

JULIA LOPES GOVERNICI

**INFLUÊNCIA DA SALINIDADE E DO DÉFICIT HÍDRICO NO
DESENVOLVIMENTO E NO ÓLEO ESSENCIAL DE MANJERICÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Catariny Cabral Aleman Pina

Coorientador: Maira Christina Marques
Fonseca

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G721i
2022

Governici, Julia Lopes, 1994-
Influência da salinidade e do déficit hídrico no
desenvolvimento e no óleo essencial de manjeriço / Julia Lopes
Governici. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (95 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Catariny Cabral Aleman.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.514>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Ocimum basilicum*. 2. Plantas medicinais. 3. Linalol.
4. Estresse (Fisiologia). 5. Eficiência hídrica. I. Aleman,
Catariny Cabral, 1988-. II. Universidade Federal de Viçosa.

CDD 22. ed. 633.83

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523


JULIA LOPES GOVERNICI

**INFLUÊNCIA DA SALINIDADE E DO DÉFICIT HÍDRICO NO
DESENVOLVIMENTO E NO ÓLEO ESSENCIAL DE MANJERICÃO**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 23 de agosto de 2022.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **JULIA LOPES GOVERNICI**
Data: 10/11/2023 14:35:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Julia Lopes Governici
Autor

Documento assinado digitalmente
 **CATARINY CABRAL ALEMAN PINA**
Data: 22/08/2023 14:46:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Catariny Cabral Aleman
Orientador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mônica e Roberto, por todo apoio, incentivo e amor. Vocês me deram forças para continuar a trilhar este caminho.

Ao meu irmão, Vitor, pelas conversas e alegria que me ajudaram a superar os momentos mais difíceis.

Ao meu marido, Rodrigo, pelo amor, companheirismo e ajuda durante essa trajetória.

Às minhas orientadoras, Catariny e Maira, por toda orientação, suporte, ensinamento e amizade.

Aos amigos por tornarem esse doutorado mais leve e alegre.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

GOVERNICI, Julia Lopes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. **Influência da salinidade e do déficit hídrico no desenvolvimento e no óleo essencial de manjeriço.** Orientador: Catariny Cabral Aleman Pina. Coorientador: Maira Christina Marques Fonseca.

O déficit hídrico e a salinidade são fatores abióticos prejudiciais para a produção agrícola, reduzindo o crescimento e a produtividade das culturas. No entanto, para plantas medicinais, cujo interesse são produtos do metabolismo secundário, o déficit hídrico e a salinidade podem contribuir para o aumento na produção de metabólitos secundários e na melhoria de suas atividades biológicas. Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito da salinidade e do déficit hídrico sobre a produção e a qualidade fitoquímica do óleo essencial e o desenvolvimento de plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum*). Para isso foram realizados três experimentos distintos. No primeiro capítulo avaliou-se a influência de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação no desenvolvimento, na fisiologia e no rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço. O experimento foi conduzido em campo e foram analisados cinco níveis de salinidade obtidos através da adição de diferentes concentrações de cloreto de sódio na água de irrigação. Não foram observadas diferenças no crescimento e no acúmulo de biomassa entre os tratamentos salinos e o tratamento controle. Entretanto, a fotossíntese foi influenciada negativamente pela salinidade da água de irrigação. Com relação ao óleo essencial, não houve diferença no rendimento, porém a salinidade alterou sua composição química. No segundo capítulo, avaliou-se o efeito de seis níveis de salinidade da água de irrigação no desenvolvimento, nos nutrientes foliares e no rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço, bem como nas características químicas do solo. Esse experimento foi realizado em ambiente protegido e o manjeriço foi cultivado em vasos. A salinidade reduziu o crescimento e o acúmulo de biomassa nas plantas, entretanto estimulou a produção de óleo essencial e não afetou negativamente a absorção de nutrientes. Além disso, o aumento da salinidade da água de irrigação aumentou a concentração de linalol no óleo essencial. Em contrapartida, houve acúmulo de sódio no solo. No terceiro capítulo investigou-se a influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e o rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço. O experimento também foi conduzido em vasos em ambiente protegido e foram avaliadas quatro lâminas de irrigação. O déficit hídrico afetou negativamente o desenvolvimento e o acúmulo de biomassa do manjeriço, entretanto as plantas cultivadas nas menores lâminas foram mais eficientes no uso da água. Com a diminuição da lâmina de irrigação houve aumento no rendimento de óleo essencial e alterações na composição e na

concentração de seus constituintes. De modo geral, conclui-se que a salinidade e o déficit hídrico prejudicam o desenvolvimento do manjeriço, mas podem ser alternativa interessante para o incremento da produção de óleo essencial com maior concentração de linalol.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum*. Plantas medicinais. Linalol. Estresse. Eficiência no uso da água.

ABSTRACT

GOVERNICI, Julia Lopes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2022.
Influence of salinity and water deficit on the development and essential oil of basil.
Adviser: Catariny Cabral Aleman Pina. Co-adviser: Maira Christina Marques Fonseca.

Water deficit and salinity are harmful abiotic factors for agricultural production, reducing crop growth and productivity. However, for medicinal plants, whose interest are products of secondary metabolism, water deficit and salinity can contribute to the increase in the production of secondary metabolites and the improvement of their biological activities. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effect of salinity and water deficit on the production and phytochemical quality of essential oil and the development of basil plants (*Ocimum basilicum*). For this, three different experiments were carried out. In the first chapter, the influence of different salinity levels of irrigation water on the development, physiology and yield and chemical composition of essential oil of basil was evaluated. The experiment was carried out in the field and five salinity levels obtained by adding different concentrations of sodium chloride to the irrigation water were analyzed. There were no differences in growth and biomass accumulation between the saline treatments and the control treatment. However, photosynthesis was negatively influenced by the salinity of the irrigation water. Regarding the essential oil, there was no difference in yield, but salinity changed its chemical composition. In the second chapter, the effect of six salinity levels of irrigation water on the development, leaf nutrients and yield and chemical composition of basil essential oil was evaluated, as well as on the chemical characteristics of the soil. This experiment was carried out in a protected environment and the basil was grown in pots. The salinity reduced the growth and the accumulation of biomass in the plants, however it stimulated the production of essential oil and did not negatively affect the absorption of nutrients. In addition, increasing the salinity of irrigation water increased the concentration of linalool in the essential oil. On the other hand, there was accumulation of sodium in the soil. In the third chapter, the influence of water deficit on the development and yield and chemical composition of basil essential oil was investigated. The experiment was also conducted in pots in a protected environment and four irrigation depths were evaluated. The water deficit negatively affected the development and accumulation of basil biomass, however the plants grown in the lowest depths were more efficient in the use of water. With the decrease in the irrigation depth, there was an increase in the essential oil yield and changes

in the composition and concentration of its constituents. In general, it is concluded that salinity and water deficit affect the development of basil, but they can be an interesting alternative for increasing the production of essential oil with a higher concentration of linalool.

Keywords: *Ocimum basilicum*. Medicinal plants. Linalool. Stress. Water use efficiency.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 <i>Ocimum basilicum</i>	10
2.2 Irrigação com água salina	13
2.3 Déficit hídrico	15
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO 1 – ESTRESSE SALINO NO DESENVOLVIMENTO, NA FISIOLOGIA E NO ÓLEO ESSENCIAL DE MANJERICÃO	22
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS.....	40
CAPÍTULO 2 – EFEITO DO ESTRESSE SALINO NA CULTURA DO MANJERICÃO E NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	44
1 INTRODUÇÃO	44
2 MATERIAL E MÉTODOS	46
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS.....	65
CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DO DÉFICIT HÍDRICO NO DESENVOLVIMENTO, NO RENDIMENTO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Ocimum basilicum</i>	70
1 INTRODUÇÃO	70
2 MATERIAL E MÉTODOS	72
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS.....	91
3 CONCLUSÕES GERAIS	95

1 INTRODUÇÃO GERAL

O déficit hídrico e a salinidade estão entre os principais fatores abióticos que restringem o desenvolvimento da agricultura. Esses fatores causam danos semelhantes nas plantas, pois ambos provocam estresse osmótico. A baixa disponibilidade de água e o excesso de sais na zona radicular diminuem o potencial de água no solo, o que provoca desidratação celular e aumento na concentração de íons, podendo atingir níveis citotóxicos nas plantas (BHATLA; LAL, 2018; TAIZ et al., 2017). Além disso, ocorre diminuição da taxa fotossintética das culturas, o que prejudica o desenvolvimento e a produtividade (ASHRAF; HARRIS, 2013).

No entanto, quando se trata de plantas medicinais, o déficit hídrico e a salinidade podem ser aliados na produção de metabólitos secundários (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015; YADAV et al., 2021). Estudos demonstraram que o déficit hídrico e a salinidade podem aumentar a produção de óleo essencial, o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante de diversas espécies medicinais e aromáticas (BETTAIEB et al., 2011; HANCIOGLU et al., 2019; MORSHEDLOO et al., 2017).

Dentre essas espécies medicinais, destaca-se o manjeriço (*Ocimum basilicum*). Considerada planta medicinal e aromática de grande importância econômica no mundo (FAROUK; OMAR, 2020), o manjeriço é utilizado como condimento e na medicina tradicional para o tratamento de enfermidades (PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012; SHAHRAJABIAN; SUN; CHENG, 2020). Além disso, o manjeriço pode ser destinado para extração de óleo essencial, que possui alto valor de mercado e é valorizado pela indústria de cosméticos e perfumes, principalmente por conter linalol em sua composição (APROTOSOAIIE et al., 2014; KAMATOU; VILJOEN, 2008). No Brasil, é produzido principalmente para comercialização das folhas frescas, no entanto na região nordeste ocorre o cultivo para extração de óleo essencial (FAVORITO et al., 2011).

A produção de biomassa, o rendimento e a composição química do óleo essencial de manjeriço são influenciados por diversos fatores dentre eles o déficit hídrico (FAROUK; OMAR, 2020; LAZAREVIĆ et al., 2021; MULUGETA; RADÁCSI, 2022) e a salinidade da água de irrigação (ALVES et al., 2015; SOUSA et al., 2021). No entanto, os efeitos desses estresses abióticos no manjeriço ainda não foram completamente esclarecidos, principalmente no que se refere ao rendimento e a composição química do óleo essencial.

Assim, tendo em vista a necessidade de realizar pesquisas sobre a influência de fatores abióticos na produção de plantas com potencial terapêutico, objetivou-se avaliar

o efeito da salinidade e do déficit hídrico sobre rendimento e composição química do óleo essencial e o desenvolvimento de plantas de manjeriço.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

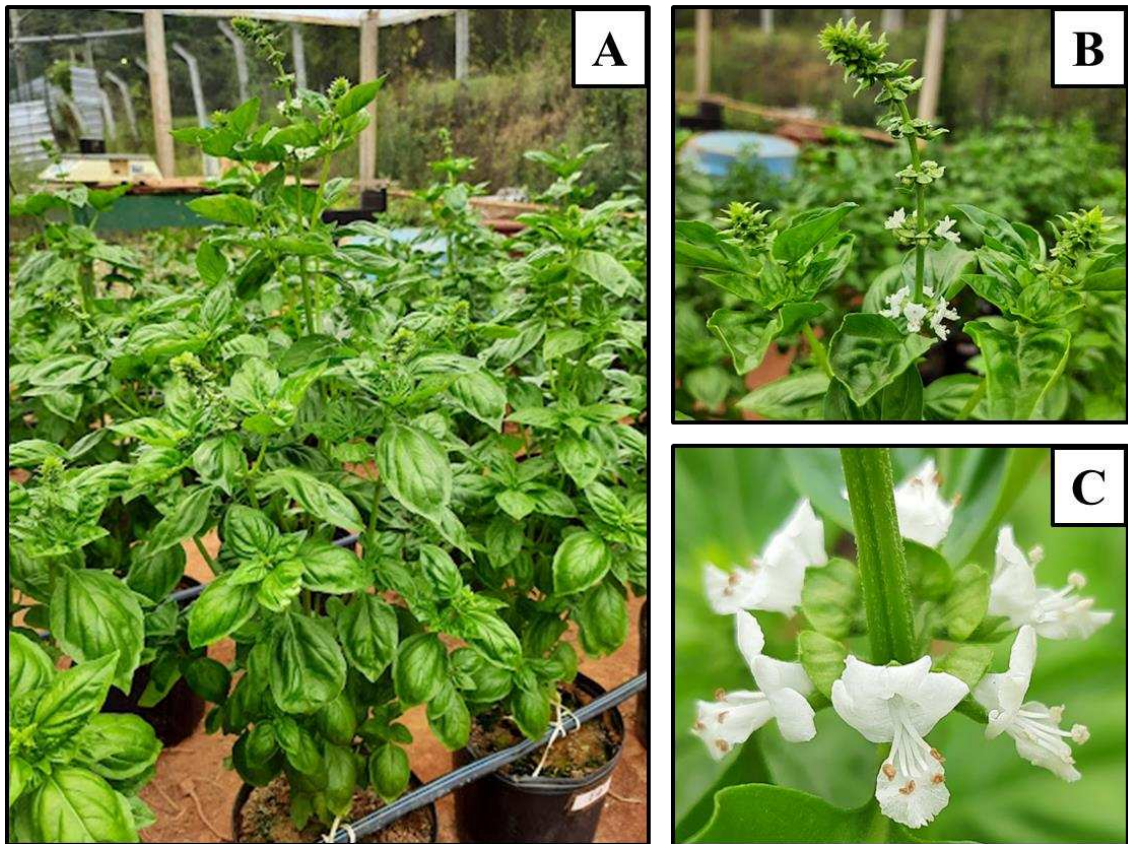
2.1 *Ocimum basilicum*

No Brasil, em 2006, foi aprovada a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos com o objetivo de ampliar as opções terapêuticas aos usuários, com garantia de acesso a plantas medicinais, fitoterápicos e serviços relacionados à fitoterapia, com segurança, eficácia e qualidade. Dessa forma, o uso de plantas medicinais para fins fitoterápicos tem promovido a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias e inovações nas diversas fases da cadeia produtiva (BRASIL, 2006).

Dentre as plantas medicinais destacam-se espécies do gênero *Ocimum*. Pertencente à família Lamiaceae, esse gênero é originário da Ásia e compreende mais de 150 espécies herbáceas e arbustivas que se desenvolvem nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e Américas Central e do Sul (MAKRI; KINTZIOS, 2008). A espécie *Ocimum basilicum*, popularmente conhecida como manjeriço, é considerada a planta aromática e medicinal mais importante economicamente no mundo (FAROUK; OMAR, 2020) e foi introduzida no Brasil pela colônia italiana (LORENZI; MATOS, 2008).

O manjeriço é um subarbusto aromático, anual, ereto, muito ramificado, que atinge de 30 a 90 cm de altura. Apresenta folhas simples de 4 a 7 cm de comprimento, ovaladas, lanceoladas, dentadas ou inteiras. As flores são brancas ou arroxeadas e ocorrem em inflorescências racemosas terminais longas, em racemos simples ou ramificados (Figura 1). Sua multiplicação pode ser realizada por sementes ou estacas (LORENZI; MATOS, 2008; PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012). As plantas de manjeriço se desenvolvem melhor em solos bem drenados, em dias longos e em pleno sol, o que tornam os climas tropicais e subtropicais ideais para cultivo (MAKRI; KINTZIOS, 2008; PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012).

Figura 1 – *Ocimum basilicum* ‘Gemini’. A – vista completa da planta; B – inflorescência; C – flores



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Ao longo dos anos, diferentes quimiocultivares foram selecionados ou criados a partir do cruzamento com outros cultivares dando origem a subespécies e variedades que se diferem quanto às suas características (PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012) e torna difícil a identificação botânica do manjericão (GRAYNER et al., 1996; MAKRI; KINTZIOS, 2008). O manjericão pode ser classificado em três quimiocultivares de acordo com os compostos majoritários do óleo essencial: “linalol”, “linalol e metilchavicol” e “linalol e eugenol” (MAROTTI; PICCAGLIA; GIOVANELLI, 1996).

O manjericão é amplamente utilizado fresco ou seco como condimento e na medicina popular para o tratamento de diversas enfermidades como tosse, dores de cabeça, infecções de pele e problemas respiratórios e reumáticos (MAY et al., 2021; PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012; SHAHRAJABIAN; SUN; CHENG, 2020). Existem cultivares com folhas arroxeadas usadas também para ornamentação (LORENZI; MATOS, 2008).

No Brasil, o manjericão é cultivado principalmente por pequenos produtores para comercialização das folhas frescas, entretanto em algumas regiões do nordeste do país o

cultivo é feito em larga escala visando a extração de óleo essencial (FAVORITO et al., 2011). Esse óleo essencial é armazenado e secretado por estruturas específicas chamadas de tricomas glandulares que estão localizadas na parte vegetativa e algumas partes reprodutivas das plantas (WERKER et al., 1993).

Em *O. basilicum* há dois tipos de tricomas glandulares, os capitados e os peltados. Os capitados possuem capacidade de armazenamento de óleo essencial baixa, quando há óleo armazenado. Os tricomas glandulares peltados são responsáveis pela produção e armazenamento do óleo essencial e possuem de quatro a oito células secretoras, cobertas por uma membrana sobreposta e um espaço subcuticular, o saco de óleo (GANG et al., 2001; WERKER et al., 1993).

Os óleos essenciais são óleos voláteis naturais provenientes do metabolismo secundário das plantas e que podem ser extraídos de diversas partes, por exemplo, folhas, sementes e flores. Esse metabólito secundário desempenha um papel importante na proteção das plantas contra micro-organismos patogênicos, insetos e também contra herbívoros. Além de serem responsáveis pela atração de polinizadores (BAKKALI et al., 2008; BHATLA; LAL, 2018; DJILANI; DICKO, 2012). A composição complexa dos óleos essenciais confere a eles o aroma característico e diversas atividades biológicas e propriedades medicinais de interesse, por isso são usados em diversas áreas (DJILANI; DICKO, 2012; LEITE, 2009).

No manjeriço, o óleo essencial está concentrado nas folhas e inflorescências e seu rendimento é abaixo de 1% (PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012). Apresenta alto valor de mercado e importância econômica, podendo ser comercializado por até U\$ 187,00 por quilo (ITC, 2016). Estudos prévios demonstraram que o óleo essencial de manjeriço apresenta diversas atividades biológicas e propriedades medicinais resultantes dos compostos voláteis presentes nesse óleo, tais como atividade inseticida (AL-HARBI et al., 2021), antibacteriana (VERRILLO et al., 2021), antifúngica (VIEIRA et al., 2014), anti-inflamatória (RODRIGUES et al., 2016), anticâncer (ABURJAI et al., 2020) e antioxidante (ELGNDI et al., 2017; KAVOOSI; AMIRGHOFRAN, 2017; KWEE; NIEMEYER, 2011). Devido ao aroma e potencial terapêutico, o óleo essencial de manjeriço pode ser empregado nas indústrias de alimentos, cosméticos e fármacos.

Verrillo et al. (2021) identificaram que os compostos majoritários do óleo essencial de manjeriço eram eugenol (42,4%), metil-eugenol (22,4%) e cariofileno (12,9%). No caso do estudo de Aburjai et al. (2020), o óleo essencial de *O. basilicum* 'Cinnamon' era composto principalmente por linalol (36,2%), eugenol (14,2%) e eucaliptol (11,3%). Em

contrapartida, o óleo essencial obtido por Rodrigues et al. (2016) continha 60,9% de estragol e 27,2% de linalol. Portanto, há grande variabilidade na composição dos óleos essenciais dessa espécie.

A produção de matéria fresca e o rendimento e a composição do óleo essencial do manjeriço é influenciada pela variedade cultivada (MAROTTI; PICCAGLIA; GIOVANELLI, 1996), origem geográfica (AHMED et al., 2019; TELCI et al., 2006), época de plantio e colheita (PINTO et al., 2019), manejo agrônômico (BURDUCEA et al., 2018; EKREN et al., 2012; FAROUK; OMAR, 2020; PUSHANGADAN; GEORGE, 2012) dentre outros fatores (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

2.2 Irrigação com água salina

De acordo com a FAO, para suprir a demanda adicional gerada pelo crescimento populacional e de renda até 2050, a produção agrícola deve aumentar 60%, considerando valores de 2005/2007 (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012). A água é recurso indispensável para o desenvolvimento da agricultura e o aumento global da demanda de alimentos aumenta a pressão sobre os recursos hídricos (MANCOSU et al., 2015).

Nas regiões semiáridas, onde a distribuição de chuvas é irregular, a irrigação garante a produção agrícola. No entanto, devido à escassez, recorre-se a águas de qualidade inferior (GHEYI et al., 2016). A qualidade da água de irrigação depende de diversos fatores, sendo os principais a salinidade, a proporção relativa de sódio em relação a outros cátions e a concentração de elementos tóxicos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; GHEYI et al., 2016). Na região nordeste do país, principalmente em épocas de estiagem, período em que o suprimento de água por meio da irrigação é essencial, a concentração de sais na água é mais elevada (SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999).

O uso de água com altas concentrações de sódio (Na) para irrigação pode desencadear a sodificação do solo. O excesso de Na prejudica a estabilidade de agregados, causando a dispersão da argila. Isso leva ao entupimento dos poros do solo e a redução da condutividade hidráulica (BRADY; WEIL, 2013). A diminuição da permeabilidade à água e ao ar prejudica o desenvolvimento das culturas e interfere nas comunidades microbianas (BECERRA-CASTRO et al., 2015; BRADY; WEIL, 2013).

A irrigação com água salina pode tornar os solos salinos. Essa salinização do solo interfere de duas formas no desenvolvimento das plantas, por estresse osmótico e acúmulo de íons tóxicos. O excesso de sais no solo diminui o potencial osmótico e a

disponibilidade de água para as plantas, causando déficit hídrico (TAIZ et al., 2017). Isso pode atrasar ou impedir a germinação de sementes e diminuir o crescimento das plantas, problemas já relatados para diversas culturas como milho, pimenta e orégano (HANCIOGLU et al., 2019; LI et al., 2019; SÁ et al., 2019). Os sais na solução do solo podem atingir níveis em que as plantas não conseguem diminuir o potencial osmótico dentro das células pela acumulação de solutos, o que impede a absorção de água mesmo com solo úmido (BRADY; WEIL, 2013; GHEYI et al., 2016). Dependendo do grau de salinidade pode ocorrer a plasmólise, redução do volume celular, devido ao movimento osmótico da água que passa das células para a solução mais concentrada (GHEYI et al., 2016).

A salinidade da água de irrigação pode ocasionar um desequilíbrio nutricional e alterar as interações iônicas no tecido vegetal (GHEYI et al., 2016). O acúmulo de íons tóxicos interfere na absorção de nutrientes e provoca citotoxicidade (TAIZ et al., 2017). Em concentrações elevadas, o Na^+ no apoplasto compete por sítios no transporte de proteínas que são necessárias para a absorção de K^+ , o que diminui sua absorção (TAIZ et al., 2017).

As plantas podem apresentar três diferentes mecanismos de tolerância à salinidade. A tolerância ao estresse osmótico ocorre pela diminuição da expansão celular e fechamento estomático. O segundo mecanismo é a exclusão dos íons Na das folhas pelas raízes, evitando o acúmulo em níveis tóxicos. E por último, o desenvolvimento de tolerância do tecido vegetal ao acúmulo de Na^+ e Cl^- . Através da compartimentalização desses íons, as plantas evitam acúmulo prejudicial, principalmente nas folhas (MUNNS; TESTER, 2008).

Plantas medicinais são muito influenciadas por fatores ambientais. A salinidade da água de irrigação pode afetar os metabólitos secundários dessas plantas e alterar sua atividade biológica e potencial terapêutico. Em estudo com orégano, Hancioglu et al. (2019) concluíram que o aumento da salinidade da água de irrigação diminuiu a biomassa e o rendimento de óleo essencial dessa cultura. No entanto, houve aumento no conteúdo de flavonoides, compostos fenólicos e na atividade antioxidante.

Para o manjeriço, os efeitos e a tolerância das plantas à salinidade ainda não são um consenso. Bressan et al. (2020), avaliando a influência da qualidade da água em plantas de manjeriço, observaram que a irrigação com água salina nas concentrações de 15 e 30 mM de NaCl reduziram o potencial de água nas folhas, no entanto isso não afetou a altura, o diâmetro de caule, o número de folhas e a área foliar das plantas. Em

contrapartida, Maia et al. (2017) observaram redução nessas características para as duas cultivares estudadas ('Verde' e 'Roxo') ao elevar a salinidade da água usada para irrigação.

Além disso, os estudos que abordam o efeito da salinidade no óleo essencial das plantas de manjeriço são escassos. No entanto, por ser proveniente do metabolismo secundário das plantas, que é afetado por diversos fatores abióticos (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; ROCKENBACH et al., 2018), o rendimento e a composição do óleo essencial podem ser influenciados pela salinidade da água de irrigação. De acordo com Bernstein, Kravchik e Dudai (2010), o rendimento de óleo essencial de manjeriço aumentou linearmente com o aumento do nível de salinidade na ordem de 5,1% por mM NaCl, no entanto sua composição química não foi analisada.

2.3 Déficit hídrico

Atualmente entre 1,8 e 2,9 bilhões de pessoas enfrentam escassez severa de água durante 4 a 6 meses do ano (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2016). O problema de escassez hídrica está relacionado com o aumento da demanda de água doce e diminuição de sua disponibilidade e qualidade, ocasionada pelo aumento populacional e aumento na demanda de alimentos, crescimento econômico, falta de gestão sustentável dos recursos, mudanças climáticas, entre outros (ERCIN; HOEKSTRA, 2014).

A disponibilidade de água para a agricultura é essencial para garantir a produtividade e rentabilidade das culturas (MANCOSU et al., 2015). O estresse hídrico, um estresse abiótico, é considerado um dos mais prejudiciais para a produção agrícola (YADAV et al., 2021). Esse estresse ocorre quando o suprimento de água para as plantas está abaixo do necessário ou quando a taxa transpiratória está elevada. O déficit hídrico provoca alterações físicas e metabólicas e a severidade depende do momento de ocorrência e da intensidade do estresse (ANJUM et al., 2017).

O déficit hídrico afeta praticamente todos os processos nas plantas, pois a água está envolvida em todas as estruturas e processos celulares, sendo necessária para a fotossíntese, absorção e transporte de nutrientes, manutenção da turgidez celular e controle da temperatura foliar (ANJUM et al., 2017; TAIZ et al., 2017). A perda de turgor celular causada pela baixa disponibilidade de água afeta a expansão celular. Com a diminuição da expansão celular o crescimento das plantas é prejudicado (BHATLA; LAL, 2018).

