístico Agroestat, realizando-se o teste F a 5% de probabilidade.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do presente ensaio referem-se ao ambiente de cultivo e as plantas cultivadas em cada ambiente, avaliando a temperatura e umidade relativa do ar, evolução semanal da altura das plantas e taxa diária de crescimento por cinco semanas, bem como a comparação das massas fresca e seca das plantas colhidas ao final do ensaio, bem como o rendimento de óleo essencial extraído a partir de plantas secas.

4.4.1. AMBIENTES DE CULTIVO

Os dados coletados nos diferentes ambientes de cultivo foram tabulados e apresentados na forma de gráficos contendo três linhas cada, representando as médias, mínimas e máximas da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), sendo possível acompanhar visualmente a variação de tais parâmetros no decorrer do experimento.

Em adição, a tabela 2 traz os dados resumidos e rotulados conforme o tratamento.

Tabela 2. Umidade relativa e temperaturas médias, mínimas e máximas diárias do ar obtidas para os dois sistemas de cultivo.

Tratamentos	T°C média	T°C máxima	T°C mínima	UR (%) média	UR (%) máxima	UR (%) mínima
Estufa	20	30	10	89,1	95	44
Campo	20	29	11	66,9	95	28

Os dados obtidos para temperatura e umidade demonstraram comportamento dentro do esperado para uma estufa, onde a umidade relativa do ar se mostrou maior que a umidade registrada do lado de fora, no quesito temperatura, ambos os sistemas se mostraram semelhantes.

As maiores flutuações de umidade na estufa certamente podem ser atribuídas à interrupção do funcionamento do sistema de nebulização do ambiente, que demandava reabastecimento diário de água para seu funcionamento, causando baixa umidade relativa após o esgotamento do reservatório de água devido ao funcionamento dos exaustores até a chegada do operador da estufa.

Por outro lado, apesar das temperaturas médias similares entre os ambientes de cultivo, o funcionamento do sistema de arrefecimento se mostrou capaz de impedir que a estufa ficasse mais quente que o ambiente externo, dissipando de forma satisfatória o calor emanado pela luminária de cultivo.

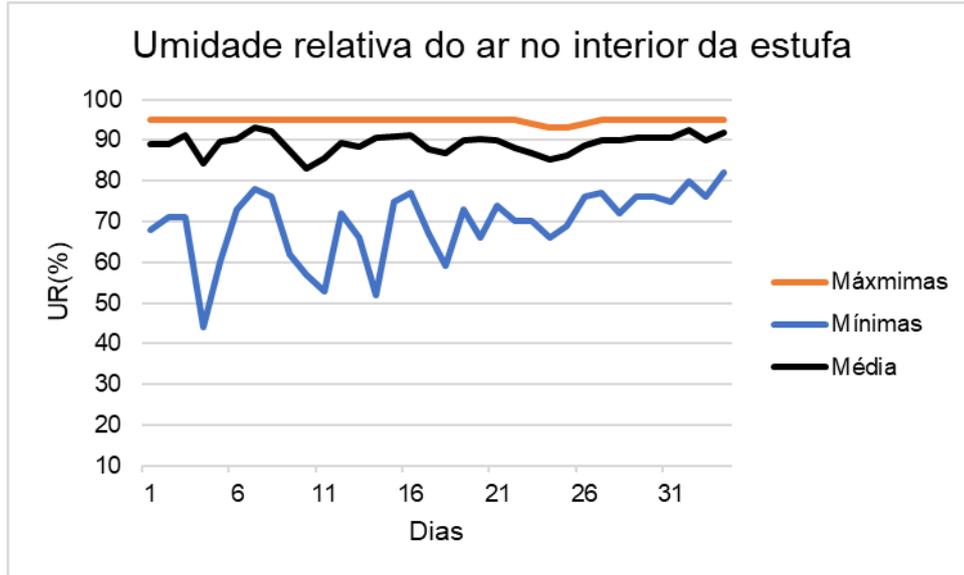


Figura 4: Umidade relativa do ar no interior da estufa no decorrer do ensaio.

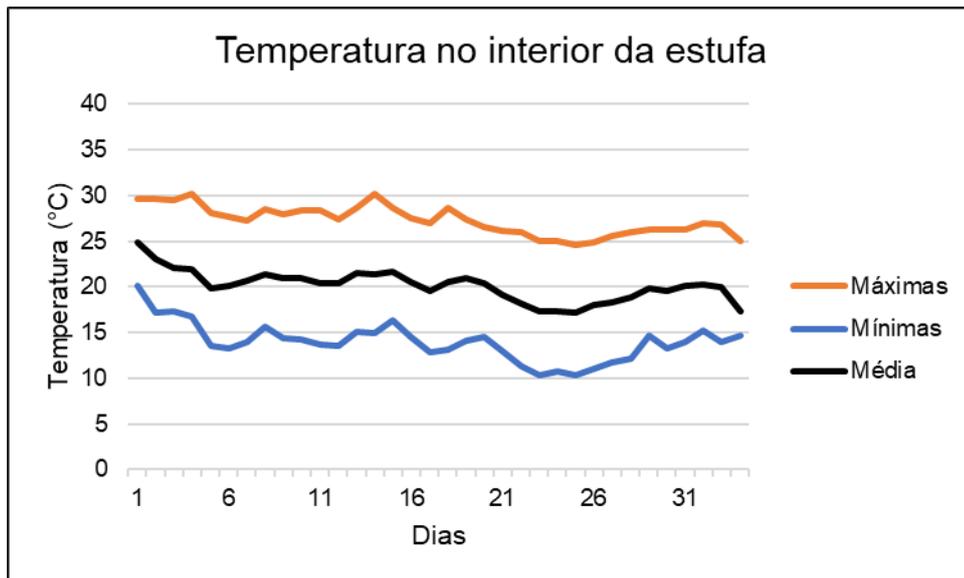


Figura 5: Temperatura do ar no interior da estufa no decorrer do ensaio.

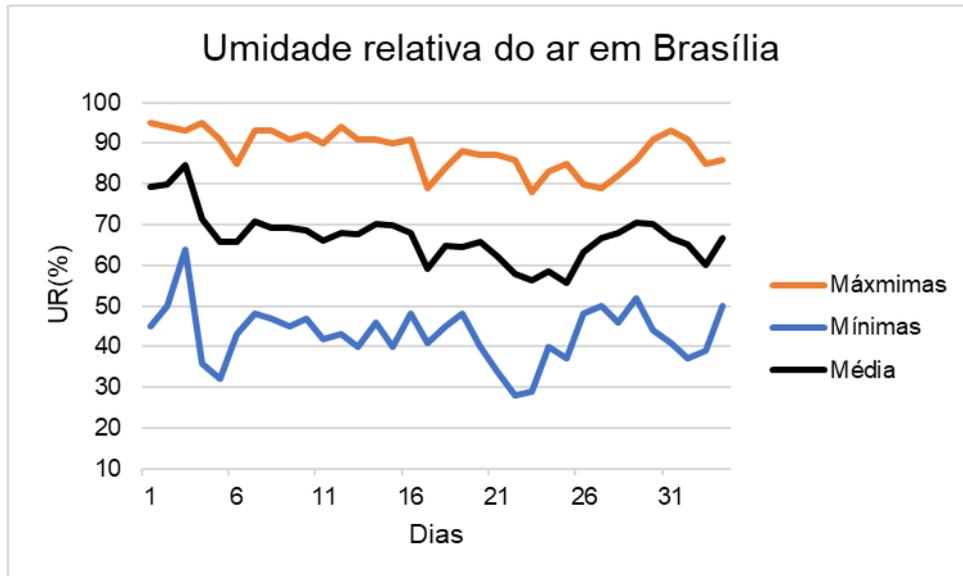


Figura 6: Umidade relativa do ar em Brasília no decorrer do ensaio.