Dentre os fenômenos dependentes da água, a fotossíntese é um dos mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (ASHRAF; HARRIS, 2013). Em condições de estresse hídrico, a taxa fotossintética diminui devido às limitações estomáticas e não estomáticas (ASHRAF; HARRIS, 2013). Durante o estresse hídrico, para minimizar as perdas de água por transpiração, as plantas fecham seus estômatos (BHATLA; LAL, 2018; TAIZ et al., 2017). O fechamento estomático ocorre devido a perda de turgor celular e acúmulo de ácido abscísico (ABA) (ASHRAF; HARRIS, 2013; TAIZ et al., 2017). Como consequência, há diminuição da condutância estomática e da taxa fotossintética. A redução na taxa fotossintética diminui a produção de fotoassimilados e o acúmulo de biomassa nas plantas.

Além disso, a diminuição na absorção de CO₂ reduz o consumo de NADP+H⁺ para fixação de CO₂ via ciclo de Calvin, o que gera excedente de energia (GARCÍA-CAPARRÓS et al., 2019; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015). O excesso de energia pode induzir a produção de espécies reativas de oxigênio que podem danificar as células das plantas (BHATLA; LAL, 2018; YADAV et al., 2021). Assim, o estresse hídrico é prejudicial para o desenvolvimento e produtividade das culturas.

No entanto, quando se trata de plantas medicinais e aromáticas, em que os produtos naturais de interesse são provenientes do metabolismo secundário, como o óleo essencial, a visão a respeito do déficit hídrico é diferente (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015). Metabólitos secundários aumentam a tolerância das plantas ao estresse hídrico (YADAV et al., 2021). O aumento na produção desses metabólitos é uma forma de usar a energia excedente devido ao fechamento estomático e promover a desintoxicação das espécies reativas de oxigênio (GARCÍA-CAPARRÓS et al., 2019; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015; LORETO et al., 2013; YADAV et al., 2021). Portanto, o déficit hídrico pode estimular a produção de metabólitos secundários e melhorar suas atividades biológicas.

Em estudo com lavanda e sálvia, Chrysargyris et al. (2016) observaram que o déficit hídrico não alterou o rendimento de óleo essencial de lavanda, mas influenciou em sua composição aumentando o conteúdo de 1,8-cineol. Para sálvia houve aumento no rendimento de óleo essencial e no conteúdo de cânfora quando as plantas foram irrigadas com lâminas correspondentes a 25% e 50% da capacidade de campo. Com relação à atividade contra *Tetranychus urticae*, os autores observaram que o óleo essencial de lavanda cultivada sob déficit hídrico apresentou maior porcentagem de mortalidade, sugerindo aumento da toxicidade desse óleo essencial contra a espécie estudada.

Para *Origanum vulgare* subsp. *gracile* também foi observado incremento no rendimento de óleo essencial quando as plantas foram mantidas à 60% e 40% da capacidade de campo. O déficit hídrico alterou a composição química do óleo essencial, aumentando o conteúdo de carvacrol e diminuindo p-cimeno (MORSHEDELOO et al., 2017).

O déficit hídrico moderado (50% da capacidade de campo) aumentou o rendimento de óleo essencial, o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante do extrato da espécie *Cuminum cyminum*. Em contrapartida, manter o solo a 25% da capacidade de campo reduziu todos esses parâmetros (BETTAIEB et al., 2011).

No caso de espécies do gênero *Ocimum*, Mulugeta e Radácsi (2022) observaram que a atividade antioxidante do extrato aquoso era maior quando as plantas eram cultivadas em solo mantido a 70% da capacidade de campo. Ao manter o solo a 50% e 30% da capacidade de campo, a atividade antioxidante reduzia.

REFERÊNCIAS

- ABURJAI, T. A. et al. Chemical compositions and anticancer potential of essential oil from greenhouse-cultivated *Ocimum basilicum* leaves. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 82, n. 1, p. 179–184, 2020.
- AHMED, A. F. et al. Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 3, p. 299–305, 2019.
- AL-HARBI, N. A. et al. Evaluation of insecticidal effects of plants essential oils extracted from basil, black seeds and lavender against *Sitophilus oryzae*. **Plants**, v. 10, p. 1–24, 2021.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper No. 12-03. Roma: FAO, 2012.
- ALVES, L. S. et al. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 807–813, 2015.
- ANJUM, S. A. et al. Growth and development responses of crop plants under drought stress: a review. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 104, n. 3, p. 267–276, 2017.
- APROTOSOAIE, A. C. et al. Linalool: A review on a key odorant molecule with valuable biological properties. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 29, n. 4, p. 193–219, 2014.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163–190, 2013.

BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008.

BRASIL. **Política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 60 p.

BECERRA-CASTRO, C. et al. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v. 75, p. 117–135, 2015.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 2, p. 167–177, 2010.

BETTAIEB, I. et al. Water-deficit impact on fatty acid and essential oil composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) aerial parts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 328–334, 2011.

BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapura: Springer, 2018.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRESSAN, D. F. et al. Impacts on growth, water relations and nutritional composition of basil plants submitted to irrigation with saline and wastewater. **SN Applied Sciences**, v. 2, p. 1–11, 2020.

BURDUCEA, M. et al. Fertilization modifies the essential oil and physiology of basil varieties. **Industrial Crops and Products**, v. 121, p. 282–293, 2018.

CHRYSARGYRIS, A. et al. Effects of water stress on lavender and sage biomass production, essential oil composition and biocidal properties against *Tetranychus urticae* (Koch). **Scientia Horticulturae**, v. 213, p. 96–103, 2016.

DJILANI, A.; DICKO, A. The therapeutic benefits of essential oils. In: BOUAYED, J.; BOHN, T. (Eds.). **Nutrition, well-being and health**. Rijeka: InTech, 2012. p. 155–178.

EKREN, S. et al. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agricultural Water Management**, v. 109, p. 155–161, 2012.

ELGNDI, M. A. et al. Antioxidative and cytotoxic activity of essential oils and extracts of *Satureja montana* L., *Coriandrum sativum* L. and *Ocimum basilicum* L. obtained by supercritical fluid extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 128, p. 128–137, 2017.

ERCIN, A. E.; HOEKSTRA, A. Y. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. **Environment International**, v. 64, p. 71–82, mar. 2014.

FAROUK, S.; OMAR, M. M. Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 3, p. 1307–1331, 2020.

FAVORITO, P. A. et al. Características produtivas do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do espaçamento entre plantas e entre linhas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, p. 582–586, 2011.

GANG, D. R. et al. An investigation of the storage and biosynthesis of phenylpropenes in sweet basil. **Plant Physiology**, v. 125, n. 2, p. 539–555, 2001.

GARCÍA-CAPARRÓS, P. et al. Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. **Water**, v. 11, n. 3, p. 1–12, 2019.

GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

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

GRAYNER, R. J. et al. Intraspecific taxonomy and essential oil chemotypes in sweet basil, *Ocimum basilicum*. **Phytochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1033–1039, 1996.

HANCIOGLU, N. E. et al. Irrigation water salinity effects on oregano (*Origanum onites* L.) water use, yield and quality parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 327–334, 2019.

ITC. **Essential Oils and Oleoresins**. Disponível em: <https://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/Market_Data_and_Information/Market_information/Market_Insider/Essential_Oils/Monthly_Report_essentialOctober_2016.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2021.

KAMATOU, G. P. P.; VILJOEN, A. M. Linalol: a review of a biologically active compound of commercial importance. **Natural Product Communications**, v. 3, n. 7, p. 1183–1192, 2008.

KAVOOSI, G.; AMIRGHOFAN, Z. Chemical composition, radical scavenging and anti-oxidant capacity of *Ocimum basilicum* essential oil. **Journal of Essential Oil Research**, v. 29, n. 2, p. 189–199, 2017.

KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. New insights explain that drought stress enhances the quality of spice and medicinal plants: potential applications. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 121–131, 2015.

KWEE, E. M.; NIEMEYER, E. D. Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. **Food Chemistry**, v. 128, p. 1044–1050, 2011.

LAZAREVIĆ, B. et al. Application of phenotyping methods in detection of drought and salinity stress in basil (*Ocimum basilicum* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. February, p. 1–13, 2021.

LEITE, J. P. V. **Fitoterapia: bases científicas e tecnológicas**. São Paulo: Editora Atheneu, 2009.

LI, J. et al. Effects of irrigation water salinity on maize (*Zea mays* L.) emergence, growth, yield, quality, and soil salt. **Water**, v. 11, n. 10, p. 1–21, 2019.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2008.

LORETO, F. et al. Volatile isoprenoids and their importance for protection against environmental constraints in the Mediterranean area. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 99–106, 2013.

MAIA, S. S. S. et al. Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 44–49, 2017.

MAKRI, O.; KINTZIOS, S. *Ocimum* sp. (basil): botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v. 13, n. 3, p. 123–150, 2008.

MANCOSU, N. et al. Water scarcity and future challenges for food production. **Water**, v. 7, n. 3, p. 975–992, 2015.

MAROTTI, M.; PICCAGLIA, R.; GIOVANELLI, E. Differences in essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) Italian cultivars related to morphological characteristics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 12, p. 3926–3929, 1996.

MAY, A. et al. **Manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/40.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2021.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, p. 1–7, 2016.

MORSHEDLOO, M. R. et al. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 111, p. 119–128, 2017.

MULUGETA, S. M.; RADÁCSI, P. Influence of drought stress on growth and essential oil yield of *Ocimum* species. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 1–12, 2022.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

PINTO, J. A. O. et al. Chemical characterization of the essential oil from leaves of basil genotypes cultivated in different seasons. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 18, n. 1, p. 58–70, 2019.

PUSHPANGADAN, P.; GEORGE, V. Basil. In: PETER, K. V. (Ed.). **Handbook of Herbs and Spices**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. p. 55–72.

ROCKENBACH, A. P. et al. Interferência entre plantas daninhas e a cultura: alterações no metabolismo secundário. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 59–70, 2018.

RODRIGUES, L. B. et al. Anti-inflammatory and antiedematogenic activity of the *Ocimum basilicum* essential oil and its main compound estragole: in vivo mouse models. **Chemico-Biological Interactions**, v. 257, p. 14–25, 2016.

SÁ, F. V. S. et al. Initial development and tolerance of pepper species to salinity stress. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 826–833, 2019.

SHAHRAJABIAN, M. H.; SUN, W.; CHENG, Q. 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 JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 11–17, 1999.

SOUSA, L. V. et al. Salinity stress and plant growth regulator in basil: effects on plant and soil. **Dyna**, v. 88, p. 75–83, 2021.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TELCI, I. et al. Variability in essential oil composition of Turkish basils (*Ocimum basilicum* L.). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 34, n. 6, p. 489–497, 2006.

VERRILLO, M. et al. Humic substances from green compost increase bioactivity and antibacterial properties of essential oils in Basil leaves. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, n. 28, p. 1–14, 2021.

VIEIRA, P. R. N. et al. Chemical composition and antifungal activity of essential oils from *Ocimum* species. **Industrial Crops and Products**, v. 55, p. 267–271, 2014.

WERKER, E. et al. Glandular hairs and essential oil in developing leaves of *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). **Annals of Botany**, v. 71, p. 43–50, 1993.

YADAV, B. et al. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. **Gene Reports**, v. 23, p. 101040, 2021.

CAPÍTULO 1 – ESTRESSE SALINO NO DESENVOLVIMENTO, NA FISIOLOGIA E NO ÓLEO ESSENCIAL DE MANJERICÃO

Resumo: Objetivou-se avaliar a influência da salinidade da água de irrigação no desenvolvimento, na fisiologia, no rendimento e na composição química do óleo essencial de manjericão. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. Foram avaliados 5 níveis de salinidade da água de irrigação obtidos através da adição de 0, 20, 35, 50 e 65 mM de NaCl. A irrigação com as soluções salinas foi realizada por meio de sistema de irrigação por gotejamento e o manejo de irrigação foi baseado na umidade do solo. As características avaliadas foram: altura, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), massa de matéria fresca e seca da parte aérea, fisiologia, área foliar, número de folhas, área foliar específica, rendimento e composição química do óleo essencial. Os dados foram analisados por ajustes de equações de regressão e pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade. Apenas a fisiologia e a composição química do óleo essencial foram influenciadas pela salinidade da água de irrigação. O aumento da concentração de NaCl na água de irrigação diminuiu a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração das plantas de manjericão. A salinidade alterou a composição química do óleo essencial, sendo que os compostos majoritários foram linalol e eugenol para concentrações de NaCl até 35 mM e trans- α -bergamoteno e τ -cadinol para as concentrações de 50 e 65 mM.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum*. Irrigação. Trocas gasosas. Linalol.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que em mais de 400 milhões de hectares no mundo os solos apresentam problemas de salinidade (FAO, 2022). No Brasil, a predominância de solos salinos ocorre na região semiárida do Nordeste. Nessa região, principalmente em épocas de estiagem, a salinidade de águas destinadas para irrigação é mais elevada e contribui para o acúmulo de sais no solo (SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999). Nesse sentido, o uso de águas com concentrações de sais mais elevadas é a alternativa encontrada para superar a escassez hídrica e garantir a produção agrícola (GHEYI et al., 2016; LACERDA et al., 2021). No entanto, o uso de águas salinas para a irrigação combinado com o manejo inadequado tem aumentado a área de solos degradados por sais.

A salinidade é um dos principais fatores que influenciam a produtividade das culturas. O estresse salino interfere no crescimento e desenvolvimento das plantas devido ao estresse osmótico, desbalanço nutricional e acúmulo de íons tóxicos (BRADY; WEIL, 2013; GHEYI et al., 2016; TAIZ et al., 2017). O acúmulo de sódio no solo pode causar a desestruturação do solo e afetar de forma indireta o desenvolvimento das culturas, uma vez que diminui a permeabilidade à água e ao ar (BRADY; WEIL, 2013).

A utilização e cultivo de plantas medicinais têm sido o foco de diversos estudos devido à sua aplicabilidade nas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêutica. Dentre estas, destaca-se a espécie *Ocimum basilicum* cultivada em larga escala no nordeste brasileiro (FAVORITO et al., 2011). Conhecida popularmente como manjeriço, apresenta grande importância econômica (FAROUK; OMAR, 2020) principalmente para a extração de óleo essencial.

Plantas medicinais e aromáticas são influenciadas por diversos fatores abióticos, incluindo a salinidade. Estudos relatam que a salinidade diminui a produção de biomassa de manjeriço (BERNSTEIN; KRAVCHIK; DUDAI, 2010; MAIA et al., 2017) e altera os nutrientes e polifenóis contidos nas folhas (SCAGEL; LEE; MITCHELL, 2019). Com relação ao óleo essencial, Bernstein, Kravchik e Dudai (2010) observaram aumento no rendimento enquanto Alves et al. (2015) observaram diminuição. Os efeitos da irrigação com água salina sobre a composição química do óleo essencial ainda não foram completamente esclarecidos.

Farsaraei, Moghaddam e Pirbalouti (2020) observaram que o aumento da salinidade da água de irrigação diminuiu a concentração de linalol no óleo essencial de *Ocimum basilicum* cv. Keshkeni luvellu. O estudo dessas alterações químicas é importante, pois são esses compostos que conferem aos óleos essenciais as atividades biológicas e propriedades medicinais. Portanto, é necessário elucidar os efeitos da salinidade em plantas de manjeriço, sobretudo a respeito da composição química do óleo essencial extraído de suas folhas e inflorescências.

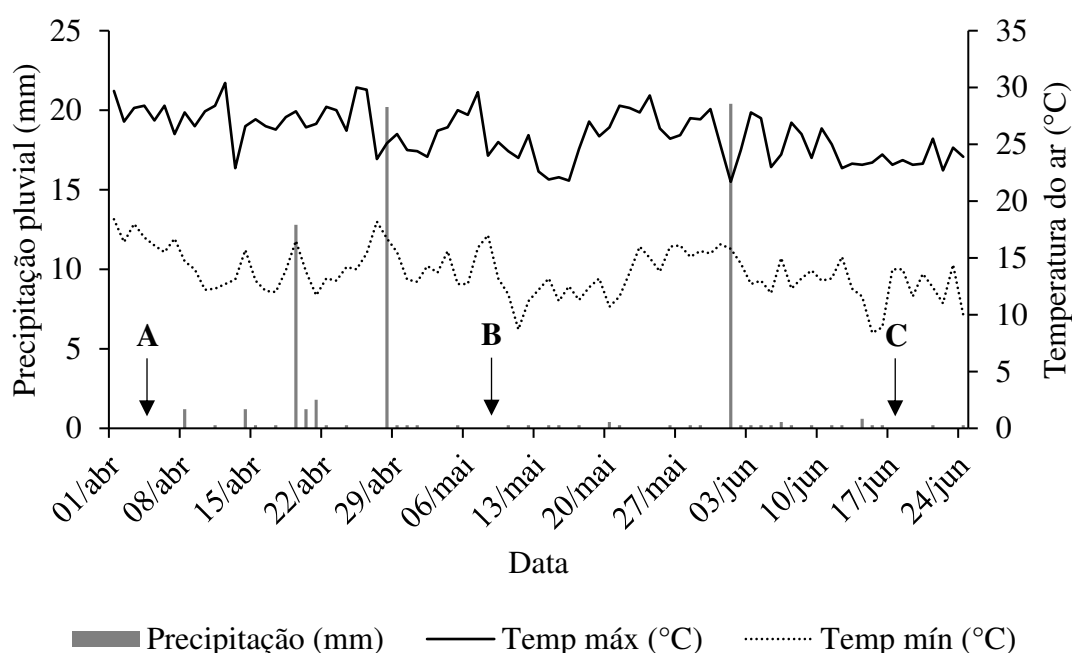
Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação no desenvolvimento, na fisiologia, no rendimento e na composição química do óleo essencial de manjeriço.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa – MG, situada

nas coordenadas 20°45' S e 42°51' O a 679 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa - clima subtropical com verão quente e inverno seco (MARTINS et al., 2018). As variáveis climatológicas foram monitoradas pela estação meteorológica de Viçosa (A510), localizada a 980 m da área experimental, através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1).

Figura 1 – Temperatura máxima e mínima e precipitação pluviométrica registradas durante o período experimental. A - transplântio das mudas de manjeriço para o campo; B - início da aplicação das soluções salinas; C - colheita



Fonte: elaborado pela autora a partir de dados do INMET (2021)

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (FEAM, 2010). Para a caracterização físico-química do solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise físico-química do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

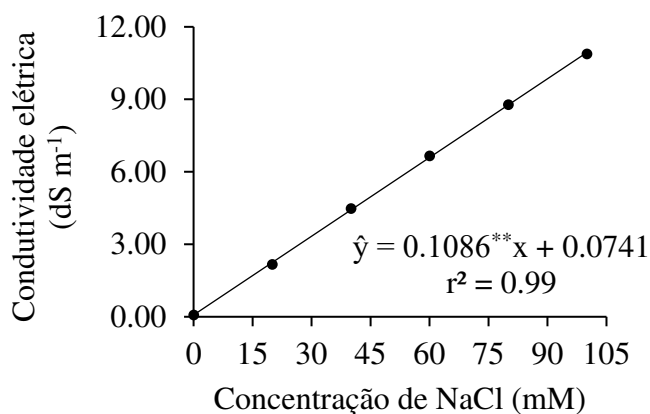
Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
Areia (%)	41,40	42,40
Silte (%)	13,10	12,10
Argila (%)	45,50	45,50
Classificação textural ¹	Argilosa	Argilosa
pH (H ₂ O)	6,44	5,66
P (mg dm ⁻³)	25,00	16,20
K (mg dm ⁻³)	332,00	114,00

Na (mg dm ⁻³)	0	0
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,81	2,38
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,85	0,67
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0	0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,40	2,60
SB (cmol _c dm ⁻³)	4,51	3,34
T (cmol _c dm ⁻³)	6,91	3,34
V (%)	65,30	56,2
m (%)	0	0
ISNa (%)	0	0
MO (dag kg ⁻¹)	2,00	1,46
P-Rem (mg L ⁻¹)	33,10	25,90
S (mg dm ⁻³)	7,80	20,10
B (mg dm ⁻³)	0,53	0,48
Cu (mg dm ⁻³)	5,99	5,77
Mn (mg dm ⁻³)	89,60	59,40
Fe (mg dm ⁻³)	89,40	107,60
Zn (mg dm ⁻³)	11,23	8,29

¹ - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. pH em água, KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu: Extrator Mehlich -1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0; SB - Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação por bases; m - Índice de saturação por alumínio; ISNa - Índice de saturação por sódio; MO - Matéria orgânica; P-Rem - Fósforo remanescente; S - Extrator: fosfato monocálcico em ácido acético; B - Extrator água quente.

Foram avaliados 5 níveis de salinidade da água de irrigação obtidos pela adição de 0 (controle), 20, 35, 50 e 65 mM de NaCl, correspondendo às condutividades elétricas de 0,07, 2,25, 3,88, 5,50 e 7,13 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 2). Os tratamentos foram distribuídos no delineamento de blocos casualizados (DBC) com 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

Figura 2 – Condutividade elétrica da água de irrigação a 25,5°C em função da concentração de NaCl



** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A semeadura foi realizada em 05 de março de 2021 em bandejas de poliestireno com 128 células preenchidas com substrato MecPlant. Foram utilizadas sementes de *Ocimum basilicum* ‘Gemini’ (ISLA) com 100% de pureza e 98% de germinação. A emergência ocorreu 4 dias após a semeadura (DAS) e o desbaste foi realizado aos 18 DAS. O transplântio das mudas para os canteiros ocorreu aos 30 DAS e o espaçamento adotado foi de 0,30 m entre linhas e 0,30 m entre plantas. A área foi dividida em 5 canteiros, um para cada tratamento. Cada canteiro possuía 10 m² e era composto por 3 linhas de cultivo com 32 plantas cada, totalizando 96 plantas. Para garantir o pegamento das mudas, o solo foi mantido na capacidade de campo até o início da aplicação das soluções salinas.

A adubação dos canteiros foi realizada com 6 L m⁻² de esterco bovino curtido. O controle de insetos e plantas daninhas foi realizado semanalmente. Para o controle de insetos foi pulverizado bioinseticida azadiractina (Cursor, concentração 1,2%, Biocarb Indústria Química LTDA) na diluição de 10 mL L⁻¹, conforme recomendação do fabricante. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual. Também foi utilizada isca granulada metaldeído para o controle de lesmas seguindo a recomendação do fabricante (Lesmicida 5%, Kelldrin).

O início da aplicação das soluções salinas ocorreu aos 33 dias após o transplântio (DAT). As soluções foram preparadas a cada irrigação. A irrigação do experimento foi realizada por gotejamento. Foram utilizadas fitas gotejadoras Irritec com gotejadores espaçados em 0,30 m. Cada canteiro possuía um sistema de irrigação individual composto por 3 linhas espaçadas em 0,30 m (Figura 3). Para avaliação do sistema de irrigação foi coletada a vazão de 12 gotejadores em cada sistema de irrigação. Os gotejadores selecionados para a coleta estavam localizados no início, a 1/3, a 2/3 e no final de cada linha. A vazão para o sistema do tratamento controle foi de 1,94 L h⁻¹ e a uniformidade de distribuição foi de 96,65%. Para o sistema dos tratamentos salinos a vazão e a uniformidade de distribuição foram 1,62 L h⁻¹ e 96,61%, respectivamente.

Figura 3 – Sistema de irrigação por gotejamento em cultivo de manjerição na área experimental de irrigação e drenagem da UFV



Fonte: elaborado pela autora (2022).

O manejo da irrigação foi baseado na umidade do solo. Para monitorar a umidade do solo foram instalados tensiômetros a 15 cm de profundidade no centro de cada unidade experimental (Figura 4). As leituras foram realizadas a cada dois dias por meio de tensímetro digital. As irrigações eram realizadas quando a tensão do solo atingia 20 kPa, indicando que o solo estava abaixo da capacidade de campo.

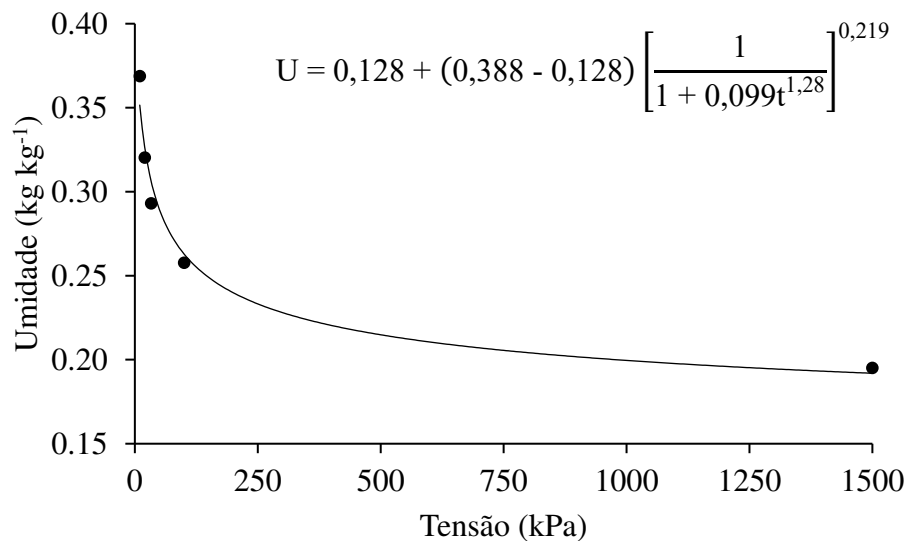
Figura 4 – Tensiômetros instalados nas unidades experimentais para monitoramento da tensão de água no solo



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Os dados de tensão foram convertidos para umidade do solo por meio da equação da curva de retenção de água no solo (Figura 5). A determinação da curva de retenção foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa a partir de amostras indeformadas coletadas na profundidade de 0-20 cm. A curva foi ajustada utilizando o software SWRC Fit (SEKI, 2007). A umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente foram de 35,15% (10 kPa) e 19,19% (1500 kPa), respectivamente.

Figura 5 – Curva de retenção de água no solo



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Para determinar a lâmina líquida, a lâmina bruta e o tempo de irrigação necessários para elevar a umidade do solo à capacidade de campo utilizou-se as equações abaixo:

$$LL = \frac{(U_{cc} - U_a)}{10} \times D \times Z \quad (1)$$

$$LB = \frac{LL}{E_i} \quad (2)$$

$$T_i = \frac{LB}{I_a} \quad (3)$$

em que: LL – lâmina líquida (mm); U_{cc} – umidade do solo na capacidade de campo (%); U_a – umidade do solo atual (%); D – densidade do solo (g cm^{-3}); Z – profundidade efetiva do sistema radicular (cm); LB – lâmina bruta (mm); E_i – eficiência do sistema de irrigação pelo teste de campo (decimal); T_i – tempo de irrigação (h); I_a – intensidade de aplicação (mm h^{-1}).