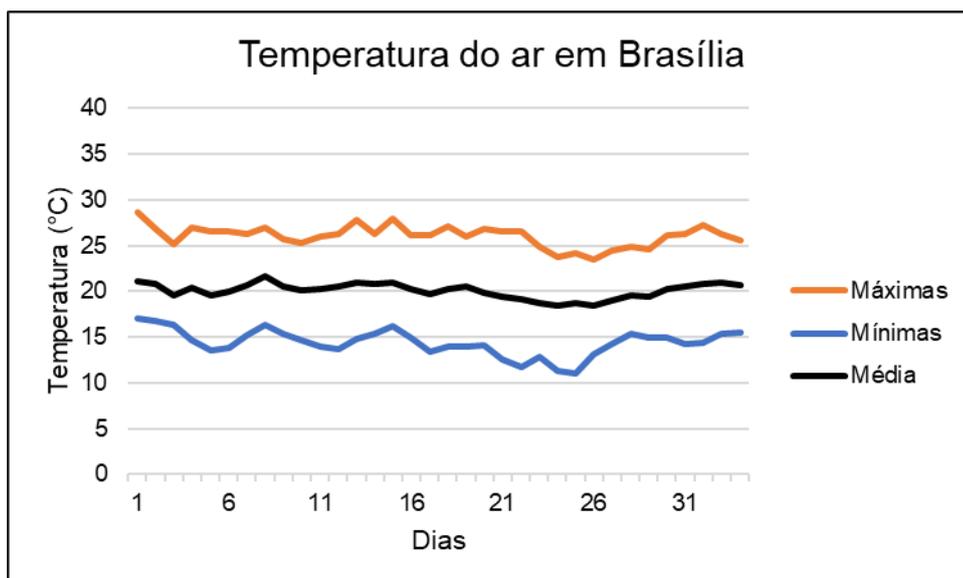


Figura 7: Temperatura do ar em Brasília no decorrer no ensaio

4.4.2. MATERIAL VEGETAL

4.4.2.1. ALTURA, MASSA FRESCA E MASSA SECA.

A altura das plantas foi tomada semanalmente pelo mesmo responsável no decorrer de 5 semanas, as medidas foram utilizadas para a elaboração dos gráficos contidos na figura 8 e 9.

Na Figura 8 observa-se que as mudas apresentaram paridade de crescimento até a quarta semana de observações. Na quinta semana houve um crescimento extra das mudas plantadas no campo, certamente devido a algum evento climático, o que é próprio de cultivos de campo. Para as medições da quarta semana, o teste estatístico F não acusou diferença significativa, o que não ocorreu com as medições da quinta e última semana, em que as plantas do campo foram significativamente mais altas que as plantas crescidas na estufa, pelo mesmo teste.

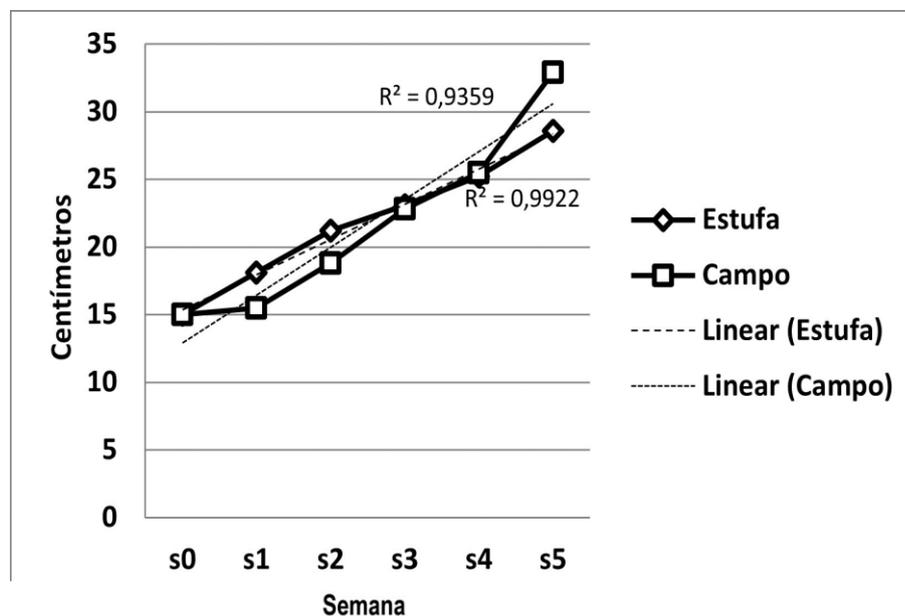


Figura 8: Crescimento de 10 mudas de manjeriço na estufa e no campo por cinco semanas.

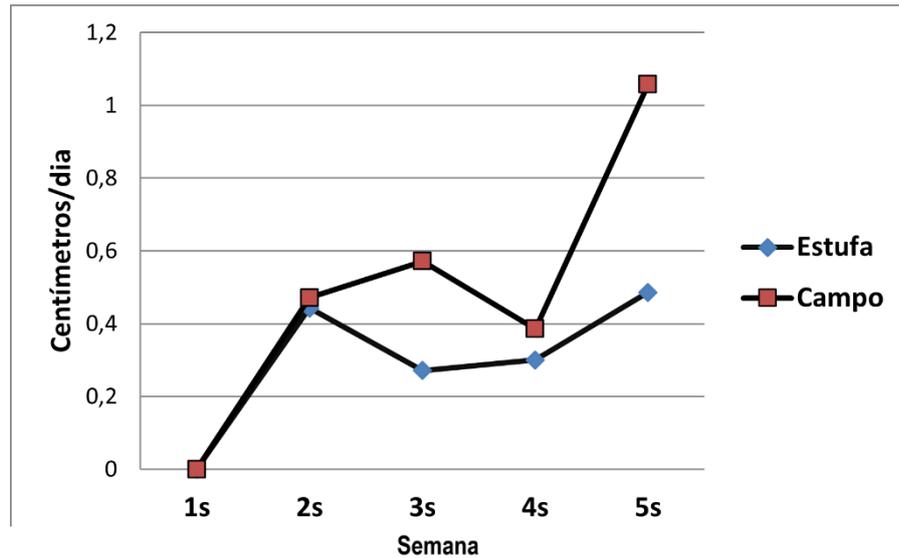


Figura 9: Taxa de crescimento de 10 plantas de manjeriço em cinco semanas, em dois ambientes de cultivo.

A Figura 9 apresenta os dados da evolução da taxa de crescimento das mudas de manjeriço durante o período ensaio destacando-se a aceleração extra do crescimento das plantas de campo ocorrida na quinta e última semana de observações.

A Tabela 3 apresenta os dados de massa fresca e massa seca de mudas de manjeriço submetidas a cultivo em dois diferentes sistemas. Tanto para massa fresca quanto para massa seca as plantas do campo apresentaram números maiores, embora próximos, diferindo estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Medias da altura e das massas fresca e seca de mudas de manjeriço após cinco semanas de crescimento em dois sistemas de cultivo.

Tratamentos	Altura(cm)	Massa fresca (g)	Massa seca(g)
Estufa	28,6(*)	27,00(*)	9,83(*)
Campo	32,9(*)	34,00(*)	10,81(*)

(*) Diferença estatística pelo teste $F_{0,05}$

4.4.2.2. ASPECTO VISUAL

O sistema de iluminação da estufa, ajustado para 12h, com início às 06h da manhã e desligamento às 18h da tarde, foi eficiente em possibilitar um desenvolvimento visivelmente aceitável da planta. O fotoperíodo não parece ser crítico. Skrubis & Markakis (1976) mencionam que fotoperíodos mais longos *indoor* antecipam a colheita do manjericão.