Para as avaliações do manjeriço considerou-se como parcela útil apenas a fileira central das unidades experimentais. As avaliações de altura e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram realizadas semanalmente. Para a determinação da altura foram avaliadas todas as plantas da fileira central dos canteiros e utilizou-se fita métrica. Para leitura do NDVI foi utilizado o GreenSeeker Handheld Crop Sensor a uma altura de 0,6 m da copa das plantas. Foram realizadas duas leituras de NDVI por unidade experimental.

Os parâmetros fisiológicos foram analisados aos 75 DAT. As avaliações foram realizadas com o auxílio de um analisador de gases por infravermelho (IRGA) modelo LC Pro+ com intensidade luminosa ajustada para 1.000 $\mu\text{mols m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As características analisadas foram taxa fotossintética (A), condutância estomática (gS), taxa transpiratória (E), concentração interna de carbono (C_i) e temperatura (T). Foi calculada a eficiência do uso da água (EUA), a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) por meio das equações descritas abaixo (OLIVEIRA et al., 2017):

$$\text{EUA} = \frac{A}{E} \quad (4)$$

$$\text{EIUA} = \frac{A}{gS} \quad (5)$$

$$\text{EiC} = \frac{A}{C_i} \quad (6)$$

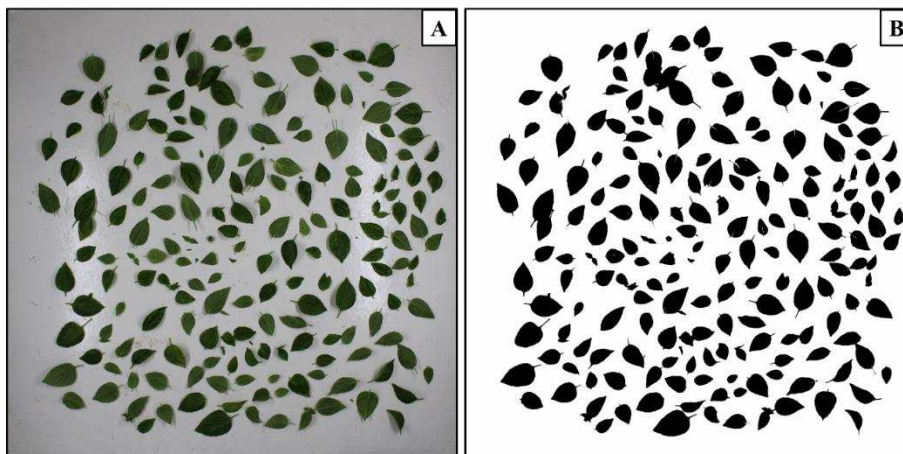
A colheita do manjeriço ocorreu aos 78 DAT, quando as plantas se encontravam em plena floração. Duas plantas de cada unidade experimental foram destinadas para as avaliações de massa da matéria fresca e seca, da área foliar e do número de folhas. As folhas e inflorescências das demais plantas da fileira central do canteiro foram submetidas à secagem em secador de leito fixo à 50°C e velocidade de 1 m s^{-1} até atingirem 10% de teor de água para posterior extração de óleo essencial.

A massa de matéria fresca de caule e de folhas foi determinada com auxílio de balança analítica digital com resolução de 0,01g. Para determinação da massa de matéria seca, o caule e as folhas foram submetidos à secagem a 65°C em estufa de circulação forçada de ar até atingirem massa constante.

A determinação da área foliar foi realizada pela análise de fotografias das folhas de manjeriço (Figura 6) usando o pacote LeafArea versão 0.1.8 (KATABUCHI, 2015) no

software R (R CORE TEAM, 2021). Para captura das imagens foi utilizado um estúdio fotográfico conforme descrito por Machado Junior et al. (2020).

Figura 6 – Imagem original (A) e após o processamento (B) para determinação da área foliar do manjeriço



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Também foi determinada a área foliar específica por meio da equação 7:

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (7)$$

em que: AFE – área foliar específica ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$); AF – área foliar ($\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$); e MSF – massa seca de folhas (g planta^{-1}).

A extração de óleo essencial foi realizada no Laboratório de Plantas Medicinais da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) por hidrodestilação em aparelho Clevenger adaptado a um balão de fundo redondo com capacidade de 2 L (Figura 7). Em cada extração adicionou-se ao balão 100 g de folhas e inflorescências secas de manjeriço e 1 L de água destilada. Cada extração foi realizada por 90 min, contados a partir da ebulição da água.

Figura 7 – Extração de óleo essencial de manjeriço pelo método da hidrodestilação



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Para determinar a composição do óleo essencial de manjeriço utilizou-se cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (GC-MS) modelo QP-PLUS-2010 (Shimadzu). Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida Rtx-5MS (30 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno) com hélio como gás de arraste. As temperaturas utilizadas no injetor e no detector foram 220°C e 300°C, respectivamente. A temperatura foi programada de 60 a 240°C, com acréscimos a uma taxa de 3°C por minuto. Uma quantidade de 10 mg de cada amostra foi diluída em 1 mL de etanol (grau HPLC), sendo injetado 1 µL da mistura (PEREIRA et al., 2021; PINHEIRO et al., 2015). Para determinação dos índices de retenção linear (IRL), uma mistura de alcanos lineares (C₉ a C₂₆) foi injetada no cromatógrafo nas mesmas condições usadas nas análises do óleo essencial. Os constituintes do óleo foram identificados pela comparação dos espectros de massas obtidos com os existentes no banco de dados do equipamento (NIST08) e pela comparação dos valores de IRL relatados na literatura (ADAMS, 2017).

Os dados foram analisados por ajustes de equações de regressão e pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos parâmetros pelo teste t e no coeficiente de determinação (R²). O coeficiente de determinação foi obtido por meio da equação 8:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (8)$$

em que: SQR – soma de quadrados do resíduo; SQT – soma de quadrados do tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O consumo hídrico da cultura não foi afetado pela salinidade da água de irrigação. A lâmina média aplicada nos tratamentos foi de 105,12 mm e o consumo hídrico total foi de 150,52 mm. Esse resultado diverge da literatura em que foi observado redução no consumo de água para plantas medicinais irrigadas com água salina (HANCIOGLU et al., 2019; KURUNC et al., 2020). Essa divergência com outros estudos pode ser resultado das baixas temperaturas registradas durante o período experimental e da classe textural do solo. Solos de textura argilosa apresentam maior capacidade de retenção de água e o clima ameno diminui a evapotranspiração, o que contribui para a manutenção de água no solo (ALLEN et al., 1998; BRADY; WEIL, 2013). Além disso, temperaturas baixas prejudicam o desenvolvimento do manjeriço (BARICKMAN et al., 2021; WALTERS; CURREY, 2019). Esses fatores combinados podem ter impedido a observação dos efeitos da salinidade no consumo hídrico pela cultura.

A altura, a massa de matéria fresca de caule, a massa de matéria fresca total, a massa de matéria seca total, o NDVI e a área foliar apresentaram comportamento quadrático (Tabela 2). Os pontos de máximo variaram de 28,45 a 35,94 mM. O modelo raiz quadrada apresentou melhor ajuste para as variáveis massa de matéria seca de caule, massa de matéria seca de folhas e número de folhas. A massa de matéria fresca de folha e a área foliar específica não foram influenciadas pela salinidade da água de irrigação.

Tabela 2 – Equações ajustadas de altura (A), massa fresca de caule (MFC), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca total (MFT), massa seca de caule (MFC), massa seca de folhas (MFF), massa seca total (MFT), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), área foliar (AF), número de folhas (NF) e área foliar específica (AFE) em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (x) e seus respectivos coeficientes de determinação

Variáveis	Equação	R ²
A (cm)	$\hat{y} = 44,1962 + 0,1222^{**} x - 0,0017^{**} x^2$	0,9978
MFC (g)	$\hat{y} = 41,7526 + 0,6715^{\circ} x - 0,0118^{\circ} x^2$	0,7542
MFF (g)	$\hat{y} = 56,5187$	—
MFT (g)	$\hat{y} = 93,9318 + 1,2371^{\circ} x - 0,0207^{\circ} x^2$	0,6627
MSC (g)	$\hat{y} = 4,4616 + 0,9397^{*} \sqrt{x} - 0,1225^{*} x$	0,8633
MSF (g)	$\hat{y} = 7,4847 + 0,8194^{\circ} \sqrt{x} - 0,1099^{\circ} x$	0,7177
MST (g)	$\hat{y} = 12,2614 + 0,1634x - 0,0028^{\circ} x^2$	0,6888
NDVI	$\hat{y} = 0,7289 + 0,0035^{*} x - 0,5302E-4^{*} x^2$	0,8030
AF (m ²)	$\hat{y} = 0,1556 + 0,0016x - 0,28E-4^{\circ} x^2$	0,6929

NF	$\hat{y} = 228,743 + 17,3053^* \sqrt{x} - 2,5384^* x$	0,9579
AFE (m ² g ⁻¹)	$\hat{y} = 0,0207$	—

^o significativo pelo teste t à 10% de probabilidade, ^{*} significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ^{**} significativo pelo teste t à 1% de probabilidade.

Não foi observada diferença na altura, na biomassa, no NDVI, na área foliar, no número de folhas e na área foliar específica entre o tratamento controle e os tratamentos salinos (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios de altura (A), massa fresca de caule (MFC), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca total (MFT), massa seca de caule (MSC), massa seca de folhas (MSF), massa seca total (MST), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), área foliar (AF), número de folhas (NF) e área foliar específica (AFE) para as diferentes concentrações de NaCl na água de irrigação

Variáveis	Concentração de NaCl (mM)				
	0	20	35	50	65
A (cm)	44,17	45,98	46,35	45,89	44,82
MFC (g)	41,26	50,22	54,96	40,10	37,50
MFF (g)	51,46	60,24	65,33	51,81	53,76
MFT (g)	92,72	110,46	120,29	91,91	91,27
MSC (g)	4,47	6,04	6,21	4,52	4,22
MSF (g)	7,48	8,83	9,05	7,03	7,25
MST (g)	11,95	14,86	15,26	11,55	11,48
NDVI	0,73	0,78	0,77	0,79	0,73
AF (m ²)	0,15	0,18	0,19	0,15	0,15
NF	228,67	254,67	246,67	217,83	206,00
AFE (m ² g ⁻¹)	0,0205	0,0204	0,0205	0,0214	0,0205

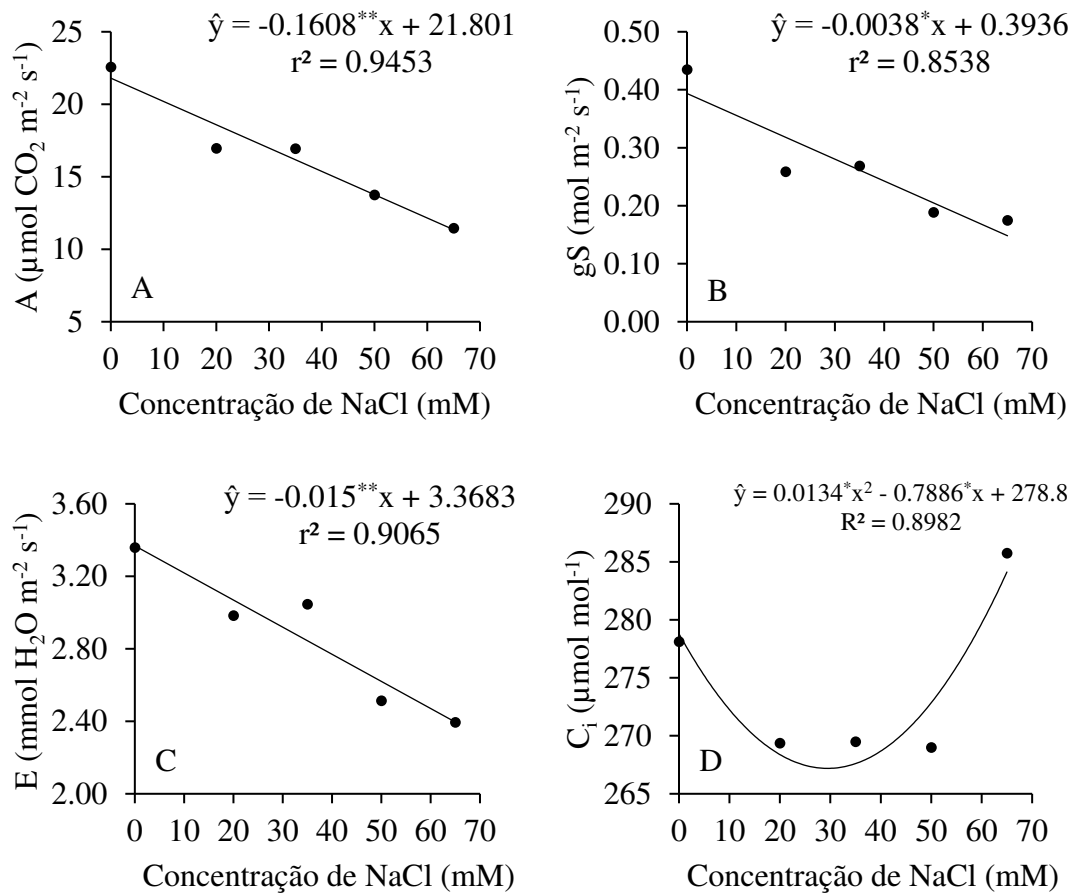
Médias seguidas por * na linha diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

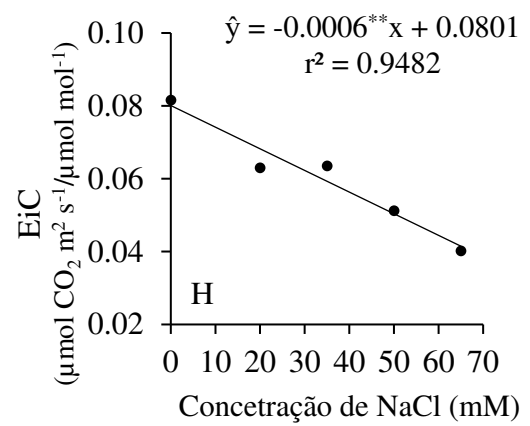
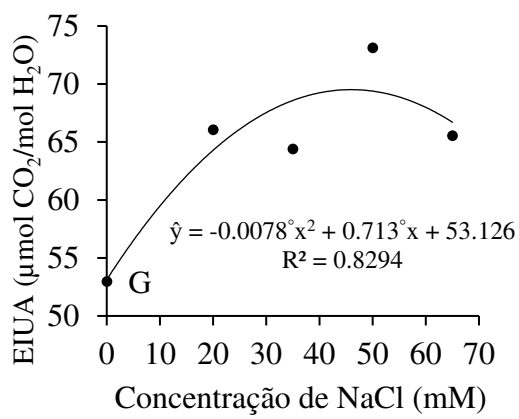
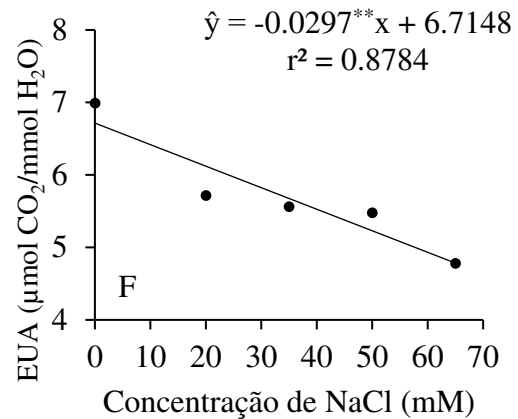
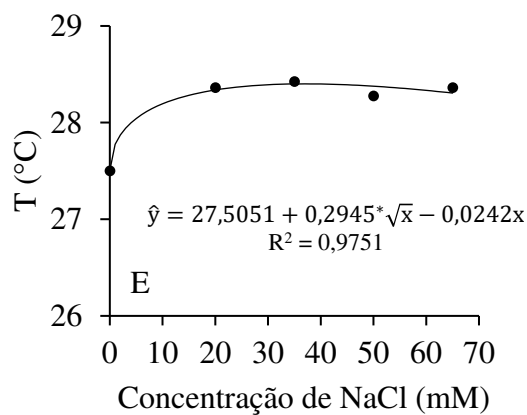
Ao contrário de outros estudos com espécies medicinais (BISTGANI et al., 2019; HANCIOGLU et al., 2019; KURUNC et al., 2020; MAIA et al., 2017), não se observou diferenças no desenvolvimento das plantas em função da salinidade da água de irrigação. Um dos motivos que pode ter influenciado o desenvolvimento da cultura foi a época de cultivo. O manjeriço foi cultivado em campo no outono, entre abril e junho de 2021, e a temperatura média do período experimental foi de 18,4°C. Essa cultura é suscetível ao frio e baixas temperaturas inibem seu crescimento (BARICKMAN et al., 2021; WALTERS; CURREY, 2019). Quando mantido a 20°C durante o dia e a 12°C durante a noite, a cultura do manjeriço apresenta produção de massa fresca 71% menor que quando mantida a 30 e 22°C durante o dia e a noite, respectivamente (BARICKMAN et al., 2021).

Sendo assim, a temperatura durante o período experimental (Figura 1) pode ter impedido o pleno desenvolvimento da cultura.

Apesar de a salinidade não ter afetado as variáveis morfológicas, foi possível identificar influências sobre a fisiologia das plantas de manjerição (Figura 8). A taxa fotossintética, a condutância estomática, a transpiração, a eficiência no uso da água e a eficiência intrínseca de carboxilação apresentaram comportamento linear decrescente e reduziram em torno de 48%, 63%, 29%, 29% e 49%, respectivamente, com o aumento da concentração de NaCl de 0 para 65 mM. Portanto, o parâmetro mais sensível foi a condutância estomática.

Figura 8 – Equações ajustadas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (B), transpiração (C), concentração interna de carbono (D), temperatura (E), eficiência do uso da água (F), eficiência intrínseca do uso da água (G), eficiência instantânea de carboxilação (H) para as diferentes concentrações de NaCl na água de irrigação





° significativo pelo teste t à 10% de probabilidade, * significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A concentração interna de carbono e a eficiência intrínseca do uso da água apresentaram comportamento quadrático com ponto de mínimo e máximo em 29,42 e 45,70 mM, respectivamente. No ponto de mínimo a C_i média é de $267,2 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e no ponto de máximo a EIUA é de $69,42 \mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$. Ao elevar a concentração de NaCl na água de irrigação de 0 para 65 mM, a temperatura foliar aumentou aproximadamente 3%.

Pelo teste de Dunnett, não houve diferença entre o tratamento controle e os tratamentos salinos para a concentração interna de carbono (Tabela 4). Os demais parâmetros fisiológicos foram diferentes nos tratamentos salinos a partir da concentração de 20 mM de NaCl. A temperatura foliar e a eficiência intrínseca do uso da água foram maiores nos tratamentos salinos. A taxa fotossintética, a condutância estomática, a transpiração, a eficiência do uso da água e a eficiência de carboxilação foram maiores no tratamento controle, sem adição de NaCl à água de irrigação.

Tabela 4 – Valores médios de taxa fotossintética (A), condutância estomática (gS), transpiração (E), concentração interna de carbono (C_i), temperatura (T), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), eficiência de carboxilação (EiC) para as diferentes concentrações de NaCl na água de irrigação

NaCl	A	gS	E	C _i	T	EUA	EIUA	EiC
0	22,57	0,43	3,35	278,13	27,50	6,99	52,96	0,08
20	16,96*	0,25*	2,98*	269,38	28,36*	5,71*	66,05*	0,06*
35	16,94*	0,26*	3,04*	269,50	28,42*	5,56*	64,39*	0,06*
50	13,74*	0,18*	2,51*	269,00	28,27*	5,47*	73,11*	0,05*
65	11,45*	0,17*	2,39*	285,75	28,36*	4,77*	65,54*	0,04*

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

O aumento da salinidade da água de irrigação diminuiu o processo fotossintético do manjeriço. O mesmo comportamento foi observado por outros autores para manjeriço, tomilho e hortelã-verde (ATTIA et al., 2011; BISTGANI et al., 2019; CHRYSARGYRIS et al., 2019; TARHOUNE et al., 2012; ZRIG et al., 2020). O excesso de sais em torno das raízes provoca efeitos semelhantes ao do déficit hídrico, devido à redução do potencial osmótico de água no solo. A diminuição do potencial de água no solo dificulta a absorção de água pelas raízes das plantas (BRADY; WEIL, 2013; GHEYI et al., 2016; TAIZ et al., 2017). Nessas condições, para evitar a desidratação, as plantas diminuem a abertura estomática e, conseqüentemente, a transpiração (MUNNS; TESTER, 2008; TAIZ et al., 2017).

A diminuição da fenda estomática reduz a condutância estomática e a absorção de CO₂, com isso há redução na taxa fotossintética e na transpiração. A fotossíntese exerce papel importante no desenvolvimento da planta, portanto sua redução acarreta menor acúmulo de matéria seca (BISTGANI et al., 2019; ZRIG et al., 2020). A transpiração é o processo responsável pelo controle da temperatura foliar (TAIZ et al., 2017). Devido ao fechamento estomático houve redução na condutância estomática e na transpiração, o que desencadeou aumento na temperatura foliar.

A redução da taxa fotossintética e a maior temperatura foliar aumentam a formação de espécies reativas de oxigênio, o que pode causar danos celulares e, conseqüentemente, morte celular em caso de longa exposição ao estresse (MUNNS; TESTER, 2008; OGBE; FINNIE; VAN STADEN, 2020).

Apesar da redução na taxa fotossintética, não foi observada diferença na concentração interna de carbono. Para a concentração de 50 mM de NaCl, Tarhoune et al. (2012) e Chrysargyris et al. (2019) também não observaram alteração na C_i em plantas

de manjeriço e menta, respectivamente. De acordo com Tarchoune et al. (2012), isso pode indicar que a atividade no mesofilo celular está alterada.

Essa alteração é comprovada pela redução na eficiência instantânea de carboxilação. A diminuição na EiC pode indicar que o CO₂ não está sendo fixado por alguma restrição metabólica, provavelmente devido a redução da atividade da Rubisco ocasionada pelo acúmulo de Na⁺ nas folhas (SILVA et al., 2011).

O aumento da salinidade da água de irrigação diminuiu a taxa fotossintética e a transpiração das plantas de manjeriço. Contudo, como a redução da taxa fotossintética foi superior à redução observada para a transpiração, houve decréscimo na EUA. Em contrapartida, como a redução da condutância estomática foi maior que a observada para a taxa fotossintética, houve aumento na EIUA.

Como foram observadas alterações nas trocas gasosas das plantas de manjeriço submetidas a irrigação com água salina, em condições ótimas de temperatura, poderiam ser observadas diferenças no desenvolvimento das plantas devido ao aumento da concentração de NaCl.

Ao aumentar a salinidade da água de irrigação o rendimento de óleo essencial permaneceu constante e apresentou média de 0,07%. Pelo teste de Dunnett, também não foi observada diferença no rendimento de óleo essencial entre o tratamento controle e os tratamentos salinos (Tabela 5). Esse resultado corrobora com o estudo de Alves et al. (2015), em que não houve diferença no teor de óleo essencial de manjeriço irrigado com água salina com concentrações de NaCl variando de 0 a 45 mM.

Tabela 5 – Valores médios do rendimento de óleo essencial para as diferentes concentrações de NaCl na água de irrigação

	Concentração de NaCl (mM)				
	0	20	35	50	65
Rendimento de óleo essencial (%)	0,10	0,06	0,10	0,04	0,05

Médias seguidas por * na linha diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

No entanto, a irrigação com água salina alterou a composição química do óleo essencial de manjeriço (Tabela 6). O óleo essencial mais complexo foi observado para a concentração de 35 mM, apresentando 34 constituintes químicos. Já no tratamento de 65 mM foi observada uma composição mais simples com 22 compostos. Os compostos majoritários até 35 mM de NaCl foram linalol e eugenol (monoterpenos). Nas concentrações de 50 e 65 mM, o trans- α -bergamoteno e o τ -cadinol (sesquiterpenos)

aparecem em maiores proporções. A redução no conteúdo de linalol do óleo essencial de manjeriço também foi observada por Farsaraei, Moghaddam e Pirbalouti (2020) ao aumentar a salinidade da água de irrigação.

Tabela 6 – Composição química (%) do óleo essencial de manjeriço 'Gemini' irrigado com água em diferentes níveis de salinidade

Constituintes químicos	IRL	Concentração de NaCl (mM)				
		0	20	35	50	65
1,8-Cineol	1026	3,02	1,27	3,15	1,01	0,41
trans- β -Ocimeno	1044	0,04	—	0,07	—	—
γ -Terpineno	1054	0,04	—	0,05	—	—
cis-Sabineno hidrato	1065	0,38	0,11	0,25	—	—
Linalol	1095	28,90	21,95	29,97	12,44	9,00
1-Octen-3-il acetato	1110	—	—	0,03	—	—
Terpinen-4-ol	1174	2,74	1,84	2,62	0,57	0,58
α -Terpineol	1186	1,16	1,01	0,97	0,34	0,35
Octanol acetato	1211	0,13	0,03	0,10	—	—
Linalol acetato	1254	—	—	0,02	—	—
Eugenol	1356	16,77	32,24	16,30	14,25	11,33
α -Copaeno	1374	0,20	0,18	0,34	0,39	0,34
trans- β -Damascenone	1383	—	—	0,03	0,04	—
β -Cubebeno	1387	0,23	0,11	0,25	0,27	—
Metil eugenol	1403	0,03	—	—	—	—
cis- α -Bergamoteno	1411	0,13	0,06	0,12	0,15	—
trans- β -Cariofileno	1417	0,15	0,02	0,12	0,05	—
trans- α -Bergamoteno	1432	12,54	12,33	13,04	20,66	24,98
Aromadendreno	1439	0,24	0,14	0,23	0,23	0,28
α -Humuleno	1452	0,44	0,26	0,43	0,46	0,50
trans- β -Farneseno	1454	0,92	0,78	1,01	1,43	1,38
cis-Muurolo-4(14),5-dieno	1465	1,01	0,62	1,00	1,17	1,31
Germacreno D	1480	4,37	3,88	4,96	7,14	7,73
Biciclogermacreno	1496	1,09	0,85	1,28	1,83	1,78
α -Bulneseno	1509	—	—	0,10	—	—
β -Bisaboleno	1505	0,25	0,14	0,21	0,12	0,25
γ -Cadineno	1513	5,23	4,56	4,98	8,04	8,79
α -Cadineno	1537	—	—	0,06	—	—
trans-Nerolidol	1561	0,13	—	0,09	0,10	—
Espatulenol	1577	0,42	0,17	0,28	0,27	0,16
Cubenol	1618	2,43	1,75	2,18	3,20	2,89
τ -Cadinol	1638	12,42	12,13	11,40	19,58	21,66
β -Eudesmol	1649	0,33	0,39	0,31	0,50	0,41
α -Cadinol	1652	0,56	0,50	0,44	0,94	0,82
α -Bisabolol	1685	0,51	0,24	0,27	0,37	0,42
Monoterpenos		53,21	58,45	53,56	28,65	21,67
Sesquiterpenos		43,60	39,11	43,10	66,90	73,70
Total identificado		96,81	97,56	96,66	95,55	95,37

IRL – índice de retenção linear.