Pennisi et al. (2020) citam que as variações do fotoperíodo *indoor* não afetaram parâmetros de crescimento do manjericão (biomassa fresca e área foliar) e a capacidade da planta de transformar recursos (por exemplo, eficiência no uso da água e eficiência no uso da luz). A eficiência no uso da energia no manjericão também apresentou uma tendência de queda em resposta ao crescimento do DLI (qualidade da luz). Indicam um DLI de $14,4 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ com fotoperíodo de 16 h d^{-1} como ótima opção.

Tabbert et al. (2022) citam que independentemente do tratamento com luz aplicado, as composições de compostos orgânicos voláteis específicas de cultivares mudaram de maneira dependente do estágio de desenvolvimento.

Hammock (2018) opina que a aplicação de iluminação LED para complementar o DLI (luz diária integral) natural tem grande potencial para melhorar a qualidade geral do sabor para ervas especiais de alto valor.

Após a colheita, as plantas foram inspecionadas visualmente e fotografadas, a fim de registrar as diferenças visuais entre os indivíduos de cada ambiente de cultivo. As plantas foram agrupadas conforme o sistema de cultivo e são exibidas nas figuras 10 e 11.

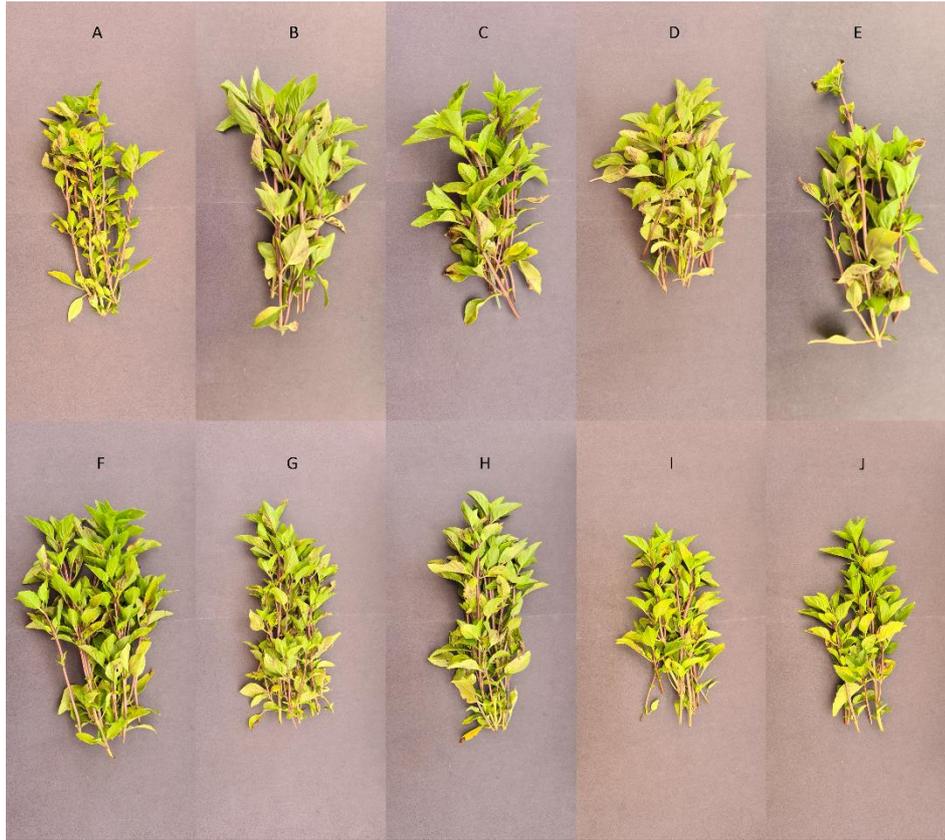


Figura 10: Plantas cultivadas a campo após a colheita.

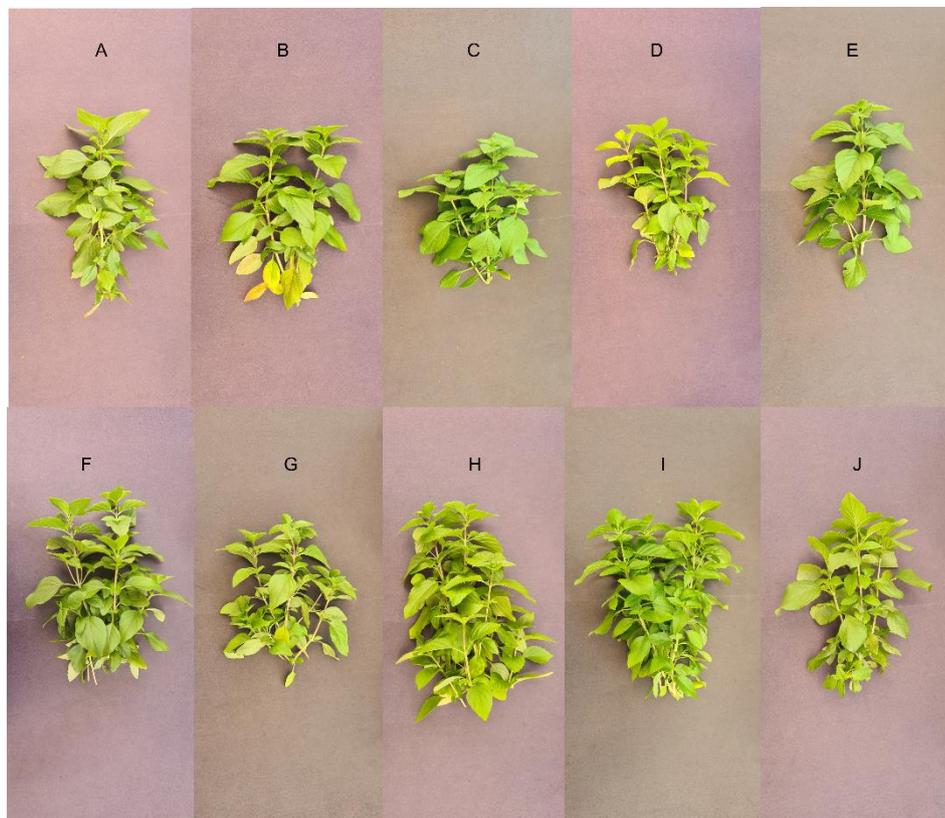


Figura 11: Plantas cultivadas em estufa após a colheita.

Visualmente, pode-se constatar maior perfilamento nas plantas cultivadas em campo, enquanto as cultivadas na estufa apresentaram menor perfilamento, o que pode justificar o maior teor de massa seca e fresca nas plantas de campo.

Outro aspecto observado foram as folhas de cada sistema de cultivo, sendo as folhas oriundas de plantas cultivadas na estufa maiores em área e menos numerosas, enquanto as plantas de campo apresentaram folhas mais numerosas e menores quando comparadas às da estufa.

Folhas e hastes danificadas também foram mais presentes nas plantas de campo, possivelmente causadas por pragas, doenças, trânsito de indivíduos e intempéries.

4.4.2.3. ÓLEO ESSENCIAL

Os resultados apresentados na Tabela 4 referem-se a massas de 29,57g de material vegetal de manejo de campo e 26,80g de manejo de estufa utilizadas no processo de destilação.

Tabela 4. Massa seca, volume de óleo essencial e rendimento de óleo essencial de campo e de estufa de um genótipo de *Ocimum basilicum* comumente comercializado em Brasília-DF.

Manejo	Massa seca (g)	Volume de óleo essencial (mL)	%
Campo	29,57	0,089	0,3
Estufa	26,80	0,095	0,4

O rendimento do óleo essencial no campo foi 0,300% e na estufa, 0,357%. Nos dois casos o rendimento foi considerado dentro do previsto para o óleo essencial do manjeriço que é entre 0,2% e 1% (ALVES et al. 2015). Os rendimentos em óleo essencial dos tratamentos não apresentaram diferenças expressivas (Tabela 4).