No tratamento controle e nas concentrações de 20 e 35 mM de NaCl, mais de 50% dos constituintes químicos do óleo essencial são monoterpenos. Ao aumentar a concentração de NaCl na água de irrigação para 50 e 65 mM predominaram sesquiterpenos.

Os terpenos são sintetizados principalmente por duas vias metabólicas: rota do ácido mevalônico (MVA) e via do metileritritol fosfato (MEP). Essas vias dão origem aos principais precursores dos terpenos, o dimetilalil difosfato (DMAPP) e o isopentenil difosfato (IPP). IPP e DMAPP são combinados para formar geranyl difosfato (GPP), precursor da maioria dos monoterpenos. E o GPP se combina com mais uma molécula de IPP para formação de farnesil difosfato (FPP), precursor dos sesquiterpenos (BHATLA; LAL, 2018). Então, pode ser que a salinidade tenha favorecido a formação de farnesil difosfato para a biossíntese de sesquiterpenos. Yu et al. (2015) também observaram aumento no grupo dos sesquiterpenos ao avaliarem o óleo essencial de *Mentha canadensis* sob estresse salino. Os autores atribuíram essas alterações à redução de Mg^{2+} . Esse decréscimo influencia na atividade do GPP, que necessita de Mg^{2+} nas próximas reações.

Em estudo com *Hyssopus officinalis*, Hamida et al. (2019) observaram que a salinidade causou decréscimo de monoterpenos e aumento no grupo dos sesquiterpenos no óleo essencial dessa espécie. Consequentemente, a atividade antiparasitária também foi afetada, sendo que a concentração de 50 mM apresentou maior inibição no crescimento dos parasitas estudados que o tratamento controle (0 mM).

Os constituintes do óleo essencial estão diretamente relacionados com suas atividades biológicas. De modo geral, compostos que apresentam grupos funcionais em sua estrutura apresentam maior atividade que os hidrocarbonetos. Segundo Kalemba e Kunicka (2003) e Rice e Coats (1994) o nível de atividade dos compostos segue a seguinte ordem: fenóis, aldeídos, cetonas, álcoois, éteres e hidrocarbonetos. Portanto, a diminuição de compostos com maior nível de atividade, como linalol (álcool) e eugenol (fenol), pode resultar em alterações nas propriedades terapêuticas do óleo essencial de manjeriço.

Além disso, o linalol apresenta potencial terapêutico devido às múltiplas atividades biológicas e baixa toxicidade (APROTOSOAIE et al., 2014). Esse constituinte está presente em cerca de 60-90% dos produtos cosméticos e seu consumo mundial por ano ultrapassa 1.000 toneladas (APROTOSOAIE et al., 2014; KAMATOU; VILJOEN, 2008). Dada a sua valorização no mercado, especialmente na indústria de cosméticos, a

diminuição de linalol no óleo essencial de manjeriço não é interessante para sua comercialização visando esta finalidade.

4 CONCLUSÕES

A salinidade não alterou as características morfológicas e o rendimento de óleo essencial do manjeriço cultivado no período do outono na região de Viçosa – MG.

A fisiologia do manjeriço foi afetada negativamente pela salinidade da água de irrigação.

A composição química do óleo essencial foi influenciada pela concentração de NaCl na água de irrigação. Até 35 mM os compostos majoritários foram linalol e eugenol e de 50 a 65 mM predominaram trans- α -bergamoteno e τ -cadinol.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4.1 ed. [s.l.] Allured Publishing Corporation, 2017.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998.
- ALVES, L. S. et al. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 807–813, 2015.
- AMBIENTE, F. E. DO M. **Mapa de solos**. Disponível em: <<http://www.feam.br/-qualidade-do-solo-e-areas-contaminadas/mapa-de-solos>>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- APROTOSOAIE, A. C. et al. Linalool: A review on a key odorant molecule with valuable biological properties. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 29, n. 4, p. 193–219, 2014.
- ATTIA, H. et al. Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 3, p. 823–833, 2011.
- BARICKMAN, T. C. et al. Interactive impacts of temperature and elevated CO₂ on basil (*Ocimum basilicum* L.) root and shoot morphology and growth. **Horticulturae**, v. 7, p. 1–16, 2021.
- BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 2, p. 167–177, 2010.
- BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapura: Springer, 2018.

BISTGANI, Z. E. et al. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. **Industrial Crops and Products**, v. 135, n. May, p. 311–320, 2019.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CHRYSARGYRIS, A. et al. Physiological and biochemical attributes of *Mentha spicata* when subjected to saline conditions and cation foliar application. **Journal of Plant Physiology**, v. 232, n. September 2018, p. 27–38, 2019.

FAO. **Global map of salt-affected soils (GSASmap)**. Disponível em: <<https://www.fao.org/global-soil-partnership/gsasmap/en>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

FAROUK, S.; OMAR, M. M. Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 3, p. 1307–1331, 2020.

FARSARAEI, S.; MOGHADDAM, M.; PIRBALOUTI, A. G. Changes in growth and essential oil composition of sweet basil in response of salinity stress and superabsorbents application. **Scientia Horticulturae**, v. 271, p. 109465, 2020.

FAVORITO, P. A. et al. Características produtivas do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do espaçamento entre plantas e entre linhas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, p. 582–586, 2011.

GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

HAMIDA, N. B. et al. Effect of salinity on the antiparasitic activity of hyssop essential oil. **Journal of Essential Oil Research**, v. 32, n. 1, 2019.

HANCIOGLU, N. E. et al. Irrigation water salinity effects on oregano (*Origanum onites* L.) water use, yield and quality parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 327–334, 2019.

INMET. **Banco de dados meteorológicos do INMET**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

KALEMBA, D.; KUNICKA, A. Antibacterial and antifungal properties of essential oil components. **Journal of Essential Oil Research**, v. 10, p. 813–829, 2003.

KAMATOU, G. P. P.; VILJOEN, A. M. Linalol: a review of a biologically active compound of commercial importance. **Natural Product Communications**, v. 3, n. 7, p. 1183–1192, 2008.

KATABUCHI, M. LeafArea: an R package for rapid digital image analysis of leaf area. **Ecological Research**, v. 30, n. 6, p. 1073–1077, 2015.

KURUNC, A. et al. Effects of salt source and irrigation water salinity on growth, yield and quality parameters of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Scientia Horticulturae**, v. 270, 2020.

LACERDA, C. F. et al. Estresse salino em plantas e formas de mitigação. In: CERQUEIRA, P. R. S. et al. (Eds.). **Agricultura irrigada em ambientes salinos**. Brasília: Codevasf, 2021. p. 212–237.

MACHADO JUNIOR, R. et al. Digital phenotyping of winter squash fruits. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, n. 3, p. 1–12, 2020.

MAIA, S. S. S. et al. Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 44–49, 2017.

MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 129–156, 2018.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

OGBE, A. A.; FINNIE, J. F.; VAN STADEN, J. The role of endophytes in secondary metabolites accumulation in medicinal plants under abiotic stress. **South African Journal of Botany**, v. 134, p. 126–134, 2020.

OLIVEIRA, W. J. et al. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 32–37, 2017.

PEREIRA, U. A. et al. Analysis of essential oil from brazilian *Mentha x piperita* L. commercial samples. **Revista Virtual de Química**, p. 1–6, 2021.

PINHEIRO, P. F. et al. Phytotoxicity and cytotoxicity of essential oil from leaves of *Plectranthus amboinicus*, carvacrol, and thymol in plant bioassays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 8981–8990, 2015.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. ViennaR Foundation for Statistical Computing, 2021.

RICE, P. J.; COATS, J. R. Insecticidal properties of several monoterpenoids to the house fly (Diptera: Muscidae), red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae), and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 87, n. 5, p. 1172–1179, 1994.

SCAGEL, C. F.; LEE, J.; MITCHELL, J. N. Salinity from NaCl changes the nutrient and polyphenolic composition of basil leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 127, n. October 2018, p. 119–128, 2019.

SEKI, K. SWRC fit – a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 4, p. 407–437, 2007.

SILVA, E. N. et al. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 1, p. 62–68, 2011.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de

águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 11–17, 1999.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TARCHOUNE, I. et al. Effects of NaCl or Na₂SO₄ salinity on plant growth, ion content and photosynthetic activity in *Ocimum basilicum* L. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 2, p. 607–615, 2012.

WALTERS, K. J.; CURREY, C. J. Growth and development of basil species in response to temperature. **HortScience**, v. 54, n. 11, p. 1915–1920, 2019.

YU, X. et al. The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 579–583, 2015.

ZRIG, A. et al. Influence of light intensity and salinity on growth and antioxidant machinery of *Thymus vulgaris* L. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 58, n. May, p. 323–335, 2020.

CAPÍTULO 2 – EFEITO DO ESTRESSE SALINO NA CULTURA DO MANJERICÃO E NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação no rendimento, na composição química do óleo essencial, no desenvolvimento de plantas de manjericão e nas características químicas do solo. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa. Foi adotado delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 6 tratamentos, correspondendo a 6 níveis de salinidade da água de irrigação, e 10 repetições. As soluções salinas foram preparadas adicionando-se NaCl à água de irrigação nas concentrações 0 (controle), 5, 20, 35, 50 e 65 mM. O manjericão foi cultivado em vasos e o manejo da irrigação foi realizado por meio de pesagens. As variáveis analisadas foram altura, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), diâmetro de caule, massa de matéria fresca e seca da parte aérea, massa de matéria seca de raiz, eficiência no uso da água, área foliar, número de folhas, área foliar específica, nutrientes foliares, rendimento e composição química do óleo essencial e características químicas do solo. A salinidade diminuiu o acúmulo de biomassa nas plantas, no entanto o manjericão é tolerante à salinidade até a concentração de 25 mM. O aumento da concentração de NaCl induziu a produção de óleo essencial. Os constituintes majoritários do óleo essencial foram trans- α -bergamoteno e τ -cadinol até a concentração de 20 mM de NaCl. Para as concentrações de 35 a 65 mM o composto majoritário foi o linalol.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum*. Óleo essencial. Sódio. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Tolerância à salinidade.

1 INTRODUÇÃO

O manjericão (*Ocimum basilicum* L.) é uma espécie medicinal e aromática de grande importância econômica no mundo (FAROUK; OMAR, 2020). Essa espécie foi introduzida no Brasil pelos imigrantes italianos (LORENZI; MATOS, 2008) e atualmente é cultivada principalmente por pequenos produtores para comercialização da biomassa. Além de ser utilizado fresco e seco como condimento, também é valorizado devido ao potencial terapêutico do óleo essencial extraído de suas folhas e inflorescências (MAY et al., 2021; PUSHPANGADAN; GEORGE, 2012; SHAHRAJABIAN; SUN; CHENG,

2020). O nordeste do país é a maior região produtora de manjeriço destinado para a extração de óleo essencial no Brasil (FAVORITO et al., 2011).

A produção de biomassa, o rendimento e a composição química do óleo essencial, e as propriedades biológicas de plantas medicinais são influenciados por diversos fatores bióticos e abióticos (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Destacando-se entre os fatores: a variedade cultivada (MAROTTI; PICCAGLIA; GIOVANELLI, 1996), a origem geográfica (AHMED et al., 2019; TELCI et al., 2006), as épocas de plantio e colheita (PINTO et al., 2019), o manejo nutricional (BURDUCEA et al., 2018), o manejo de irrigação (FAROUK; OMAR, 2020) e a qualidade da água de irrigação (AHSAN et al., 2018; ALVES et al., 2015; BISTGANI et al., 2019).

Alguns fatores que definem a qualidade da água de irrigação são a salinidade, a proporção relativa de sódio e a concentração de elementos tóxicos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; GHEYI et al., 2016). Na região nordeste do Brasil, onde o cultivo de manjeriço é realizado em larga escala (FAVORITO et al., 2011), a salinidade de águas destinadas à irrigação é mais elevada, principalmente em épocas de estiagem (SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999).

O uso de água salina para suprir a demanda das culturas na região nordeste do país é a alternativa encontrada para a escassez hídrica (GHEYI et al., 2016; LACERDA et al., 2021). No entanto, o uso de águas com qualidade inferior pode acarretar diversos problemas como a salinização e sodificação do solo, que causam a redução da produção agrícola devido ao estresse osmótico e desbalanço nutricional (BRADY; WEIL, 2013; GHEYI et al., 2016; TAIZ et al., 2017).

O aumento da salinidade da água de irrigação reduz a produção de biomassa e o rendimento de óleo essencial de orégano. Entretanto, favorece o aumento no conteúdo de flavonoides, compostos fenólicos e na atividade antioxidante (HANCIOGLU et al., 2019), uma resposta do metabolismo secundário devido as condições salinas. No caso do manjeriço, os efeitos e a tolerância à salinidade ainda não foram totalmente definidos, principalmente no que se refere aos efeitos sobre a síntese de óleo essencial.

Alguns estudos demonstraram a redução na produção de biomassa dessa cultura (BERNSTEIN; KRAVCHIK; DUDAI, 2010; MAIA et al., 2017). Porém, quanto ao óleo essencial há relatos de aumento e redução no rendimento (ALVES et al., 2015; BERNSTEIN; KRAVCHIK; DUDAI, 2010). Com relação à influência na composição química do óleo e propriedades biológicas, os estudos são escassos. Além disso, avaliar

a tolerância das espécies a salinidade é uma das estratégias da agricultura bioassalada para viabilizar o uso de águas salinas na produção agrícola (LACERDA et al., 2021).

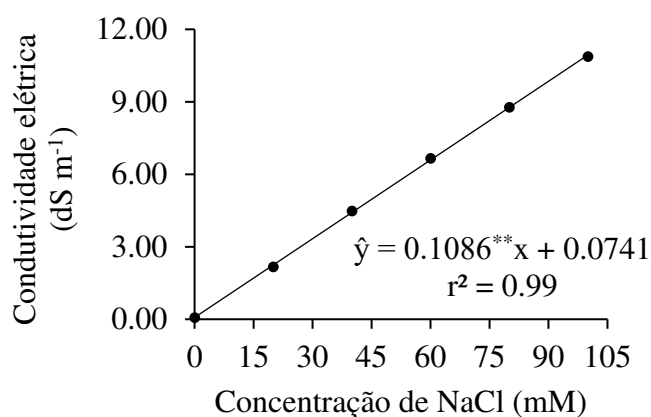
Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação no desenvolvimento da cultura do manjeriço, no rendimento e na composição química do óleo essencial e nas características químicas do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos em ambiente protegido com cobertura plástica e tela antiafídica nas laterais e área total de 56 m². A casa de vegetação está localizada na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa no município de Viçosa – MG, situada nas coordenadas 20°45' S e 42°51' O a 679 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa - clima subtropical com verão quente e inverno seco (MARTINS et al., 2018).

O estudo foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 6 tratamentos, correspondendo a 6 níveis de salinidade da água de irrigação, e 10 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Para atingir os níveis desejados de salinidade foi adicionado NaCl a água nas concentrações de 0 (controle), 5, 20, 35, 50 e 65 mM. A condutividade elétrica das soluções a 25,5°C foram 0,07, 0,62, 2,25, 3,88, 5,50 e 7,13 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 – Condutividade elétrica da água de irrigação a 25,5°C em função da concentração de NaCl



** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022)

O manjeriço foi cultivado em vasos com capacidade de 5 L, preenchidos com 1 kg de brita e 3,68 kg de substrato seco. O substrato foi preparado com solo, areia e esterco

bovino curtido na proporção de 3:1:1, respectivamente. Também foi adicionado 4 g L⁻¹ de supersimples, 3 g L⁻¹ de 4:14:8 com micronutrientes e 1,5 g L⁻¹ de calcário dolomítico ao volume de substrato preparado. A caracterização físico-química do substrato está descrita na tabela 1.

Tabela 1 – Análise físico-química do substrato usado no cultivo do manjeriço

Características do substrato	
Areia (%)	55,00
Silte (%)	7,00
Argila (%)	38,00
Classificação textural ¹	Argilo-arenosa
pH (H ₂ O)	6,30
P (mg dm ⁻³)	208,90
K (mg dm ⁻³)	530,00
Na (mg dm ⁻³)	70,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,69
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,66
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,97
SB (cmol _c dm ⁻³)	10,01
t (cmol _c dm ⁻³)	10,01
T (cmol _c dm ⁻³)	12,98
V (%)	77,10
m (%)	0
ISNa (%)	3,00
MO (dag kg ⁻¹)	2,69
P-Rem (mg L ⁻¹)	43,60
S (mg dm ⁻³)	117,30
B (mg dm ⁻³)	0,70
Cu (mg dm ⁻³)	1,30
Mn (mg dm ⁻³)	34,80
Fe (mg dm ⁻³)	27,10
Zn (mg dm ⁻³)	21,10

¹ - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. pH em água, KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu: Extrator Mehlich -1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0; SB - Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação por bases; m - Índice de saturação por alumínio; ISNa - Índice de saturação por sódio; MO - Matéria orgânica; P-Rem - Fósforo remanescente; S - Extrator: fosfato monocálcico em ácido acético; B - Extrator água quente.

Para determinação da capacidade de campo do substrato foi utilizada metodologia proposta por Kämpf, Takane e Siqueira (2006). Três vasos foram preenchidos com 1 kg de brita e 3,68 kg de substrato seco e posteriormente foram saturados com água. Quando a drenagem de água dos vasos parou, os mesmos foram pesados e foram retiradas amostras de solo para a determinação da umidade na capacidade campo. A umidade média foi de 27,8% e o peso total dos vasos na capacidade de campo foi de 6,18 kg. O

manejo da irrigação foi realizado com turno de rega variável e a lâmina necessária para elevar o substrato à capacidade de campo foi obtida através do peso médio da pesagem de 3 vasos de cada tratamento e por meio da equação 1.

$$M_{\text{água}} = M_{\text{cc}} - M_{\text{a}} \quad (1)$$

em que: $M_{\text{água}}$ – Massa de água aplicada (g); M_{cc} – Massa do vaso na capacidade de campo (g); e M_{a} – Massa atual do vaso (g).

A fim de corrigir o peso total dos vasos na capacidade de campo devido ao crescimento das plantas, a cada 10 dias após o início dos tratamentos, três amostras de solo de cada tratamento eram coletadas para determinar a umidade atual do vaso. Sabendo o peso atual do vaso e a umidade atual do substrato era possível estimar o peso das plantas de cada tratamento e corrigir o peso do vaso na capacidade de campo.

Em 14 de julho de 2021 foram distribuídas em cada vaso 3 sementes de *Ocimum basilicum* ‘Gemini’ (ISLA®) com 100% de pureza e 98% de germinação. A emergência ocorreu 7 dias após a semeadura (DAS), o desbaste foi realizado aos 42 DAS mantendo-se apenas uma planta por vaso. O início da aplicação das soluções salinas ocorreu aos 50 DAS. O controle de insetos foi realizado semanalmente com pulverização de bioinseticida azadiractina (Cursor, concentração 1,2%, Biocarb Indústria Química LTDA) na diluição de 10 mL L⁻¹, conforme recomendação do fabricante.

Semanalmente foi realizada avaliação de altura e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) nas 10 repetições. Para determinação de altura utilizou-se fita métrica e para leitura do NDVI foi utilizado o GreenSeeker Handheld Crop Sensor a uma altura de 0,6 m da copa das plantas.

A colheita do manjeriço ocorreu aos 80 DAS, quando as plantas se encontravam no estágio de floração. Três vasos de cada tratamento foram escolhidos aleatoriamente e destinados para as avaliações de massa da matéria fresca e seca, do diâmetro de caule, da área foliar e do número de folhas. As folhas e inflorescências das demais plantas foram submetidas à secagem em secador de leito fixo à 50°C e velocidade de 1 m s⁻¹ até atingirem 10% de teor de água para posterior análise de tecido vegetal e extração de óleo essencial.

A massa de matéria fresca de caule, de inflorescências e de folhas foi determinada com auxílio de balança analítica digital com resolução de 0,01g. Para determinação da massa de matéria seca, o caule, as inflorescências, as folhas e a raiz foram submetidas a secagem à 65°C em estufa de circulação forçada de ar até atingirem massa constante.

A partir dos dados de produção de matéria seca total foi calculada a redução da produção e o manjericão foi classificado quanto a tolerância à salinidade de acordo com os intervalos descritos na tabela 2.

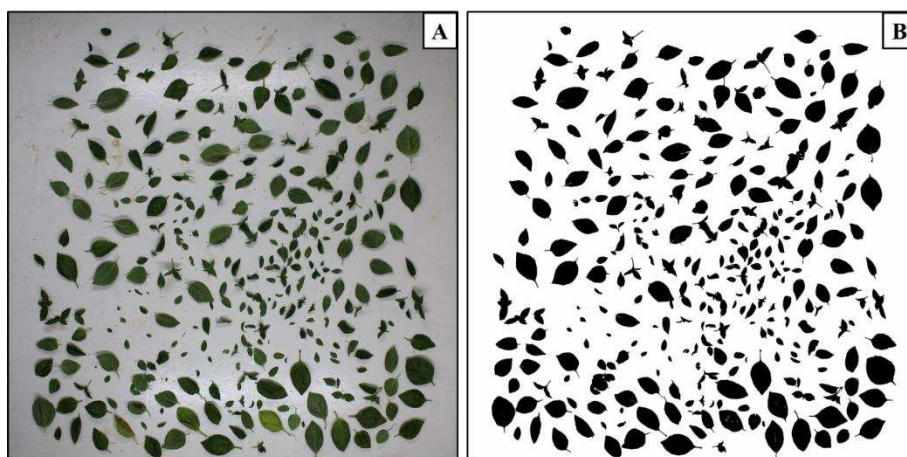
Tabela 2 – Classificação da tolerância à salinidade em função da redução na produção de massa de matéria seca de folhas

Redução da produção (%)	Classificação
0-20	Tolerante
20-40	Moderadamente tolerante
40-60	Moderadamente suscetível
>60	Suscetível

Fonte: Fageria (1985)

O diâmetro de caule foi determinado na base do caule por meio de paquímetro digital. A determinação da área foliar foi realizada por meio da análise de fotografias das folhas (Figura 2) usando o pacote LeafArea versão 0.1.8 (KATABUCHI, 2015) no software R (R CORE TEAM, 2021). Para captura das imagens foi construído um estúdio fotográfico conforme descrito por Machado Junior et al. (2020).

Figura 2 – Imagem original (A) e após o processamento (B) para determinação da área foliar



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Também foi determinada a área foliar específica por meio da equação 2:

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (2)$$

em que: AFE – área foliar específica ($m^2 g^{-1}$); AF – área foliar ($m^2 planta^{-1}$); e MSF – massa seca de folhas ($g planta^{-1}$).

A análise de tecido vegetal foi realizada a partir de folhas secas pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa. A extração de óleo essencial das folhas e inflorescências secas de manjerição foi realizada no Laboratório de Plantas Medicinais da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) por hidrodestilação utilizando aparelho Clevenger adaptado a um balão de fundo redondo com capacidade de 2 L (Figura 3). Para cada extração adicionou-se ao balão 50 g de folhas e inflorescências secas e 1 L de água destilada. Cada extração foi realizada por 90 min, contados a partir da ebulição da água.

Figura 3 – Extração de óleo essencial de manjerição pelo método da hidrodestilação



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Para determinar a composição do óleo essencial de manjerição utilizou-se cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (GC-MS) modelo QP-PLUS-2010 (Shimadzu). Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida Rtx-5MS (30 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno) com hélio como gás de arraste. As temperaturas utilizadas no injetor e no detector foram 220°C e 300°C, respectivamente. A temperatura foi programada de 60 a 240°C, com acréscimos a uma taxa de 3°C por minuto. Uma quantidade de 10 mg de cada amostra foi diluída em 1 mL de etanol (grau HPLC), sendo injetado 1 µL da mistura (PEREIRA et al., 2021; PINHEIRO et al., 2015). Para determinação dos índices de retenção linear (IRL), uma mistura de alcanos lineares (C₉ a C₂₆) foi injetada no cromatógrafo nas mesmas condições usadas nas análises do óleo essencial. Os constituintes do óleo foram identificados pela comparação dos espectros de massas obtidos com os existentes no banco de dados do equipamento (NIST08) e pela comparação dos valores de IRL relatados na literatura (ADAMS, 2017).

Para avaliação dos parâmetros químicos do solo, foi retirada uma amostra de solo de cada tratamento. A análise foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa.

Os dados foram analisados por ajustes de equações de regressão e pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos parâmetros pelo teste t e no coeficiente de determinação (R^2). O coeficiente de determinação foi obtido por meio da equação 3:

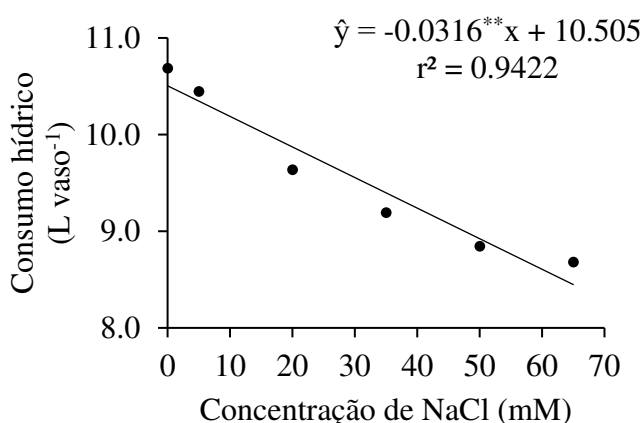
$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (3)$$

em que: SQR – soma de quadrados do resíduo; SQT – soma de quadrados do tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A irrigação com água em diferentes níveis de salinidade reduziu o consumo hídrico da cultura (Figura 4). Para cada milimolar de NaCl adicionado à água, o consumo hídrico das plantas de manjeriço diminuiu 0,0316 L. Essa redução ocorre pois os sais solúveis diminuem o potencial osmótico de água no solo, reduzindo a absorção de solução pelas raízes (BRADY; WEIL, 2013). Além disso, para evitar o estresse osmótico, as plantas fecham os estômatos e reduzem a expansão foliar, o que contribui para a redução da transpiração e da absorção de água (TAIZ et al., 2017).