Sanson (2009) trabalhando com o mesmo genótipo em vaso e sob *glasshouse*, obteve uma massa seca média de 24.36 g e um rendimento em óleo essencial de 1.57% aos noventa dias de crescimento.

Canini (2012) comparando o desenvolvimento em campo do mesmo genótipo em duas estações, encontrou massa seca média (MSM) de 224.45g e rendimento em óleo essencial de 1.60% nas águas e MSM de 107,13g com rendimento em óleo essencial de 1,23% na seca, ambos com 120 dias de crescimento.

Jannuzzi (2013), utilizando o mesmo genótipo em campo, comparando crescimento após poda com 40cm e 15 cm de altura e tempos de colheita de 45dias,90 dias e 135 dias, obteve os melhores resultados com colheita aos 45 dias após da poda de 40cm, quais sejam: massa seca de folhas por planta 29,84g e rendimento em óleo essencial 0,35%. Na colheita após 90 dias, obteve 47,49g de massa seca de folhas por planta e rendimento em óleo essencial de 0,4%.

Santos (2017) trabalhando com o mesmo genótipo em ensaio de vasos sob *glasshouse* encontrou rendimento em óleo essencial de 1,60% em 90 dias de crescimento.

A quantidade de óleo essencial obtida foi muito pequena para ser analisada quimicamente, possivelmente em decorrência da baixa massa vegetal fornecida, que na ocasião passou por um método misto de secagem no ambiente por duas semanas e depois na estufa da secagem a 30°C por 24 horas, que pode ter influenciado o resultado.

David et al. (2006) citam que aumento da temperatura de secagem por 24 horas em estufa de secagem 40 > 50 > 60 > 70°C, deprimiu monoterpenos e sesquiterpenos e o rendimento em óleo essencial. Citando que 40°C por 24hs na estufa de secagem foi o melhor tratamento. Alguns autores citam a secagem ao ar livre ou no ambiente

do laboratório por algum tempo, como adequadas (SILVA, 2016; TAVARES et al., 2021).

No presente ensaio, foi possível realizar uma avaliação organoléptica dos óleos essenciais. Ambos mantiveram o aspecto visual de líquido límpido, de cor amarelo pálido a quase incolor e no odor aromático herbáceo sendo que no manejo da estufa pode se perceber uma aroma levemente picante, sugerindo um possível quimiotipo metilchavicol, que só poderia ser confirmado com a análise de constituição química (ISO 11043:1998).

4.5. CONCLUSÃO

A altura das plantas do campo foi em média 13,06% superior ao das plantas da estufa, diferença estatisticamente significativa.

A massa fresca e a massa seca das plantas do campo foram superiores às das plantas da estufa, a massa fresca 20,6% e a massa seca 9,37%, diferenças estatisticamente significativas.

O rendimento em óleo essencial das plantas da estufa foi equivalente aos das plantas do campo.

Visualmente, as plantas crescidas na estufa apresentaram desenvolvimento semelhante ao das plantas do campo, com a vantagem de não exibirem deformações foliares e manchas necróticas observadas pontualmente em algumas plantas do campo.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, L. S., PAZ, V. P. S., SILVA, A. J. P., OLIVEIRA, G. X. S., OLIVEIRA, F. E. R., & AMORIM, E. L.. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino com NaCl. *Revista Brasileira De Plantas Mediciniais*, 17(4), 807–813. 2015.

BIRKBY, Jeff. Vertical farming. **ATTRA sustainable agriculture**, v. 2, p. 1-12, 2016.

CANINI, Giselle Beber. Caracterização anatômica e composição química do óleo essencial de manjeriço (*Ocimum spp.*). 2013.

CARVALHO FILHO, José Luiz S. et al. Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum L.*) essential oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, p. 24-30, 2006.

CHANG, Xianmin; ALDERSON, Peter; WRIGHT, Charles. Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum L.*). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 80, n. 5, p. 593-598, 2005.

COUTO, Mery Elizabeth Oliveira. Coleção de plantas medicinais aromáticas condimentares. 2006.