Figura 4 – Consumo hídrico médio das plantas de manjeriço em função da concentração de NaCl na água de irrigação

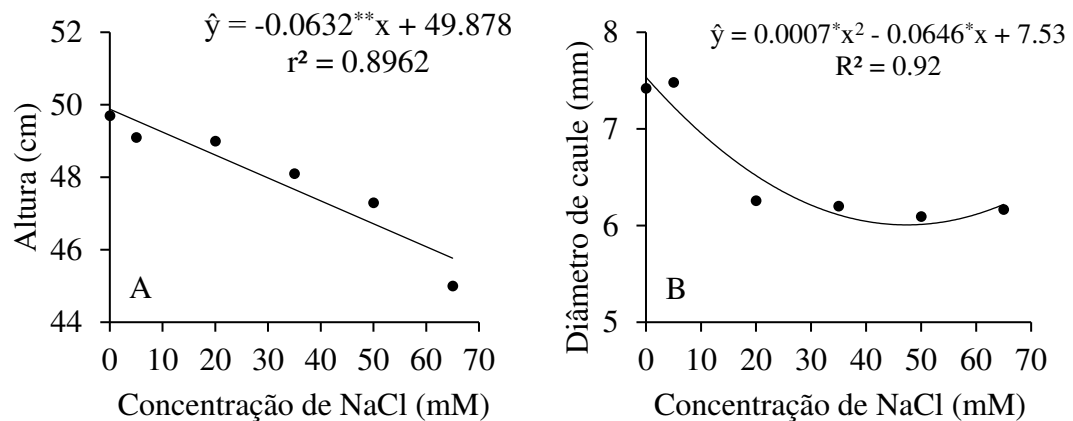


** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022)

O fechamento estomático reduz a transpiração. No entanto, ocorre diminuição na absorção de CO₂ pelas folhas, reduzindo a fotossíntese e o crescimento das plantas (TAIZ et al., 2017). A redução do crescimento também foi observada no manjeriço ao aumentar

a salinidade da água de irrigação. Ao elevar a concentração de NaCl na água de 0 (0,07 dS m⁻¹) para 65 mM (7,13 dS m⁻¹), a altura reduziu 8,2% (Figura 5A). Sousa et al. (2021) observaram redução de 20% na altura de manjerição ‘Maria Bonita’ ao aumentar a salinidade de 0,5 para 6,0 dS m⁻¹.

Figura 5 – Equações ajustadas de altura (A) e diâmetro de caule (B) de manjerição em função da concentração de NaCl na água de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022)

O diâmetro de caule apresentou comportamento quadrático (Figura 5B). O ponto de mínimo ocorre na concentração de 46,14 mM, em que as plantas apresentam diâmetro de caule médio de 6,04 mm. Resultado provavelmente relacionado ao menor acúmulo de biomassa ocasionado pelo aumento da salinidade da água de irrigação.

Observou-se que não houve diferença na altura ao comparar o tratamento controle com os demais (Tabela 3). Esse resultado corrobora com o encontrado por Bressan et al. (2020), em que os autores também não observaram diferenças na altura do manjerição ‘Genovese’ quando aplicaram águas com condutividades elétricas variando de 0 a 2,46 dS m⁻¹. Entretanto, Avdouli et al. (2021) em estudo com manjerição ‘Genovese’ concluíram que a partir de 5 dS m⁻¹ houve diferença na altura dessa cultura. O diâmetro de caule foi menor nos tratamentos com irrigação com água salina a partir da concentração de 20 mM ao comparar com o tratamento controle.

Tabela 3 – Valores médios de altura e diâmetro de caule de manjerição em função da concentração de NaCl na água de irrigação

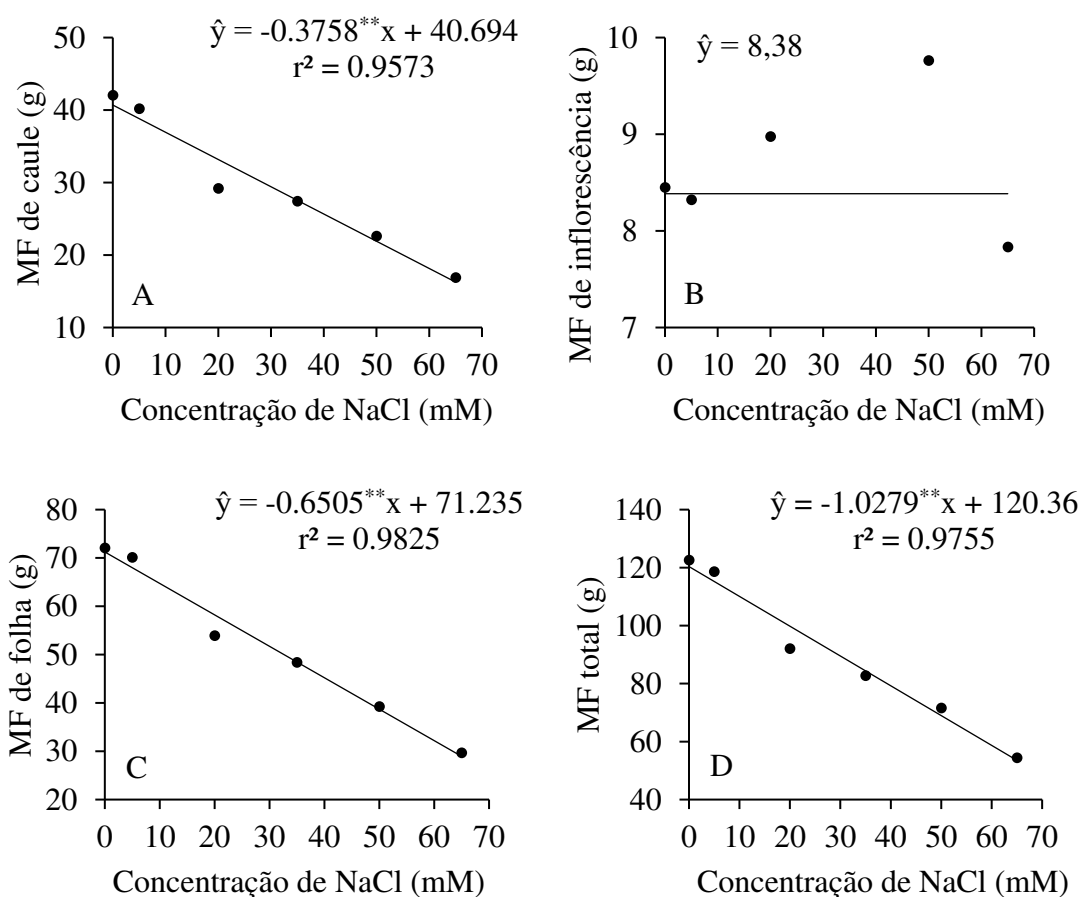
NaCl (mM)	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)
0	49,70	7,42

5	49,10	7,48
20	49,00	6,25*
35	48,10	6,20*
50	47,30	6,09*
65	45,00	6,16*

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

A massa de matéria fresca de caule, de folhas e total decresceram linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação. A massa de matéria fresca de inflorescência não foi influenciada pelo aumento da concentração de NaCl e apresentou média de 8,38 g (Figura 6).

Figura 6 – Equações ajustadas de massa de matéria fresca de caule (A), de inflorescência (B), de folha (C) e total (D) de manjerição em função da concentração de NaCl na água de irrigação



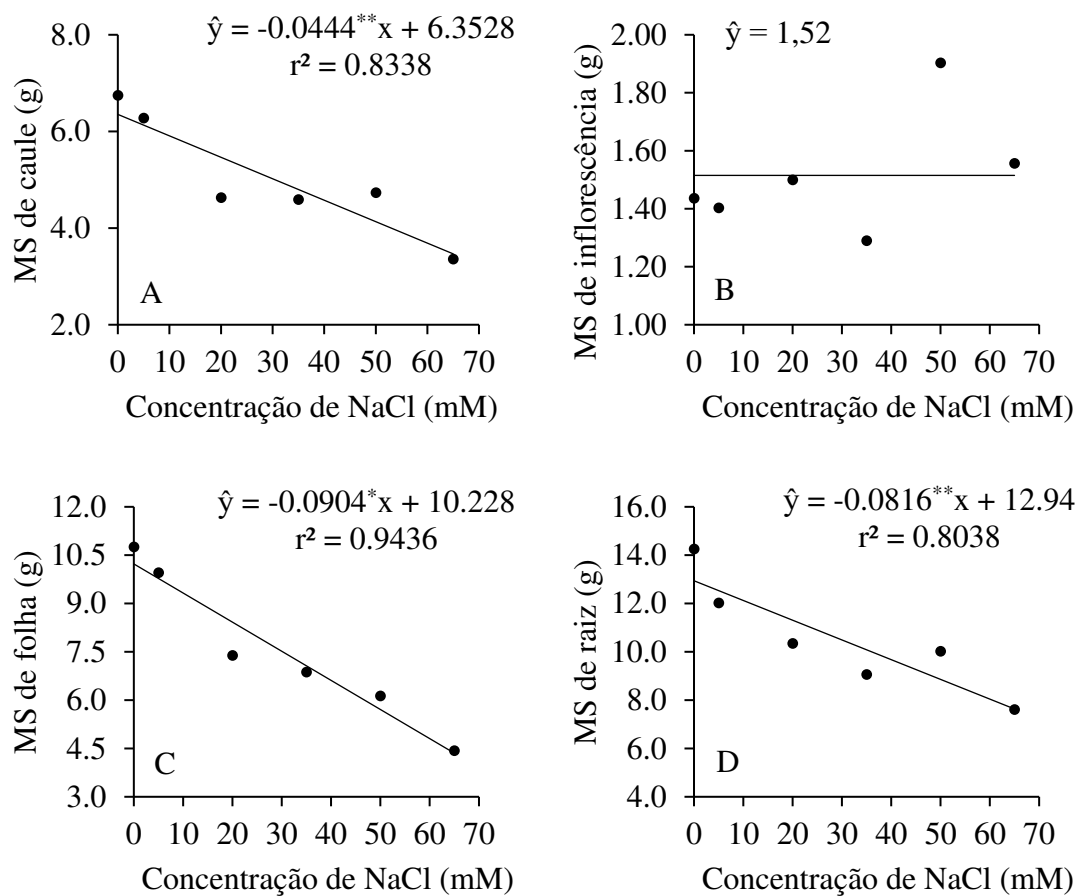
** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

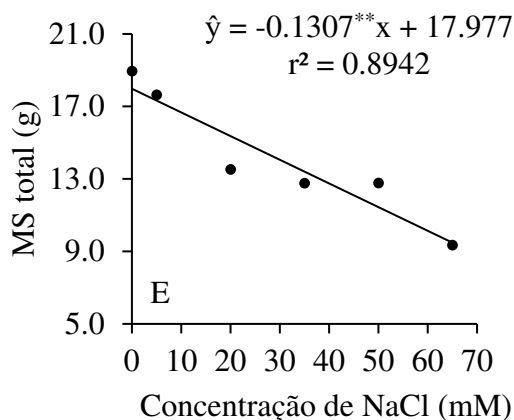
Ao aumentar a concentração de NaCl na água de 0 para 65 mM, a massa fresca de caule, de folhas e total reduziram em torno de 60%. A salinidade afeta negativamente a

taxa fotossintética de plantas medicinais (BISTGANI et al., 2019; CHRYSARGYRIS et al., 2019; ZRIG et al., 2020) e pode reduzir o acúmulo de biomassa (TAIZ et al., 2017). A redução na fotossíntese pode ser resultado do fechamento estomático, mecanismo de tolerância ao estresse osmótico imposto pela salinidade da água de irrigação (MUNNS; TESTER, 2008), ou ainda pode ser provocado pela redução no conteúdo de clorofila das folhas (HEIDARI, 2012).

Para a massa de matéria seca foi observado o mesmo comportamento da matéria fresca (Figura 7). As folhas foram a parte mais sensível ao incremento da salinidade, pois para cada 1 mM de NaCl adicionado, a massa de matéria fresca diminui 0,6505 g e a massa seca reduz 0,0904 g.

Figura 7 – Equações ajustadas de massa de matéria seca de caule (A), de inflorescência (B), de folha (C), de raiz (D) e total (E) de manjerição em função da concentração de NaCl na água de irrigação





* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A massa de matéria fresca e seca de inflorescência não apresentaram diferença entre o tratamento controle e os tratamentos salinos. A irrigação com água salina na concentração de 5 mM não interferiu na biomassa do manjericão, apresentando médias estatisticamente iguais ao tratamento controle. No entanto, a partir de 20 mM a massa de matéria fresca e seca de caule, de folhas, total e de raiz foram menores que o tratamento controle, onde não houve adição de NaCl à água (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios de massa fresca de caule (MFC, g), massa fresca de inflorescência (MFI, g), massa fresca de folha (MFF, g), massa fresca total (MFT, g), massa seca de caule (MSC, g), massa seca de inflorescência (MSI, g), massa seca de folha (MSF, g), massa seca de raiz (MSR, g) e massa seca total (MST, g) de manjericão em função da concentração de NaCl na água de irrigação (NaCl, mM)

NaCl	MFC	MFI	MFF	MFT	MSC	MSI	MSF	MST	MSR
0	42,06	8,45	72,11	122,62	6,75	1,44	10,76	18,94	14,26
5	40,20	8,32	70,13	118,65	6,27	1,40	9,96	17,64	12,03
20	29,19*	8,98	53,94*	92,11*	4,63*	1,50	7,39*	13,52*	10,35*
35	27,42*	6,96	48,40*	82,79*	4,59*	1,29	6,87*	12,76*	9,06*
50	22,61*	9,76	39,26*	71,64*	4,73*	1,90	6,13*	12,77*	10,03*
65	16,90*	7,83	29,70*	54,44*	3,36*	1,56	4,43*	9,35*	7,61*

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

O manjericão ‘Gemini’ foi tolerante à salinidade até a concentração de 25 mM de NaCl, correspondente a condutividade elétrica de 2,79 dS m⁻¹. De 25 a 55 mM de NaCl a cultura é classificada como moderadamente tolerante, apresentando redução na produção de matéria seca total de até 40%. Para as concentrações de 55 a 65 mM de NaCl (6,05 a

7,13 dS m⁻¹) o manjeriço é moderadamente suscetível à salinidade e a produção de matéria seca total reduziu até 47,26% (Tabela 5).

Tabela 5 – Classificação do manjeriço quanto a tolerância à salinidade

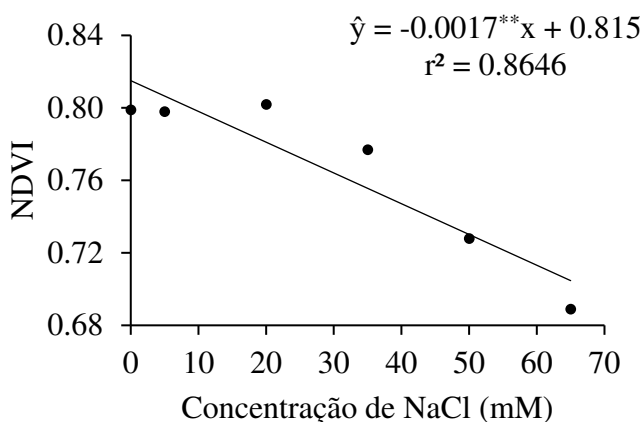
Concentração de NaCl (mM)	CE a 25,5°C (dS m ⁻¹)	Redução na MST (%)	Classificação
5	0,62	3,64	Tolerante
10	1,16	7,27	Tolerante
15	1,70	10,91	Tolerante
20	2,25	14,54	Tolerante
25	2,79	18,18	Tolerante
30	3,33	21,81	Moderadamente tolerante
35	3,88	25,45	Moderadamente tolerante
40	4,42	29,08	Moderadamente tolerante
45	4,96	32,72	Moderadamente tolerante
50	5,50	36,35	Moderadamente tolerante
55	6,05	39,99	Moderadamente tolerante
60	6,59	43,62	Moderadamente suscetível
65	7,13	47,26	Moderadamente suscetível

Os resultados corroboram com o observado por Attia et al. (2011). Para manjeriço ‘Genovese Gigante’ a aplicação de água com 50 mM de NaCl resultou em 40% de redução na produção de biomassa foliar. No estudo de Sousa et al. (2021), a cultivar ‘Maria Bonita’ foi considerada tolerante para condutividades elétricas de até 3,25 dS m⁻¹ e moderadamente tolerante até 6,00 dS m⁻¹. Em contrapartida, avaliando a tolerância à salinidade de manjeriço ‘Verde’ e ‘Roxo’, Maia et al. (2017) concluíram que as cultivares são suscetíveis à salinidade a partir de 4,0 e 4,5 dS m⁻¹, respectivamente.

A eficiência dos mecanismos de tolerância à salinidade pode ser diferente dependendo da espécie e variedade. A maior tolerância do manjeriço à salinidade se deve a compartimentalização do sódio (Na) nas células foliares. Nesse caso, os íons Na são internalizados pelas células das folhas em vez de serem acumulados no apoplasto, o que causaria desidratação foliar (ATTIA et al., 2009, 2011).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) apresentou comportamento linear decrescente com o aumento da salinidade da água de irrigação. A adição de 65 mM de NaCl na água causou redução de 14% no valor de NDVI (Figura 8).

Figura 8 – Equação ajustada do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de manjeriço em função da concentração de NaCl na água de irrigação



** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

Quanto maior o NDVI maior a presença de clorofila e atividade fotossintética (SOUSA et al., 2015). Portanto, a redução no NDVI ocasionada pelo incremento da salinidade pode indicar que houve redução nos pigmentos fotossintéticos e na taxa fotossintética. O que explica as reduções de biomassa observadas.

Comparando as médias de NDVI, observou-se que os únicos tratamentos que apresentaram médias menores que o tratamento controle foram 50 e 65 mM (Tabela 6). Após 21 dias de aplicação de água salina na concentração de 100 e 200 mM de NaCl em manjeriço ‘Genovese’, Lazarević et al. (2021) também observaram redução no NDVI ocasionado pela redução no conteúdo de clorofila nas folhas.

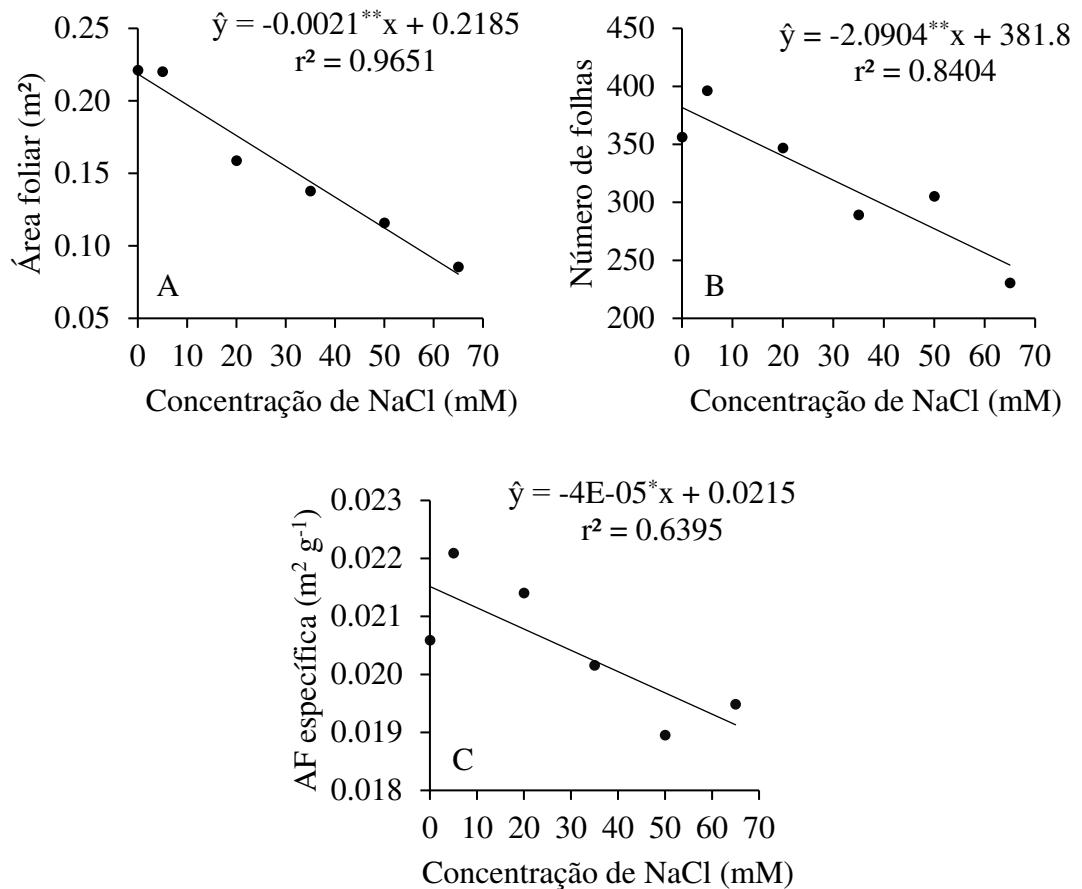
Tabela 6 – Valores médios de NDVI de manjeriço em função da concentração de NaCl na água de irrigação

	Concentração de NaCl (mM)					
	0	5	20	35	50	65
NDVI	0,799	0,798	0,802	0,777	0,728*	0,689*

Médias seguidas por * na linha diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

A área foliar, o número de folhas e a área foliar específica também apresentaram comportamento linear decrescente com o aumento da concentração de NaCl (Figura 9) e estão diretamente relacionados com a redução observada na biomassa de folhas. A área foliar reduziu 62,5%, a diminuição no número de folhas foi de 35,2% e a área foliar específica diminuiu 5,4% ao aumentar a concentração de NaCl de 0 para 65 mM.

Figura 9 – Equações ajustadas de área foliar (A), número de folhas (B) e área foliar específica (C) de manjeriço em função da concentração de NaCl na água de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A partir de 20 mM, a área foliar foi menor que o tratamento controle (Tabela 7). Essa redução está associada ao mecanismo de tolerância ao estresse osmótico. Em condições de estresse salino as plantas diminuem a expansão foliar e fecham os estômatos (MUNNS; TESTER, 2008). Para o número de folhas, o único tratamento que apresentou média diferente do tratamento controle foi a concentração de 65 mM, em que foi observada redução média de 126 folhas.

Tabela 7 – Valores médios de área foliar, número de folhas e área foliar específica de manjeriço em função da concentração de NaCl na água de irrigação

NaCl (mM)	Área foliar (m ²)	Número de folhas	Área foliar específica (m ² g ⁻¹)
0	0,22	356,33	0,0205
5	0,22	396,33	0,0220
20	0,15*	347,00	0,0214
35	0,13*	289,33	0,0201
50	0,11*	305,33	0,0189

65	0,08*	230,66*	0,0194
----	-------	---------	--------

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (0 mM) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

A área foliar específica nos tratamentos com adição de NaCl não diferiu do tratamento controle e apresentou média de 0,02 m² g⁻¹. A constância da área foliar específica indica que o efeito do estresse salino foi proporcional na produção de biomassa e na expansão foliar (SANTOS, 2019), portanto não houve espessamento das folhas.

Devido a competição por sítios no transporte de proteína, a absorção de K⁺ pode diminuir com o aumento da concentração de Na⁺ (TAIZ et al., 2017). O aumento da concentração de NaCl na água de irrigação ocasionou acúmulo de Na nas folhas, no entanto não foi observada influência na absorção de K (Tabela 8). Segundo Attia et al. (2009), as folhas de manjeriço conseguem tolerar o acúmulo de Na sem desidratar, o que sugere que esse elemento é compartimentalizado de forma eficiente nas células foliares, propriedade determinante na tolerância à salinidade.

Tabela 8 – Equações ajustadas dos elementos químicos presentes nas folhas de manjeriço em função da concentração de NaCl na água de irrigação (x) e seus respectivos coeficientes de determinação

Elementos químicos	Equação	R ² /r ²
N (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,048$	—
P (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,427$	—
K (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 1,948$	—
Ca (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 1,8440 + 0,0074^{**} x$	0,8971
Mg (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,6808 + 0,0081^{**} x$	0,9976
S (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,2916 - 0,0010^{*} x + 0,15E-4^{*} x^2$	0,7770
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 8,6585 + 0,0396^{*} x$	0,7259
Fe (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 692,124$	—
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 31,2991 + 0,5761^{**} x$	0,9213
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 42,3121 + 1,0495^{**} x$	0,9854
Na (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,0226 + 0,0007^{**} x$	0,9743
B (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 24,194$	—

* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade.

Observou-se que ao aumentar a salinidade da água de irrigação, a concentração de cálcio (Ca) nas folhas também aumentou. Manter altos teores de potássio (K) e cálcio (Ca) no tecido vegetal é um mecanismo que contribui para expressar a tolerância das plantas à salinidade (GHEYI et al., 2016). Magnésio (Mg), zinco (Zn) e manganês (Mn) aumentaram linearmente de acordo com a salinidade da água de irrigação. O Mn foi o

elemento mais afetado e para cada milimolar de NaCl adicionado à água a concentração foliar deste elemento aumentou $1,0495 \text{ mg kg}^{-1}$.

Assim como observado por Maia et al. (2017) e Bione et al. (2014), as plantas submetidas às maiores salinidades, apesar de produzirem menor quantidade de biomassa e acumularem mais Na, não apresentaram sintomas visuais que pudessem comprometer a comercialização do produto fresco ou seco (Figura 10). Mesmo nas plantas irrigadas com maior concentração de NaCl não houve sinais de toxidez.

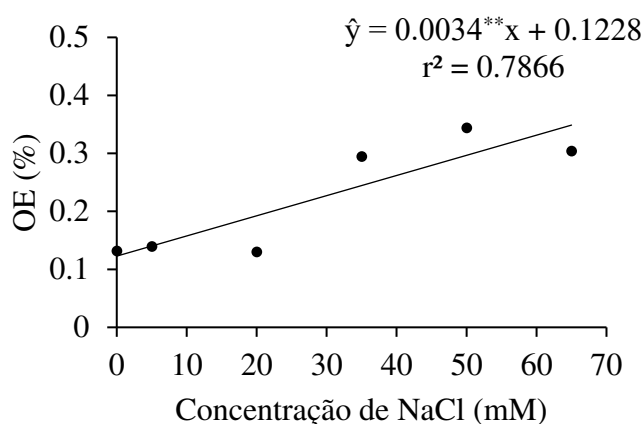
Figura 10 – Plantas de manjeriço submetidas à irrigação com água com diferentes concentrações de NaCl



Fonte: elaborado pela autora (2022).

O rendimento de óleo essencial aumentou linearmente com o incremento da salinidade da água de irrigação (Figura 11). No tratamento controle, a média do rendimento observada foi de 0,12%, enquanto que para o tratamento de 65 mM de NaCl o rendimento de óleo essencial foi de 0,35%. Comportamento semelhante foi observado por Bernstein, Kravchik e Dudai (2010) para a cultivar Pierre.

Figura 11 – Equação ajustada do rendimento de óleo essencial (OE) de manjerição em função da concentração de NaCl na água de irrigação



** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

Para cada mM de NaCl adicionado, o rendimento de óleo essencial aumenta em 0,0035%. Plantas são capazes de induzir a produção de metabólitos secundários em resposta a estresses bióticos e abióticos (ANIMURA et al., 2017). De acordo com Banerjee e Roychoudhury (2017) o aumento no rendimento de óleo essencial de algumas espécies pode estar relacionado com o aumento do armazenamento de óleo essencial pelas glândulas e pela maior produção de glândulas. Além disso, com o declínio do metabolismo primário pode ocorrer acúmulo de produtos intermediários que podem ser destinados para a produção de metabólitos secundários, como o óleo essencial (BANERJEE; ROYCHOUDHURY, 2017).

A salinidade alterou a composição química do óleo essencial de manjerição (Tabela 9). O óleo essencial produzido pelas plantas no tratamento controle apresentou menor quantidade de constituintes químicos quando comparado aos demais tratamentos. Quando irrigado com água na concentração até 20 mM de NaCl, o óleo essencial de manjerição apresentou como compostos majoritários (acima de 20%) o trans- α -bergamoteno e o τ -cadinol. Nos tratamentos de 35 a 65 mM o composto majoritário foi o linalol.

Tabela 9 – Composição química (%) do óleo essencial de manjerição 'Gemini' irrigado com água em diferentes níveis de salinidade

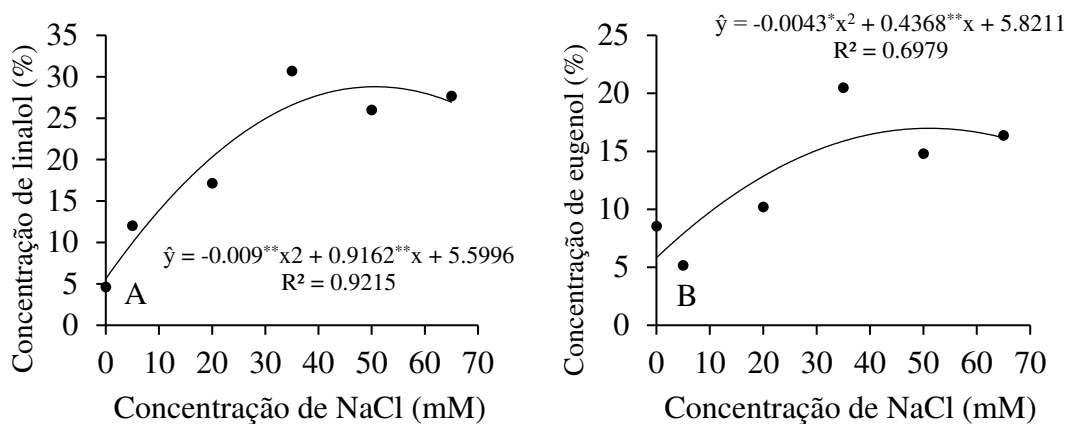
Constituintes químicos	IRL	Concentração de NaCl (mM)					
		0	5	20	35	50	65
n-Decano	1000	1,08	—	—	—	—	—
1,8-Cineol	1026	0,79	0,59	0,29	1,84	3,66	3,99
trans- β -Ocimeno	1044	—	—	—	—	0,10	0,10
cis-Sabineno hidratado	1065	—	—	—	—	0,18	0,18

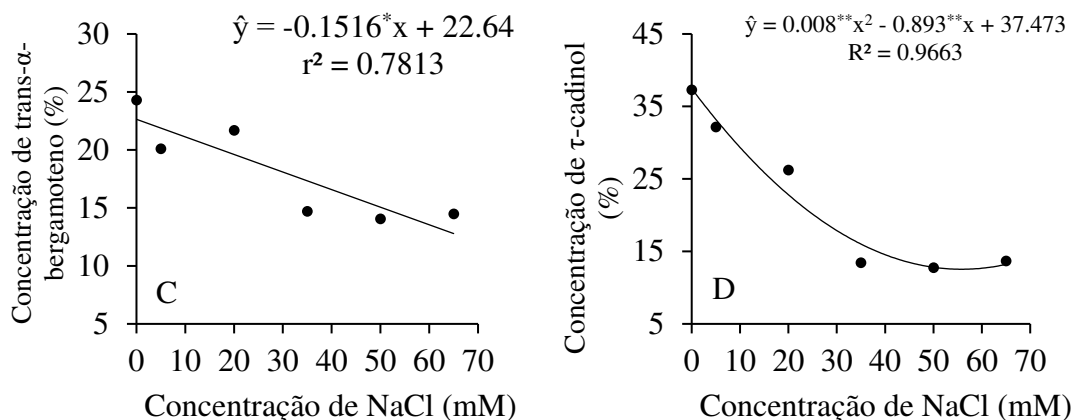
Linalol	1095	4,62	12,03	17,14	30,70	26,00	27,68
1-Octen-3-il acetato	1110	—	—	—	—	0,10	—
Terpinen-4-ol	1174	—	0,50	0,80	2,92	3,21	3,16
α -Terpineol	1186	—	—	0,23	1,41	1,82	1,98
Octanol acetato	1211	—	—	—	—	0,09	—
Eugenol	1356	8,55	5,17	10,20	20,48	14,80	16,38
α -Copaeno	1374	—	—	—	—	0,21	0,21
trans- β -Cariofileno	1417	—	—	—	—	0,14	—
trans- α -Bergamoteno	1432	24,30	20,10	21,68	14,70	14,06	14,48
α -Humuleno	1452	0,18	0,46	0,37	0,26	0,79	0,54
trans- β -Farneseno	1454	—	0,26	0,19	0,10	0,38	0,21
Germacreno D	1480	6,13	7,21	6,87	4,37	6,07	5,10
α -Bulneseno	1509	—	—	—	—	0,46	—
γ -Cadineno	1513	9,74	9,55	8,42	4,99	5,71	5,35
Espatuleno	1577	—	—	—	—	0,15	—
Cubenol	1618	2,87	4,26	2,53	1,44	2,24	1,87
τ -Cadinol	1638	37,28	32,17	26,21	13,43	12,76	13,67
β -Eudesmol	1649	—	0,28	—	—	0,24	—
Monoterpenos		15,04	18,29	28,66	57,35	49,96	53,47
Sesquiterpenos		80,50	74,29	66,27	39,29	43,21	41,43
Total identificado		95,54	92,58	94,93	96,64	93,17	94,90

IRL – índice de retenção linear.

Linalol e eugenol apresentaram comportamento quadrático com ponto de máximo em 50,9 e 50,8 mM de NaCl, respectivamente (Figura 12). Nos pontos de máximo, a concentração média de linalol é 28,92% e de eugenol 16,91%.

Figura 12 – Equações ajustadas da concentração de linalol (A), eugenol (B), trans- α -bergamoteno (C), τ -cadinol (D) no óleo essencial de manjerição em função da concentração de NaCl na água de irrigação





* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A concentração de trans- α -bergamoteno no óleo essencial de manjeriço decresceu linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação, atingindo o valor mínimo de 9,85%, redução de 12,8 pontos percentuais. Já o τ -cadinol apresentou comportamento quadrático com ponto de mínimo em 55,8 mM de NaCl e concentração mínima de 12,55%.

A estrutura química dos constituintes do óleo essencial altera as atividades biológicas. Compostos que apresentam grupos funcionais em sua estrutura apresentam maior atividade que os hidrocarbonetos. Para atividade antimicrobiana e inseticida, por exemplo, o nível de atividade dos compostos segue a seguinte ordem: fenóis, aldeídos, cetonas, álcoois, éteres e hidrocarbonetos (KALEMBA; KUNICKA, 2003; RICE; COATS, 1994). Portanto, as alterações observadas na composição do óleo essencial de manjeriço podem modificar suas propriedades.

No entanto, o aumento de linalol (álcool) e eugenol (fenol) ocasionado pela salinidade da água de irrigação não é garantia de aumento nas atividades biológicas do óleo essencial. Isso porque os compostos presentes no óleo essencial atuam de forma sinérgica ou antagônica e suas propriedades não podem ser atribuídas a um único constituinte (HEINZMANN; SPITZER; SIMÕES, 2017; VUUREN; VILJOEN, 2007).

O linalol é uma molécula aromática valorizada na indústria de perfumes e cosméticos e seu consumo mundial ultrapassa 1.000 toneladas por ano (APROTOSOAIIE et al., 2014; KAMATOU; VILJOEN, 2008). Dada a sua valorização no mercado, o aumento desse composto no óleo essencial de manjeriço é interessante para sua comercialização. Portanto, a irrigação com água salina é uma alternativa para a produção de manjeriço destinado para extração de óleo essencial.

Com relação às características químicas do solo, a concentração de Na aumentou linearmente com o incremento da salinidade da água de irrigação (Tabela 10). Para cada mM de NaCl adicionado à água, a concentração de sódio no solo aumenta em 30,27 mg dm⁻³. O excesso de Na no solo interfere na estabilidade de agregados, o que causa a dispersão de argila. Com isso ocorre o entupimento dos poros e diminuição da permeabilidade ao ar e a água, o que prejudica o desenvolvimento das culturas (BRADY; WEIL, 2013).

Tabela 10 – Equações ajustadas das características químicas do solo em função da concentração de NaCl na água de irrigação (x) e seus respectivos coeficientes de determinação

Características químicas	Equação	R ² /r ²
P (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 386,17$	—
K (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 232,67$	—
Na (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 79,5669 + 30,2777^{**} x$	0,9752
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	$\hat{y} = 4,47$	—
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	$\hat{y} = 2,00$	—
H + Al (cmolc dm ⁻³)	$\hat{y} = 1,6021 - 0,1648^{**} \sqrt{x} + 0,0123^{**} x$	0,9777
SB (cmolc dm ⁻³)	$\hat{y} = 7,5146 + 0,1281^{**} x$	0,9716
t (cmolc dm ⁻³)	$\hat{y} = 7,5146 + 0,1281^{**} x$	0,9716
T (cmolc dm ⁻³)	$\hat{y} = 8,9063 + 0,1216^{**} x$	0,9701
V (%)	$\hat{y} = 83,2062 + 0,3951^{**} x - 0,0037^{*} x^2$	0,9737
ISNa (%)	$\hat{y} = 2,3226 + 1,4216^{**} x - 0,0103^{**} x^2$	0,9944
MO (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 2,85$	—
P-Rem (mg L ⁻¹)	$\hat{y} = 41,3571 - 0,1564^{*} x - 0,0027^{*} x^2$	0,6882
S (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 61,8867 + 27,6607^{**} \sqrt{x} - 2,4766^{**} x$	0,7742
B (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 1,42$	—
Cu (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 2,31$	—
Mn (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 32,1118 + 0,2657^{*} x - 0,0052^{*} x^2$	0,7691
Fe (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 16,57$	—
Zn (mg dm ⁻³)	$\hat{y} = 28,75$	—

SB - Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação por bases; m - Índice de saturação por alumínio; ISNa - Índice de saturação por sódio; MO - Matéria orgânica; P-Rem - Fósforo remanescente. * significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade.

A soma de bases (SB) e a capacidade de troca catiônica efetiva (t) apresentaram o mesmo comportamento, sendo que para cada milimolar de NaCl presente na água ocorre aumento de 0,1281 cmolc dm⁻³ nesses parâmetros. A soma de bases representa a soma dos elementos K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Como potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) não foram influenciados pela salinidade da água

de irrigação, infere-se que o aumento linear observado na soma de bases decorre da adição de sódio ao solo.

O índice de saturação por bases (V) e o índice de saturação por sódio (ISNa) apresentaram comportamento quadrático. O ponto de máximo de V foi em 53,39 mM atingindo o valor de 93,75%. No caso do ISNa, o maior valor ocorreu em 65 mM com 51,20%. Nesse sentido, para utilização de águas salinas para produção de manjeriço são necessárias medidas para evitar o acúmulo de sais e sódio no solo.

4 CONCLUSÕES

O manjeriço ‘Gemini’ é tolerante à salinidade até a concentração de 25 mM de NaCl.

A salinidade da água de irrigação causou acúmulo de Na nas folhas, no entanto não afetou negativamente a absorção de K e Ca.

Houve redução na área foliar ao aumentar a salinidade da água de irrigação. Entretanto, não houve espessamento das folhas.

Águas salinas podem ser usadas como alternativa para aumentar o rendimento de óleo essencial de manjeriço. Os compostos majoritários do óleo essencial foram trans- α -bergamoteno e τ -cadinol com aplicação de água salina até a concentração de 20 mM. A partir de 35 mM o composto majoritário foi o linalol.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4.1 ed. [s.l.] Allured Publishing Corporation, 2017.

AHMED, A. F. et al. Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 3, p. 299–305, 2019.

AHSAN, M. et al. Heavy metal accumulation imparts structural differences in fragrant Rosa species irrigated with marginal quality water. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 159, p. 240–248, 2018.

ALVES, L. S. et al. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 807–813, 2015.

ANIMURA, G. et al. Biosynthesis and regulation of plant volatiles and their functional roles in ecosystem interactions and global environmental changes. In: ANIMURA, G.; MAFFEI, M. (Eds.). . **Plant specialized metabolism: genomics, biochemistry and**

biological functions. Boca Raton: Taylor & Francis, 2017. p. 185–237.

APROTOSOAIÉ, A. C. et al. Linalool: A review on a key odorant molecule with valuable biological properties. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 29, n. 4, p. 193–219, 2014.

ATTIA, H. et al. Sodium transport in basil. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, p. 1045–1051, 2009.

ATTIA, H. et al. Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 3, p. 823–833, 2011.

AVDOULI, D. et al. Basil as secondary crop in cascade hydroponics: exploring salinity tolerance limits in terms of growth, amino acid profile, and nutrient composition. **Horticulturae**, 2021.

BANERJEE, A.; ROYCHOUDHURY, A. Effect of salinity stress on growth and physiology of medicinal plants. In: GHORBANPOUR, M.; VARMA, A. (Eds.). **Medicinal Plants and Environmental Challenges**. Cham: Springer, 2017. p. 177–188.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 2, p. 167–177, 2010.

BIONE, M. A. A. et al. Crescimento e produção de manjeriço em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1228–1234, 2014.

BISTGANI, Z. E. et al. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. **Industrial Crops and Products**, v. 135, n. May, p. 311–320, 2019.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRESSAN, D. F. et al. Impacts on growth, water relations and nutritional composition of basil plants submitted to irrigation with saline and wastewater. **SN Applied Sciences**, v. 2, p. 1–11, 2020.

BURDUCEA, M. et al. Fertilization modifies the essential oil and physiology of basil varieties. **Industrial Crops and Products**, v. 121, p. 282–293, 2018.

CHRYSARGYRIS, A. et al. Physiological and biochemical attributes of *Mentha spicata* when subjected to saline conditions and cation foliar application. **Journal of Plant Physiology**, v. 232, n. September 2018, p. 27–38, 2019.

FAGERIA, N. K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, v. 88, p. 237–243, 1985.

FAROUK, S.; OMAR, M. M. Sweet basil growth, physiological and ultrastructural

modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 3, p. 1307–1331, 2020.

FAVORITO, P. A. et al. Características produtivas do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do espaçamento entre plantas e entre linhas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, p. 582–586, 2011.

GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

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

HANCIOGLU, N. E. et al. Irrigation water salinity effects on oregano (*Origanum onites* L.) water use, yield and quality parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 327–334, 2019.

HEIDARI, M. Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 2, p. 379–384, 2012.

HEINZMANN, B. M.; SPITZER, V.; SIMÕES, C. M. O. Óleos voláteis. In: **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

KALEMBA, D.; KUNICKA, A. Antibacterial and antifungal properties of essential oil components. **Journal of Essential Oil Research**, v. 10, p. 813–829, 2003.

KAMATOU, G. P. P.; VILJOEN, A. M. Linalol: a review of a biologically active compound of commercial importance. **Natural Product Communications**, v. 3, n. 7, p. 1183–1192, 2008.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. Brasília: LK Editora, 2006.

KATABUCHI, M. LeafArea: an R package for rapid digital image analysis of leaf area. **Ecological Research**, v. 30, n. 6, p. 1073–1077, 2015.

LACERDA, C. F. et al. Estresse salino em plantas e formas de mitigação. In: CERQUEIRA, P. R. S. et al. (Eds.). **Agricultura irrigada em ambientes salinos**. Brasília: Codevasf, 2021. p. 212–237.

LAZAREVIĆ, B. et al. Application of phenotyping methods in detection of drought and salinity stress in basil (*Ocimum basilicum* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. February, p. 1–13, 2021.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2008.

MACHADO JUNIOR, R. et al. Digital phenotyping of winter squash fruits. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, n. 3, p. 1–12, 2020.

MAIA, S. S. S. et al. Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 44–49, 2017.

MAROTTI, M.; PICCAGLIA, R.; GIOVANELLI, E. Differences in essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) Italian cultivars related to morphological characteristics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 12, p. 3926–3929, 1996.

MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 129–156, 2018.

MAY, A. et al. **Manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.)**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/40.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2021.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

PEREIRA, U. A. et al. Analysis of essential oil from brazilian *Mentha x piperita* L. commercial samples. **Revista Virtual de Química**, p. 1–6, 2021.

PINHEIRO, P. F. et al. Phytotoxicity and cytotoxicity of essential oil from leaves of *Plectranthus amboinicus*, carvacrol, and thymol in plant bioassays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 8981–8990, 2015.

PINTO, J. A. O. et al. Chemical characterization of the essential oil from leaves of basil genotypes cultivated in different seasons. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas**, v. 18, n. 1, p. 58–70, 2019.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013.

PUSHPANGADAN, P.; GEORGE, V. Basil. In: PETER, K. V. (Ed.). **Handbook of Herbs and Spices**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. p. 55–72.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing** Vienna R Foundation for Statistical Computing, , 2021.

RICE, P. J.; COATS, J. R. Insecticidal properties of several monoterpenoids to the house fly (Diptera: Muscidae), red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae), and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 87, n. 5, p. 1172–1179, 1994.

SANTOS, S. T. **Desempenho de cultivares de manjeriçãõ em sistema semi-hidropônico utilizando soluções nutritivas salinizadas**. [s.l.] Universidade Federal Rural do Semi-árido, 2019.

SHAHRAJABIAN, M. H.; SUN, W.; CHENG, Q. 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 JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de

águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 11–17, 1999.

SOUSA, C. A. F. et al. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. December, p. 660–672, 2015.

SOUSA, L. V. et al. Salinity stress and plant growth regulator in basil: effects on plant and soil. **Dyna**, v. 88, p. 75–83, 2021.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TELICI, I. et al. Variability in essential oil composition of Turkish basils (*Ocimum basilicum* L.). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 34, n. 6, p. 489–497, 2006.

VUUREN, S. F. VAN; VILJOEN, A. M. Antimicrobial activity of limonene enantiomers and 1,8-cineole alone and in combination. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 22, n. 6, p. 540–544, nov. 2007.

ZRIG, A. et al. Influence of light intensity and salinity on growth and antioxidant machinery of *Thymus vulgaris* L. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 58, n. May, p. 323–335, 2020.

CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DO DÉFICIT HÍDRICO NO DESENVOLVIMENTO, NO RENDIMENTO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Ocimum basilicum*

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito do déficit hídrico no desenvolvimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de manjeriço. O experimento foi conduzido em vasos em ambiente protegido na Universidade Federal de Viçosa. Foi adotado delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 15 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Os tratamentos corresponderam as lâminas de irrigação de 25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração. O manejo da irrigação foi realizado por meio da pesagem de vasos do tratamento 100%. Os demais tratamentos receberam lâminas proporcionais. Os parâmetros avaliados foram altura, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), diâmetro de caule, massa de matéria fresca e seca da parte aérea, massa de matéria seca de raiz, área foliar, número de folhas, área foliar específica, rendimento e composição química do óleo essencial. As lâminas de 25% e 50% diminuíram a massa de matéria seca total da parte aérea, no entanto, nessas condições, as plantas foram mais eficientes no uso da água. O déficit hídrico diminuiu a área foliar e o número de folhas, porém houve aumento da espessura foliar. As lâminas mais recomendadas para produção de massa fresca e seca são 100% e 75%, respectivamente. Para extração de óleo essencial, recomenda-se as lâminas de 50% e 75%.

Palavras-chave: Manjeriço. Planta medicinal. Irrigação. Eficiência no uso da água.

1 INTRODUÇÃO

Estresse é toda condição, biótica ou abiótica, que impede as plantas de alcançarem seu potencial genético (TAIZ et al., 2017). Dentre os vários estresses abióticos, o déficit hídrico é considerado um dos mais restritivos, pois dificulta o crescimento e desenvolvimento das plantas, reduz o acúmulo de biomassa e diminui a produtividade das culturas (ANJUM et al., 2017; GARCÍA-CAPARRÓS et al., 2019). A baixa disponibilidade de água causa diversas alterações morfológicas e bioquímicas, no entanto a severidade depende do momento de ocorrência e da intensidade do estresse (ANJUM et al., 2017).

O déficit hídrico diminui o conteúdo de água nas folhas e reduz o turgor celular. Com essa desidratação, os íons ficam mais concentrados, podendo tornar-se citotóxicos. Além disso, o turgor celular está diretamente relacionado com a expansão e divisão celular, portanto a perda de turgor afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas (BHATLA; LAL, 2018; TAIZ et al., 2017).

Além disso, o estresse hídrico induz o fechamento estomático para diminuição das perdas de água por transpiração. No entanto, com a redução da abertura estomática há diminuição da condutância estomática e da absorção de carbono. Com isso a taxa fotossintética diminui e, conseqüentemente, há redução na produção de fotoassimilados e no acúmulo de biomassa (ASHRAF; HARRIS, 2013; BHATLA; LAL, 2018; TAIZ et al., 2017).

Sendo assim, o déficit hídrico é considerado um fator negativo que causa o decréscimo da produtividade das culturas. No entanto, para plantas medicinais e aromáticas, em que o interesse está na produção de metabólitos secundários, como o óleo essencial, e no potencial terapêutico, a situação é diferente (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015). Estudos com diferentes espécies medicinais têm demonstrado que a aplicação de déficit hídrico pode aumentar a produção de óleo essencial, além de melhorar suas atividades biológicas (EKREN et al., 2012; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015; SHABANKAREH et al., 2021).

A espécie *Ocimum basilicum*, popularmente conhecida como manjeriço, é uma planta medicinal usada como condimento e destinada para a extração de óleo essencial. Além de apresentar grande importância econômica (FAROUK; OMAR, 2020), essa espécie possui diversas atividades biológicas com aplicabilidade na medicina (SHAHRAJABIAN; SUN; CHENG, 2020). Os aspectos morfofisiológicos do manjeriço são afetados por diversos fatores abióticos, como salinidade e déficit hídrico (BRESSAN et al., 2020; FAROUK; OMAR, 2020; MANDOULAKANI; EYVAZPOUR; GHADIMZADEH, 2017; SOUSA et al., 2021).

Em condições de déficit hídrico, a altura, a área foliar e a produção de biomassa do manjeriço diminuem (LAZAREVIĆ et al., 2021; MULUGETA; RADÁCSI, 2022). Em contrapartida pode haver incremento ou diminuição no rendimento de óleo essencial (EKREN et al., 2012; FAROUK; OMAR, 2020; MULUGETA; RADÁCSI, 2022; SANTOS et al., 2016). Além da controvérsia em relação ao rendimento de óleo essencial, a influência do déficit hídrico sobre os constituintes desse óleo não foi completamente esclarecida.

Além disso, apesar de os estudos abordarem o impacto do déficit hídrico sobre as plantas medicinais, faltam dados a respeito da biossíntese desses produtos com relação à biomassa por planta (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015). Essa informação é importante visto que o déficit hídrico diminui a produção de biomassa por planta, portanto o aumento no rendimento de óleo essencial em relação à matéria seca pode não significar maior produção por planta.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a influência do déficit hídrico no desenvolvimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de manjerição.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos em ambiente protegido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa localizada no município de Viçosa – MG, situada nas coordenadas 20°45' S e 42°51' O a 679 m de altitude. A casa de vegetação possuía 56 m² e era composta por estrutura de aço galvanizado, cobertura plástica e laterais de tela antiafídica. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa - clima subtropical com verão quente e inverno seco (MARTINS et al., 2018).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos, correspondendo a 4 lâminas de irrigação, e 15 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. As lâminas de irrigação corresponderam a 25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração.

O manjerição foi cultivado em vasos com capacidade de 5 L, preenchidos com 1 kg de brita e 3,21 kg de substrato seco. O substrato foi preparado com solo, areia e esterco bovino curtido na proporção de 3:1:1, respectivamente. Também foi adicionado 4 g L⁻¹ de supersimples, 3 g L⁻¹ de 4:14:8 com micronutrientes e 1,5 g L⁻¹ de calcário dolomítico ao volume de substrato preparado. A caracterização físico-química do substrato está descrita na tabela 1.

Tabela 1 – Análise físico-química do substrato usado no cultivo do manjerição

Características do substrato	
Areia (%)	49,10
Silte (%)	8,30
Argila (%)	42,50
Classificação textural ¹	Argilo-arenosa
pH (H ₂ O)	6,34

P (mg dm ⁻³)	889,80
K (mg dm ⁻³)	1.647,00
Na (mg dm ⁻³)	224,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	8,69
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,50
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,60
SB (cmol _c dm ⁻³)	17,39
t (cmol _c dm ⁻³)	17,39
T (cmol _c dm ⁻³)	19,99
V (%)	87,00
m (%)	0
ISNa (%)	4,87
MO (dag kg ⁻¹)	4,37
P-Rem (mg L ⁻¹)	53,50
S (mg dm ⁻³)	468,40
B (mg dm ⁻³)	2,02
Cu (mg dm ⁻³)	2,92
Mn (mg dm ⁻³)	53,70
Fe (mg dm ⁻³)	63,60
Zn (mg dm ⁻³)	36,12

¹ - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. pH em água, KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu: Extrator Mehlich -1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0; SB - Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação por bases; m - Índice de saturação por alumínio; ISNa - Índice de saturação por sódio; MO - Matéria orgânica; P-Rem - Fósforo remanescente; S - Extrator: fosfato monocálcico em ácido acético; B - Extrator água quente.