Daza-Torres, M.C., Arias-Prado, P.C., Reyes-Trujillo, A., Urrutia-Cobo, N. Basil (*Ocimum basilicum L.*) water needs calculated from the crop coefficient. *Ingeniería e Investigación*, 37(3), 08-16. 2017.

DE MORAIS, Lilia Aparecida Salgado et al. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Hortic Bras**, v. 27, n. 2, p. S4050-4063, 2009.

Ekren, S.; Sönmez, C.; Özçakal, E.; Kurttas, Y.S.K.; Bayram, E.; Gürgülü, H. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agric. Water Manag.*109, 155–161. 2012.

FAQUIN, Valdemar. Nutrição mineral de plantas. **Lavras: UFLA/Faepe**, v. 183, 2005.

GOBBO-NETO, Leonardo; LOPES, Norberto P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química nova**, v. 30, p. 374-381, 2007.

GUISELINI, Cristiane; SENTELHAS, Paulo Cesar. Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido I: efeito na temperatura e na umidade do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 9-17, 2004.

KALANTARI, Fatemeh et al. A review of vertical farming technology: A guide for implementation of building integrated agriculture in cities. In: **Advanced engineering forum**. Trans Tech Publications Ltd, 2017. p. 76-91.

KALANTARI, Fatemeh et al. Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. **Journal of Landscape Ecology**, v. 11, n. 1, p. 35-60, 2018.

KARAMATOVA, Gullola; SAFAROV, Alisher; SAFAROV, Karimdjon. Growth, development, and yield of the usual basil (*ocimum basilicum* L.) under different cultivation conditions. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2021. p. 03009.

Khalid, K.A. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *Int. Agrophys.*20, 289–296. 2006.

LUZ, Jose Magno Q. et al. Produção de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. em diferentes épocas, sistemas de cultivo e adubações. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 13, n. 1, p. 69-80, 2014.

MAKRI, Olga; KINTZIOS, Spiridon. *Ocimum* sp.(basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. **Journal of herbs, spices & medicinal plants**, v. 13, n. 3, p. 123-150, 2008.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2000. 220 p.

MENEGAT, Nádia Regina Volpato et al. Efeito do sombreamento e da variação estacional sobre o crescimento e produção de óleo essencial em *Aloysia triphylla*. 2013.

Omidbaigi, R.; Hassani, A.; Sefidkon, F. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) at different irrigation regimes. *J. Essent. Oil-Bear Plants* 6, 104–108. 2003.

PAULUS, Dalva et al. Biomassa e composição do óleo essencial de manjeriço cultivado sob malhas fotoconversoras e colhido em diferentes épocas. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 46-53, 2016.

PEREIRA, R. D. C. A.; MOREIRA, A. L. M. Manjeriço: cultivo e utilização. 2011.

PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO JR, M. J.; ORTOLANI, A. A. Uso de estufa com cobertura plástica e de quebra-ventos na produção de porta-enxertos de seringueira. **Scientia agrícola**, v. 52, p. 439-443, 1995.

RESENDE, Renata Ferreira de et al. Produção de biomassa e óleo essencial de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) em diferentes épocas, ambientes de cultivo e tipos de adubação. 2010.

SENTELHAS, Paulo Cesar; SANTOS, Antonio Odair. Cultivo protegido: aspectos microclimáticos. **Ornamental Horticulture**, v. 1, n. 2, p. 108-115, 1995.

SIMON, James E. Sweet basil: a production guide. **HO-Purdue University, Cooperative Extension Service (USA)**, 1985.

SINGH, M. Effect of nitrogen and irrigation on the yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Spices Aromat. Crop.* 11, 151–154. 2003.

SKRUBIS, Byron; MARKAKIS, Pericles. The effect of photoperiodism on the growth and the essential oil of *Ocimum basilicum* (sweet basil). **Economic Botany**, v. 30, p. 389-393, 1976.

VALMORBIDA, J.; BOARO, C. S. F.; 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.