Para determinação da capacidade de campo do substrato foi utilizada metodologia proposta por Kämpf, Takane e Siqueira (2006). Três vasos foram preenchidos com 1 kg de brita e 3,21 kg de substrato seco e posteriormente foram saturados com água. Após a drenagem natural dos vasos, os mesmos foram pesados e foram retiradas amostras de solo para a determinação da umidade na capacidade campo. A umidade média foi de 32,3% e o peso total dos vasos na capacidade de campo foi de 5,84 kg.

A lâmina necessária para elevar o substrato à capacidade de campo, correspondendo ao tratamento referente à 100% da evapotranspiração, foi obtida através do peso médio da pesagem de 3 vasos do respectivo tratamento e por meio da equação 1. Os demais tratamentos receberam volume de água proporcional ao que foi determinado no tratamento 100%.

$$M_{\text{água}} = M_{\text{cc}} - M_{\text{a}} \quad (1)$$

Em que: M_{água} – Massa de água aplicada (g); M_{cc} – Massa do vaso na capacidade de campo (g); e M_a – Massa atual do vaso (g).

A fim de corrigir o peso total dos vasos na capacidade de campo devido ao crescimento das plantas, a cada 7 dias após o início dos tratamentos, três amostras de solo do tratamento 100% eram coletadas para determinar a umidade atual do vaso. Sabendo o peso atual do vaso e a umidade atual do substrato era possível estimar o peso das plantas e corrigir o peso do vaso na capacidade de campo.

A irrigação foi realizada por meio de fitas gotejadoras Irritec com gotejadores espaçados em 0,30 m (Figura 1). Cada tratamento possuía uma linha de irrigação individual e o tempo de irrigação era determinado com base na vazão do sistema de irrigação. A vazão média do sistema foi de 0,99 L h⁻¹ e a uniformidade de distribuição foi de 96,46%. O turno de rega adotado foi de 2 dias até os 29 dias após o transplântio (DAT) das mudas e depois dessa data as irrigações foram realizadas diariamente.

Figura 1 - Sistema de irrigação por gotejamento para o cultivo de manjeriço



Fonte: elaborado pela autora (2022)

A sementeira foi realizada em 17 de setembro de 2021 em bandejas de poliestireno com 128 células preenchidas com substrato MecPlant. Foram utilizadas sementes de *Ocimum basilicum* ‘Gemini’ (ISLA) com 100% de pureza e 98% de germinação. A emergência ocorreu 4 dias após a sementeira (DAS) e o desbaste foi realizado aos 15 DAS. O transplântio das mudas para os vasos ocorreu aos 36 DAS, sendo distribuída uma muda por vaso. Aos 9 DAT os vasos foram elevados à capacidade de campo e o início da aplicação dos tratamentos ocorreu aos 14 DAT.

O controle de insetos foi realizado semanalmente com pulverização de bioinseticida azadiractina (Cursor, concentração 1,2%, Biocarb Indústria Química LTDA) na diluição de 10 mL L⁻¹, conforme recomendação do fabricante.

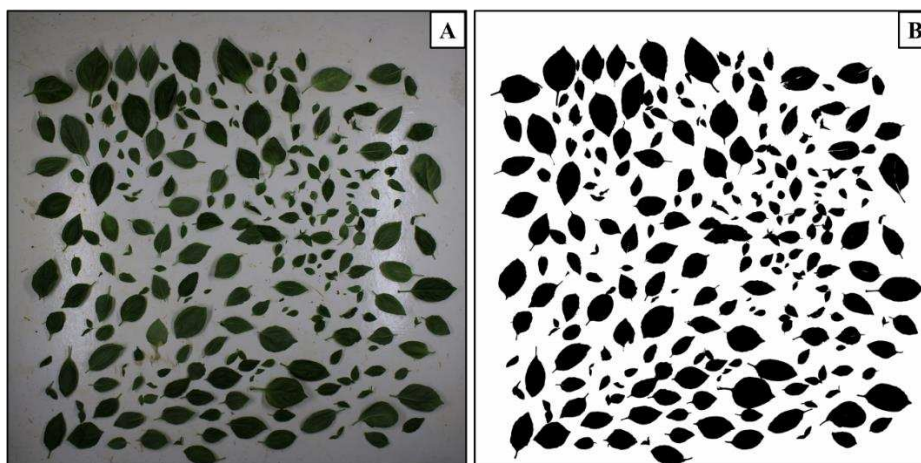
Semanalmente foi realizada avaliação de altura nas 15 repetições. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi determinado no início da aplicação dos tratamentos e no dia da colheita. Para determinação de altura utilizou-se fita métrica e para leitura do NDVI foi utilizado o GreenSeeker Handheld Crop Sensor a uma altura de 0,6 m da copa das plantas.

A colheita do manjeriço ocorreu aos 38 DAT, quando as plantas se encontravam no estágio de floração. Quatro vasos de cada tratamento foram escolhidos aleatoriamente e destinados para as avaliações de massa de matéria fresca e seca, do diâmetro de caule, da área foliar e do número de folhas. As folhas e inflorescências das demais plantas foram submetidas à secagem em secador de leito fixo à 50°C e velocidade de 1 m s⁻¹ até atingirem 10% de teor de água para posterior extração de óleo essencial.

A massa de matéria fresca de caule, de inflorescências e de folhas foi determinada com auxílio de balança analítica digital com resolução de 0,01 g. Para determinação da massa de matéria seca, o caule, as inflorescências, as folhas e a raiz foram submetidas a secagem à 65°C em estufa de circulação forçada de ar até atingirem massa constante. Com os dados de massa de matéria seca total (g) e volume de água aplicado (L) foi determinada a produtividade do uso da água (PUA, g L⁻¹).

O diâmetro de caule foi determinado na base do caule por meio de paquímetro digital. A determinação da área foliar foi realizada analisando-se fotografias das folhas (Figura 2) usando o pacote LeafArea versão 0.1.8 (KATABUCHI, 2015) no software R (R CORE TEAM, 2021). Para captura das imagens foi construído um estúdio fotográfico conforme descrito por Machado Junior et al. (2020).

Figura 2 – Imagem original (A) e após o processamento (B) para determinação da área foliar



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Também foi determinada a área foliar específica por meio da equação 2:

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (2)$$

em que: AFE – área foliar específica ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$); AF – área foliar ($\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$); e MSF – massa seca de folhas (g planta^{-1}).

A extração de óleo essencial foi realizada no Laboratório de Plantas Medicinais da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) a partir de folhas e inflorescências secas de manjeriço por hidrodestilação utilizando aparelho Clevenger adaptado a um balão de fundo redondo com capacidade de 2L (Figura 3). Em cada extração adicionou-se ao balão 50 g de folhas e inflorescências secas e 1 L de água destilada. Cada extração teve duração de 90 min, contados a partir da ebulição da água.

Figura 3 – Extração de óleo essencial de manjeriço pelo método da hidrodestilação



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Para determinar a composição do óleo essencial de manjeriço utilizou-se cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (GC-MS) modelo QP-PLUS-2010 (Shimadzu). Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida Rtx-5MS (30 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno) com hélio como gás de arraste. As temperaturas utilizadas no injetor e no detector foram 220°C e 300°C , respectivamente. A temperatura foi programada de 60 a 240°C , com acréscimos a uma taxa de 3°C por minuto. Uma quantidade de 10 mg de cada amostra foi diluída em 1 mL de etanol (grau HPLC), sendo injetado $1 \mu\text{L}$ da mistura (PEREIRA et al., 2021; PINHEIRO et al., 2015). Para determinação dos índices de retenção linear (IRL), uma mistura de alcanos lineares (C_9 a C_{26}) foi injetada no cromatógrafo nas mesmas condições usadas nas análises do óleo essencial. Os constituintes do óleo foram identificados pela comparação dos espectros de

massas obtidos com os existentes no banco de dados do equipamento (NIST08) e pela comparação dos valores de IRL relatados na literatura (ADAMS, 2017).

Os dados foram analisados por ajustes de equações de regressão e pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos parâmetros pelo teste t e no coeficiente de determinação (R^2). O coeficiente de determinação foi obtido por meio da equação 3:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (3)$$

em que: SQR – soma de quadrados do resíduo; SQT – soma de quadrados do tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nove dias após o início dos tratamentos (23 DAT) já era possível observar diferenças no desenvolvimento das plantas de manjericão, principalmente para o tratamento correspondente a lâmina de 25% da evapotranspiração (Figura 4). Nesse momento, a altura média mensurada nos tratamentos de 25% e 100% foram 29,87 e 35,73 cm, respectivamente. Lazarević et al. (2021), estudando o efeito da salinidade e do déficit hídrico em plantas de manjericão ‘Genovese’, observaram diferenças na altura das plantas após 14 dias do início dos tratamentos.

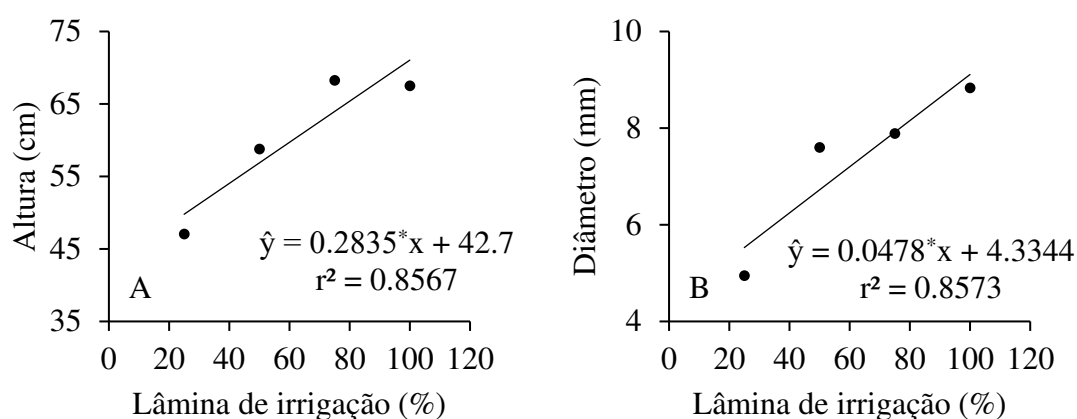
Figura 4 – Plantas de manjericão submetidas a diferentes lâminas de irrigação (23 DAT)



Fonte: elaborado pela autora (2022)

A altura e o diâmetro das plantas de manjeriço apresentaram comportamento linear crescente com o aumento da lâmina de irrigação (Figura 5). Para cada aumento de 1% na lâmina de irrigação há um incremento de 0,2835 cm e 0,0478 mm na altura e no diâmetro, respectivamente. A maior altura foi obtida na lâmina de 100% e foi de 71 cm, enquanto que o tratamento de 25% resultou em plantas com altura de 49,8 cm.

Figura 5 – Equações ajustadas de altura (A) e diâmetro de caule (B) de manjeriço em função da lâmina de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A aplicação de lâminas de 25% e 50% resultaram em plantas menores que o tratamento controle (100%) (Tabela 2). Ekren et al. (2012) também não observaram diferença na altura quando as plantas de manjeriço roxo foram irrigadas com lâmina de 75%. O diâmetro foi menor que o tratamento controle nas lâminas de 25%, 50% e 75%. Ao reduzir a lâmina para 25% a altura diminuiu 30% e o diâmetro 44%.

Tabela 2 – Valores médios de altura e diâmetro de caule de manjeriço em função da lâmina de irrigação

Lâmina (%)	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)
25	47,06*	4,95*
50	58,80*	7,60*
75	68,26	7,89*
100	67,53	8,83

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (100%) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

O déficit hídrico afeta praticamente todos os processos nas plantas, pois a água está envolvida em todas as estruturas e processos celulares. Com a baixa quantidade de água disponível, o conteúdo de água nas folhas diminui e há perda de turgor celular. Essa

redução de turgor interfere na expansão celular, fator diretamente relacionado com o crescimento da planta (BHATLA; LAL, 2018). Além disso, o déficit hídrico induz a produção de espécies reativas de oxigênio que causam estresse oxidativo e prejudicam o desenvolvimento das plantas (YADAV et al., 2021). Por isso observou-se plantas menores e com caule mais fino nos tratamentos com maior déficit.

No momento da colheita do manjeriço (38 DAT) foram observadas diferenças na biomassa da parte aérea e no sistema radicular das plantas (Figura 6). Para o tratamento com lâmina de 25%, observou-se que as plantas estavam menores e apresentavam sinais de murcha. Além disso, o comprimento e volume radicular também estavam menores que o tratamento controle (100%).

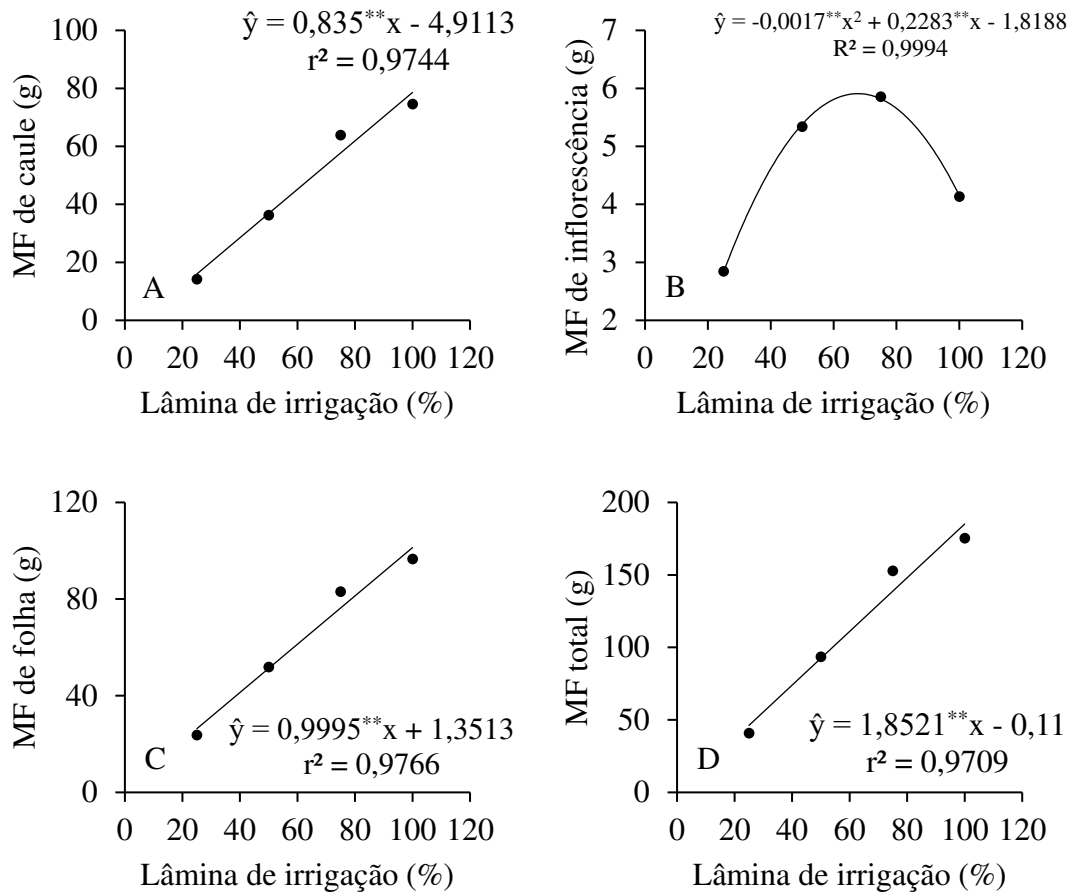
Figura 6 – Parte aérea e sistema radicular de plantas de manjeriço submetidas a diferentes lâminas de irrigação (38 DAT)



Fonte: elaborado pela autora (2022)

A massa de matéria fresca de caule, das folhas e total aumentaram linearmente com o aumento da lâmina de irrigação (Figura 7). Para a massa de matéria fresca total, a cada 1% de incremento na lâmina de irrigação o aumento na massa é de 1,8521 g. Entre a massa de matéria fresca de caule e folhas, o componente mais sensível à lâmina de irrigação foram as folhas, pois o aumento de 1% na lâmina de irrigação resulta em 0,99 g a mais de folhas, enquanto que a variação na massa de caule é de 0,83 g. Ao reduzir a lâmina de irrigação de 100% para 25% a massa de matéria fresca de caule, de folhas e total reduziram aproximadamente 80%, 74% e 75%, respectivamente. A massa de matéria fresca de inflorescência apresentou comportamento quadrático com ponto de máximo na lâmina de 67%. No ponto de máximo, a massa de matéria fresca de inflorescência é de 5,84 g.

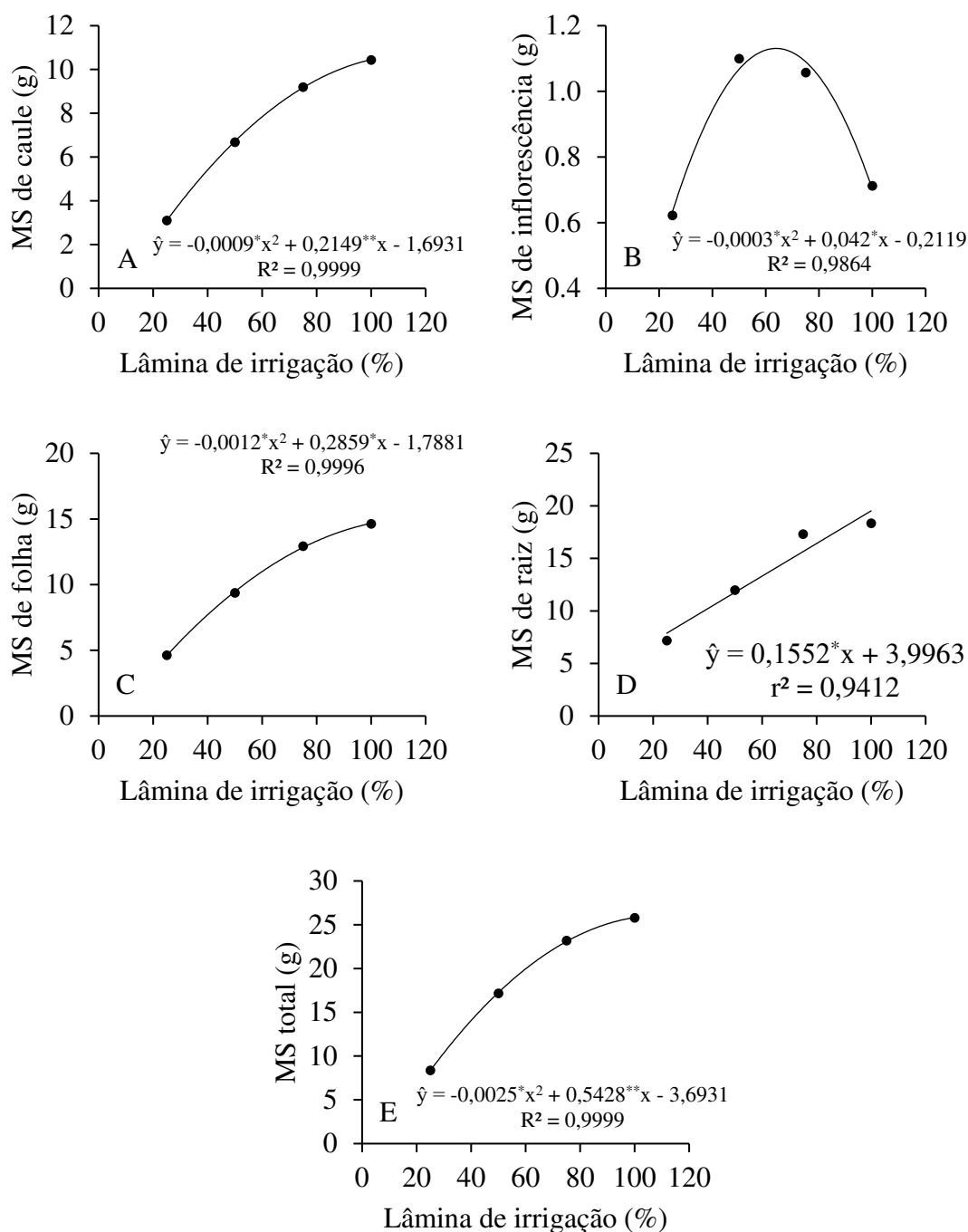
Figura 7 – Equações ajustadas de massa de matéria fresca de caule (A), de inflorescência (B), de folha (C) e total (D) de manjerição em função da lâmina de irrigação



** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A massa de matéria seca de raiz aumentou linearmente com o aumento na lâmina de irrigação, sendo que para cada aumento de 1% na lâmina de irrigação o incremento na massa seca de raiz é de 0,1552 g (Figura 8). A massa de matéria seca de caule, de inflorescência, de folhas e total apresentaram comportamento quadrático. Para massa de matéria seca de caule, de folhas e total os maiores valores foram observados na lâmina de 100%. No caso da massa de matéria seca de inflorescência, o ponto de máximo ocorre em 63,88%. Nesse ponto a massa de matéria seca de inflorescência é de 1,13 g.

Figura 8 – Equações ajustadas de massa de matéria seca de caule (A), de inflorescência (B), de folha (C), de raiz (D) e total (E) de manjerição em função da lâmina de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A massa de matéria fresca e seca de inflorescência nos tratamentos com déficit não diferiram do tratamento controle e apresentaram médias de 4,55 g e 0,87 g, respectivamente (Tabela 3). A massa de matéria fresca de caule, de folhas e total foram menores que o tratamento controle a partir da lâmina de 75%. A massa de matéria seca

de caule, de folhas e total foram menores que o tratamento controle a partir da lâmina de 50%. No caso da massa de matéria seca de raiz, apenas o tratamento com lâmina de 25% diferiu do tratamento controle, apresentando redução de aproximadamente 61%.

Tabela 3 – Valores médios de massa fresca de caule (MFC, g), massa fresca de inflorescência (MFI, g), massa fresca de folha (MFF, g), massa fresca total (MFT, g), massa seca de caule (MSC, g), massa seca de inflorescência (MSI, g), massa seca de folha (MSF, g), massa seca de raiz (MSR, g) e massa seca total (MST, g) de manjeriço em função da lâmina de irrigação (%)

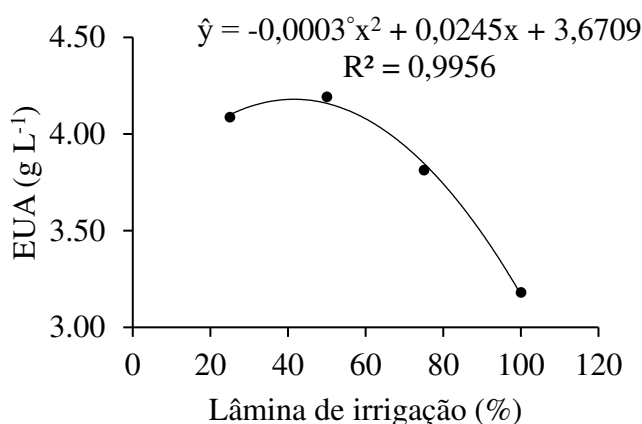
Lâmina	MFC	MFI	MFF	MFT	MSC	MSI	MSF	MST	MSR
25	14,23*	2,85	23,73*	40,81*	3,10*	0,62	4,63*	8,36*	7,17*
50	36,33*	5,34	51,85*	93,53*	6,68*	1,10	9,37*	17,15*	11,98
75	63,90*	5,86	83,07*	152,84*	9,20	1,06	12,92	23,18	17,30
100	74,63	4,14	96,61	175,38	10,44	0,71	14,63	25,78	18,33

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (100%) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

As reduções na biomassa do manjeriço estão relacionadas com os efeitos do déficit hídrico sobre a fotossíntese. O déficit hídrico estimula a biossíntese de ácido abscísico (ABA) que promove o fechamento estomático. Esse mecanismo é usado para minimizar as perdas de água por transpiração, porém a diminuição da abertura dos estômatos reduz a condutância estomática e a absorção de CO₂, o que causa declínio na taxa fotossintética (BHATLA; LAL, 2018; TAIZ et al., 2017). Essa redução da taxa fotossintética diminui a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, o acúmulo de biomassa nas plantas. Além disso, com a fixação de carbono reduzida, o excesso de energia luminosa pode acarretar o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e danificar as células foliares (BHATLA; LAL, 2018).

A eficiência no uso da água (EUA) apresentou comportamento quadrático com ponto de máximo na lâmina de 40,83%, em que a EUA foi de 4,17 g L⁻¹ (Figura 9). Ao aumentar a lâmina para 100% a EUA diminui para 3,12 g L⁻¹.

Figura 9 – Equação ajustada da eficiência no uso da água (EUA) de manjericão em função da lâmina de irrigação



* significativo pelo teste t à 10% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022)

A eficiência no uso da água foi maior nos tratamentos que receberam lâmina de 25% e 50% ao comparar com o tratamento controle. Reduzir a lâmina para 25% aumenta a eficiência no uso da água em 32,79% (Tabela 4). Para coentro, a maior eficiência no uso da água foi observada para a lâmina de 27 mm e dose de nitrogênio de 105 kg ha⁻¹ (ANGELI et al., 2016). Em contrapartida, Ekren et al. (2012) não observaram diferenças na eficiência no uso da água para manjericão roxo submetido a diferentes níveis de irrigação.

Tabela 4 – Valores médios de eficiência no uso da água de manjericão em função da lâmina de irrigação

	Lâmina de irrigação (%)			
	25	50	75	100
EUA (g L⁻¹)	4,09*	4,19*	3,81	3,08

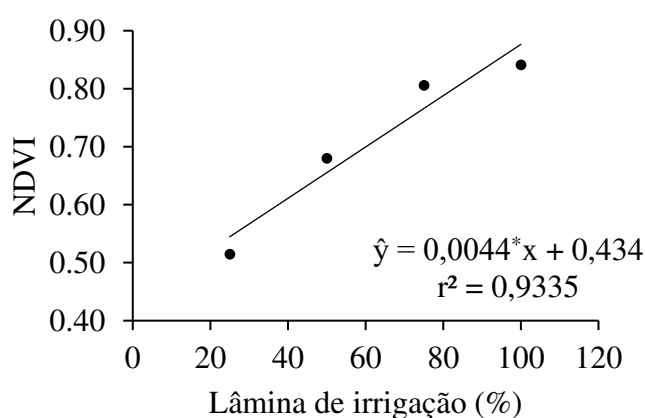
Médias seguidas por * na linha diferem do tratamento controle (100%) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Quando as plantas estão em ambientes em que a água não é um fator limitante, seus estômatos permanecem abertos. Nessas condições há elevada taxa transpiratória, no entanto isso é compensado por produtos da fotossíntese que são essenciais para o crescimento. Em condições de déficit hídrico, para diminuir a transpiração e evitar a desidratação, as fendas estomáticas se abrem menos ou permanecem fechadas (TAIZ et al., 2017). Nesse caso, a assimilação de carbono ocorre apenas nos momentos em que o déficit é menor, assim há menor perda de água para cada molécula de carbono fixado, o

que aumenta a eficiência no uso da água (BLOCH; HOFFMANN; MÄRLÄNDER, 2006). Isso justifica os maiores valores observados para as lâminas de 25% e 50%.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) apresentou comportamento linear crescente, sendo que 1% de aumento na lâmina de irrigação aumenta o NDVI em 0,0044. A redução da lâmina de irrigação para 25% provocou decréscimo de 38% no NDVI (Figura 10).

Figura 10 – Equação ajustadas do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de manjerição em função da lâmina de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

Todos os tratamentos apresentaram NDVI menores que o tratamento controle (Tabela 5). Lazarević et al. (2021) também observaram reduções no NDVI, sendo as maiores diferenças relatadas 21 dias após o início dos tratamentos. Portanto, a severidade e a duração do estresse hídrico influenciam no NDVI.

Tabela 5 – Valores médios de NDVI de manjerição em função da lâmina de irrigação

	Lâmina de irrigação (%)			
	25	50	75	100
NDVI	0,51*	0,68*	0,80*	0,84

Médias seguidas por * na linha diferem do tratamento controle (100%) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

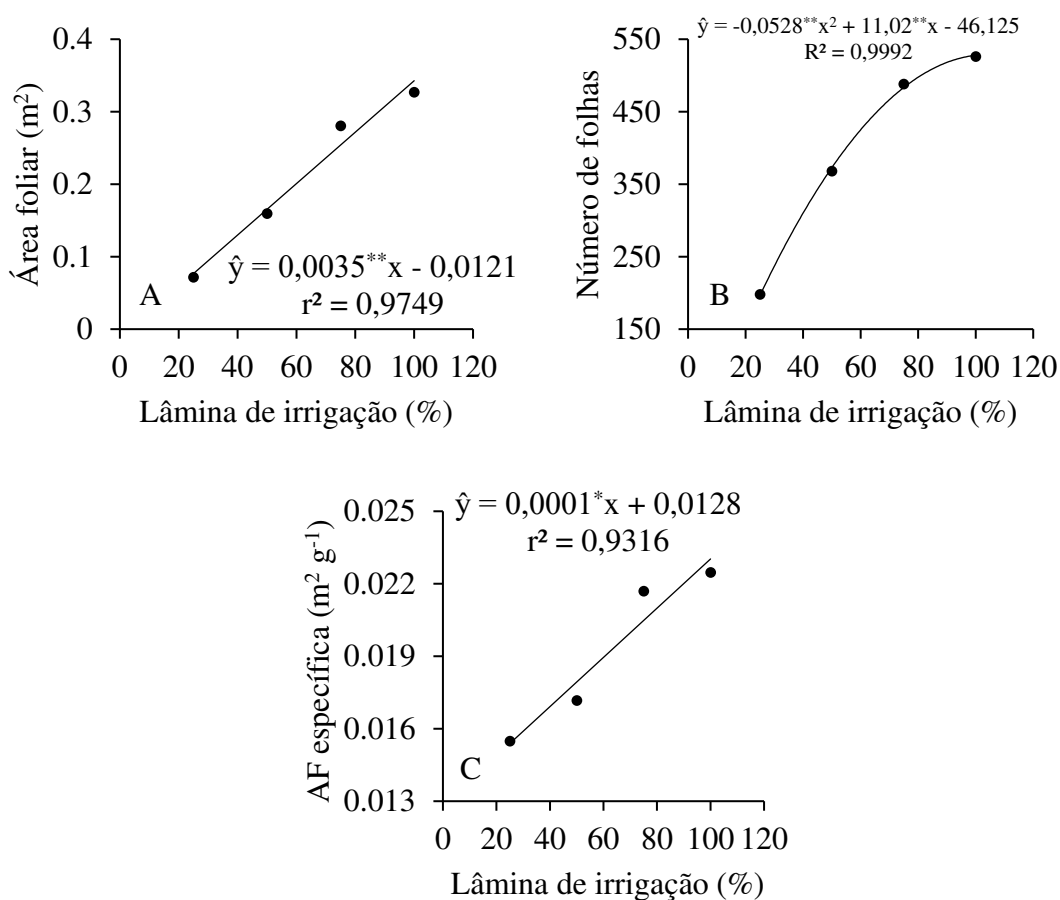
O NDVI está diretamente relacionado com a biomassa fresca das plantas e com o conteúdo de clorofila das folhas (LAZAREVIĆ et al., 2021; SOUSA et al., 2015). Portanto, quanto menores os valores de NDVI menos pigmentos fotossintéticos há nas folhas (SOUSA et al., 2015). O déficit hídrico causa danos aos pigmentos fotossintéticos e à membrana dos tilacoides, o que reduz a capacidade de absorção de energia luminosa

pelos fotossistemas e a taxa fotossintética. Conseqüentemente, o acúmulo de biomassa em plantas submetidas a estresse diminui (ASHRAF; HARRIS, 2013).

Dessa forma, os maiores valores de NDVI observados no tratamento controle se devem a maior quantidade de biomassa das plantas de manjeriço, além de as plantas, possivelmente, apresentarem maior conteúdo de clorofila nas folhas. Além disso, devido as diferenças observadas entre os tratamentos, o NDVI pode ser usado para identificação do estresse hídrico em plantas de manjeriço.

A área foliar e a área foliar específica aumentaram linearmente com o aumento da lâmina de irrigação (Figura 11). Diminuir a lâmina de irrigação para 25% provoca decréscimo de 78% e 33% na área foliar e na área foliar específica, respectivamente. O número de folhas apresentou comportamento quadrático e o maior valor foi obtido na lâmina de 100%, correspondendo a aproximadamente 528 folhas. Ao reduzir a lâmina de irrigação para 25%, o número de folhas diminuiu para 196.

Figura 11 – Equações ajustadas de área foliar (A), número de folhas (B) e área foliar específica (C) de manjeriço em função da lâmina de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

A área foliar foi maior no tratamento controle e apresentou valor 4,6 vezes maior que o tratamento com maior déficit (Tabela 6). O número de folhas e a área foliar específica foram menores nos tratamentos de 25% e 50% ao comparar com o tratamento controle. A diminuição nesses parâmetros em condições de déficit hídrico já foi relatada para outras espécies do gênero *Ocimum* (LAZAREVIĆ et al., 2021; SANTOS et al., 2016).

Tabela 6 – Valores médios de área foliar, número de folhas e área foliar específica de manjerição em função da lâmina de irrigação

Lâmina (%)	Área foliar (m ²)	Número de folhas	Área foliar específica (m ² g ⁻¹)
25	0,07*	198,00*	0,0155*
50	0,15*	368,00*	0,0172*
75	0,28*	488,25	0,0217
100	0,32	526,25	0,0225

Médias seguidas por * na coluna diferem do tratamento controle (100%) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

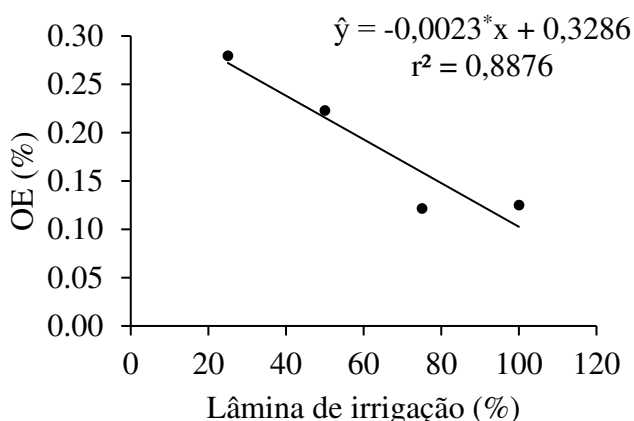
A redução na área foliar e no número de folhas das plantas de manjerição submetidas a estresse hídrico está associada a perda de turgor celular. Com a perda de turgor celular há diminuição da expansão e divisão celular. Além disso, o déficit hídrico pode acarretar maior senescência foliar. Esses fatores combinados resultam em menor área foliar e número de folhas. A diminuição da área foliar também é considerada um mecanismo para evitar a desidratação das plantas em condições de estresse através da redução da transpiração. No entanto, isso reduz a taxa fotossintética das plantas o que leva ao menor acúmulo de biomassa (ANJUM et al., 2017; SHAO et al., 2008).

A área foliar específica representa a razão da superfície da folha por sua massa seca, sendo que, a área foliar está relacionada com a morfologia da planta e a massa seca está associada a estrutura foliar, como número e tamanho das células do mesofilo (NASCIMENTO; NASCIMENTO; GONÇALVES, 2019). Dessa forma, a redução dos valores de área foliar específica nos tratamentos com lâmina de 25% e 50% indicam o espessamento das folhas, ou seja, aumento do número de células do mesofilo (LIU; STÜTZEL, 2004; NASCIMENTO; NASCIMENTO; GONÇALVES, 2019). Esse aumento na espessura foliar pode contribuir para a redução de processos oxidativos ao diminuir a radiação excessiva em organelas celulares, como os cloroplastos (MELO et al., 2017). Além de ser um mecanismo adaptativo para redução da transpiração (LIU; STÜTZEL, 2004).

A área foliar específica também está negativamente correlacionada com a eficiência no uso da água. Portanto, quanto menor a área foliar específica, maior a eficiência no uso da água (LIU; STÜTZEL, 2004). Essa afirmação foi comprovada para o manjeriço uma vez que os tratamentos que receberam as lâminas de 25% e 50% apresentaram os maiores valores de eficiência no uso da água (Tabela 4) e os menores valores de área foliar específica. Como a água é um fator limitante, a planta ajustou o aparato fotossintético para reduzir as perdas por transpiração, sendo assim mais eficiente.

O rendimento de óleo essencial decresceu linearmente com o aumento da lâmina de irrigação (Figura 12). Para a lâmina de 25% o rendimento de óleo essencial foi de 0,27%. Em contrapartida, a lâmina de irrigação de 100% resultou em rendimento de óleo essencial de 0,09%. Esse comportamento também foi observado por outros autores (EKREN et al., 2012; FAROUK; OMAR, 2020; SANTOS et al., 2016).

Figura 12 – Equação ajustada do rendimento de óleo essencial de manjeriço (OE) em função da lâmina de irrigação



* significativo pelo teste t à 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

Ao comparar os tratamentos com déficit hídrico com o tratamento controle pelo teste de Dunnett, observou-se que não houve diferença no rendimento de óleo essencial (Tabela 7). O rendimento médio de todos os tratamentos foi de 0,18%.

Tabela 7 – Valores médios do rendimento de óleo essencial em função da lâmina de irrigação

	Lâmina de irrigação (%)			
	25	50	75	100
Rendimento de óleo essencial (%)	0,27	0,22	0,12	0,12

Médias seguidas por * na linha diferem do tratamento controle (100%) pelo teste de Dunnett a 5% de significância.

Considerando os valores de massa de matéria seca de inflorescência, de folhas e o rendimento de óleo essencial obtidos por meio das equações ajustadas de regressão, observou-se que os tratamentos com maior rendimento de óleo essencial por planta foram as lâminas de 50% e 75% (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores médios da massa de matéria seca de folha e inflorescência (MSFI) e rendimento de óleo essencial por planta em função lâmina de irrigação

Lâmina de irrigação (%)	MSFI (g planta ⁻¹)	Óleo essencial (g planta ⁻¹)
25	5,26	0,0143
50	10,65	0,0227
75	14,16	0,0221
100	15,79	0,0156

O tratamento com lâmina de irrigação de 25% apresentou o menor rendimento de óleo essencial por planta. Isso porque, apesar de apresentar o maior rendimento em relação a matéria seca, a produção de massa seca de inflorescência e folhas apresentou decréscimo acentuado. Portanto, o aumento no rendimento de óleo essencial em relação a matéria seca não compensou a redução na produção de biomassa. Por outro lado, no tratamento com lâmina de 100%, a elevada produção de inflorescência e folha não compensou a redução no rendimento de óleo essencial em relação a matéria seca.

Plantas submetidas a estresse hídrico reduzem a abertura estomática e a fixação de carbono, o que gera um excesso de energia. Isso pode induzir o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e danificar as células (BHATLA; LAL, 2018). Para evitar esses danos, vários mecanismos são usados para dissipar a energia excedente. Como a biossíntese de metabólitos secundários aumenta em condições de estresse, ela pode ser considerada um mecanismo adicional de dissipação de energia (GARCÍA-CAPARRÓS et al., 2019; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2015). Além disso, os terpenos, constituintes do óleo essencial, possuem atividade antioxidante. Dessa maneira, o aumento de óleo essencial é um mecanismo antioxidante contra espécies reativas de oxigênio (LORETO et al., 2013; YADAV et al., 2021). Portanto, o aumento no rendimento de óleo essencial das plantas de manjeriço pode ser resultado da tentativa de dissipação de energia excedente e desintoxicação de espécies reativas de oxigênio.

Além de influenciar no rendimento de óleo essencial de manjeriço, o déficit hídrico alterou sua composição química (Tabela 9). Para o tratamento com lâmina de 25% foram identificados 16 compostos, enquanto que no tratamento que recebeu lâmina de 100% identificaram-se 21 compostos. Os compostos α -copaeno e β -bisaboleno

apareceram apenas no tratamento com lâmina de 100%. Em contrapartida, o espatulenol foi identificado apenas no tratamento de 25%.

Tabela 9 – Composição química (%) do óleo essencial de manjeriço 'Gemini' em função da lâmina de irrigação

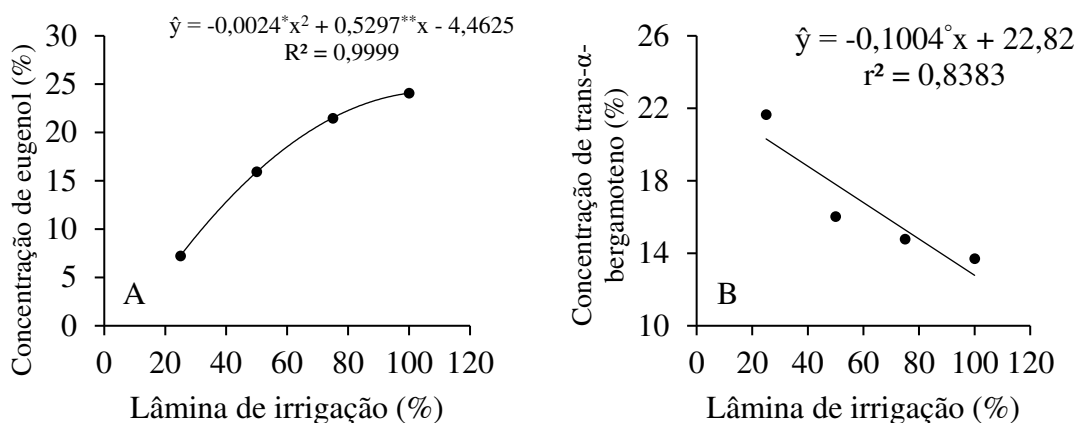
Constituintes químicos	IRL	Lâmina de irrigação (%)			
		25	50	75	100
n-Decano	1000	0,30	0,10	0,22	0,13
1,8-Cineol	1026	1,24	1,19	0,81	0,87
cis-Sabineno hidratado	1065	0,02	—	—	0,21
Linalol	1095	23,02	37,30	35,39	30,50
Terpinen-4-ol	1174	1,39	1,91	2,04	2,88
α -Terpineol	1186	0,79	0,93	0,63	1,10
Octanol acetato	1211	0,17	—	—	0,06
Eugenol	1356	7,24	15,95	21,48	24,08
α -Copaeno	1374	—	—	—	0,10
trans- α -Bergamoteno	1432	21,66	16,03	14,79	13,71
Aromadendreno	1439	—	0,05	—	0,06
α -Humuleno	1452	0,26	0,19	0,06	0,23
trans- β -Farneseno	1454	—	0,31	0,21	0,51
cis-Muurolo-4(14),5-dieno	1465	—	—	0,25	0,50
Germacreno D	1480	4,15	3,08	2,96	3,53
Biciclogermacreno	1500	1,04	0,66	0,89	1,08
β -Bisaboleno	1505	—	—	—	0,05
γ -Cadineno	1513	6,31	4,10	3,99	4,45
Espatulenol	1577	3,85	—	—	—
Cubenol	1618	1,55	1,19	0,96	1,20
τ -Cadinol	1638	22,13	14,91	14,11	12,68
β -Eudesmol	1649	—	0,09	—	0,04
Monoterpenos		34,17	57,38	60,57	59,83
Sesquiterpenos		60,95	40,61	38,22	38,14
Total identificado		95,12	97,99	98,79	97,97

IRL – índice de retenção linear.

Os compostos majoritários do óleo essencial de manjeriço 'Gemini' foram linalol, eugenol, trans- α -bergamoteno e τ -cadinol. No entanto, a concentração de cada um desses constituintes foi influenciada pela lâmina de irrigação. A concentração de eugenol no óleo essencial apresentou comportamento quadrático e o maior valor foi observado para a lâmina de 100% (Figura 13). A concentração de trans- α -bergamoteno decresceu linearmente com o incremento da lâmina de irrigação. Ao aumentar a lâmina de 25% para 100% a concentração de trans- α -bergamoteno diminuiu de 20,31% para 12,78%. Os constituintes linalol e τ -cadinol não apresentaram ajuste satisfatório para os modelos testados. O linalol apresentou a maior concentração para a lâmina de 50% e a menor para

a lâmina de 25%. Já o τ -cadinol apresentou o maior valor na lâmina de 25% e o menor na lâmina de 100%.

Figura 13 – Equações ajustadas da concentração de eugenol (A) e trans- α -bergamoteno (B) no óleo essencial de manjeriço em função da lâmina de irrigação



$^\circ$ significativo pelo teste t à 10% de probabilidade, * significativo pelo teste t à 5% de probabilidade, ** significativo pelo teste t à 1% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora (2022).

Mandoulakani, Eyvazpour e Ghadimzadeh (2017), avaliando o déficit hídrico em *Ocimum basilicum* cv. keshkeni luvellou, observaram o mesmo comportamento para eugenol e α -bergamoteno. Com o aumento da lâmina de irrigação houve aumento no eugenol e diminuição de α -bergamoteno. Os autores não observaram diferenças na concentração de linalol em função da lâmina aplicada.

O aumento na lâmina de irrigação promoveu a diminuição de compostos sesquiterpênicos. No tratamento de 25% os sesquiterpenos corresponderam a 60,95% da composição do óleo essencial. Em contrapartida, no tratamento com lâmina de 100%, os sesquiterpenos reduziram para 38,14%. Esse mesmo comportamento foi observado para genótipos de lavanda sob déficit hídrico (SHABANKAREH et al., 2021).

Os principais precursores dos terpenos são o dimetilalil difosfato (DMAPP) e o isopentenil difosfato (IPP). Esses compostos são sintetizados principalmente por duas vias metabólicas: rota do ácido mevalônico (MVA) e via do metileritritol fosfato (MEP), que ocorrem no citosol e nos plastídios, respectivamente. A rota MVA é responsável pela síntese de sesquiterpenos e triterpenos, enquanto que a rota MEP sintetiza a maioria dos monoterpênicos, diterpenos e tetraterpenos (BHATLA; LAL, 2018). Como a diminuição da lâmina aplicada resultou em óleo essencial com maior concentração de sesquiterpenos, pode-se inferir que o déficit hídrico induziu a rota do ácido mevalônico.

Morshedloo et al. (2017), ao analisarem a composição do óleo essencial de duas subespécies de orégano e a expressão gênica das vias MVA e MEP, concluíram que as subespécies desenvolveram vias diferentes para produção de óleo essencial sob déficit hídrico. Sendo assim, no caso do manjeriço ‘Gemini’, pode ser que a via MVA prevaleça devido a expressão dos genes das vias.

Além disso, as alterações observadas na composição química do óleo essencial de manjeriço devido ao déficit hídrico podem ter sido ocasionadas por mudanças na expressão de genes que atuam na formação dos constituintes do óleo essencial (MANDOULAKANI; EYVAZPOUR; GHADIMZADEH, 2017).

4 CONCLUSÕES

O déficit hídrico afetou negativamente o desenvolvimento das plantas de manjeriço, no entanto as plantas foram mais eficientes no uso da água nas lâminas de 25% e 50%.

Com base nos resultados de massa fresca e seca, recomenda-se a lâmina de 100% para comercialização de produto fresco, enquanto que para comercialização de produto seco indica-se a lâmina de 75%.

O déficit hídrico estimulou a produção de óleo essencial e as lâminas de 50% e 75% apresentaram maior rendimento por planta.

A lâmina de 25% diminuiu o número de compostos identificados no óleo essencial. De modo geral, os compostos majoritários do óleo essencial foram linalol, eugenol, trans- α -bergamoteno e τ -cadinol, mas a concentração desses constituintes foi influenciada pelo déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4.1 ed. [s.l.] Allured Publishing Corporation, 2017.

ANGELI, K. P. et al. Yield components and water use efficiency in coriander under irrigation and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 415–420, 2016.

ANJUM, S. A. et al. Growth and development responses of crop plants under drought stress: a review. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 104, n. 3, p. 267–276, 2017.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163–190, 2013.

BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapura: Springer, 2018.

BLOCH, D.; HOFFMANN, C. M.; MÄRLÄNDER, B. Impact of water supply on photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet genotypes. **European Journal of Agronomy**, v. 24, n. 3, p. 218–225, 2006.

BRESSAN, D. F. et al. Impacts on growth, water relations and nutritional composition of basil plants submitted to irrigation with saline and wastewater. **SN Applied Sciences**, v. 2, p. 1–11, 2020.

EKREN, S. et al. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agricultural Water Management**, v. 109, p. 155–161, 2012.

FAROUK, S.; OMAR, M. M. Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 3, p. 1307–1331, 2020.

GARCÍA-CAPARRÓS, P. et al. Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. **Water**, v. 11, n. 3, p. 1–12, 2019.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. Brasília: LK Editora, 2006.

KATABUCHI, M. LeafArea: an R package for rapid digital image analysis of leaf area. **Ecological Research**, v. 30, n. 6, p. 1073–1077, 2015.

KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. New insights explain that drought stress enhances the quality of spice and medicinal plants: potential applications. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 121–131, 2015.

LAZAREVIĆ, B. et al. Application of phenotyping methods in detection of drought and salinity stress in basil (*Ocimum basilicum* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. February, p. 1–13, 2021.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 102, n. 1, p. 15–27, 2004.

LORETO, F. et al. Volatile isoprenoids and their importance for protection against environmental constraints in the Mediterranean area. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 99–106, 2013.

MACHADO JUNIOR, R. et al. Digital phenotyping of winter squash fruits. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, n. 3, p. 1–12, 2020.

MANDOULAKANI, B. A.; EYVAZPOUR, E.; GHADIMZADEH, M. The effect of drought stress on the expression of key genes involved in the biosynthesis of phenylpropanoids and essential oil components in basil (*Ocimum basilicum* L.). **Phytochemistry**, v. 139, p. 1–7, 2017.

- MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 129–156, 2018.
- MELO, L. A. et al. Estaquia e efeito da deficiência hídrica ou inundação sobre características morfoanatômicas de *Cestrum axillare* Vell. **Ciencia Florestal**, v. 27, n. 1, p. 325–337, 2017.
- MORSHEDLOO, M. R. et al. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 111, p. 119–128, 2017.
- MULUGETA, S. M.; RADÁCSI, P. Influence of drought stress on growth and essential oil yield of *Ocimum* species. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 1–12, 2022.
- NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. B.; GONÇALVES, J. F. C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciencia Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1019–1032, 2019.
- PEREIRA, U. A. et al. Analysis of Essential Oil from Brazilian Mentha x piperita L. Commercial Samples. **Revista Virtual de Química**, p. 1–6, 2021.
- PINHEIRO, P. F. et al. Phytotoxicity and cytotoxicity of essential oil from leaves of *Plectranthus amboinicus*, carvacrol, and thymol in plant bioassays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 8981–8990, 2015.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing** ViennaR Foundation for Statistical Computing, , 2021.
- SANTOS, M. S. et al. Effects of water deficit on morphophysiology, productivity and chemical composition of *Ocimum africanum* Lour (Lamiaceae). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 21, p. 1924–1934, 2016.
- SHABANKAREH, H. G. et al. Physiological response and secondary metabolites of three lavender genotypes under water deficit. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–22, 2021.
- SHAHRAJABIAN, M. H.; SUN, W.; CHENG, Q. Chemical components and pharmacological benefits of basil (*Ocimum basilicum*): a review. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 1961–1970, 2020.
- SHAO, H.-B. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **C. R. Biologies**, v. 331, p. 215–225, 2008.
- SOUSA, C. A. F. et al. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. December, p. 660–672, 2015.
- SOUSA, L. V. et al. Salinity stress and plant growth regulator in basil: effects on plant and soil. **Dyna**, v. 88, p. 75–83, 2021.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

YADAV, B. et al. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. **Gene Reports**, v. 23, p. 101040, 2021.

3 CONCLUSÕES GERAIS

O manjeriço ‘Gemini’ é tolerante a salinidade até a concentração de 25 mM de NaCl. Porém, o aumento da concentração salina na água de irrigação afeta a atividade fotossintética das plantas e pode comprometer seu desenvolvimento.

A salinidade e o déficit hídrico estimulam a produção de óleo essencial de manjeriço ‘Gemini’, aumentando o rendimento em relação a matéria seca de folhas e inflorescências.

Os compostos majoritários do óleo essencial de manjeriço ‘Gemini’ são linalol, eugenol, trans- α -bergamoteno e τ -cadinol, porém suas concentrações são influenciadas pelo aumento da salinidade e da lâmina de irrigação.

O manjeriço ‘Gemini’ é alternativa de cultivo interessante para regiões que enfrentam problemas de salinidade e escassez hídrica, principalmente quando destinado para extração de óleo essencial.