

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PRODUÇÃO, QUALIDADE NUTRICIONAL E COMPOSTOS
BIOATIVOS DE MICROVERDES DE MANJERICÃO SOB
NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E
DENSIDADE DE SEMEADURA**

ELIENAY VINÍCIUS DA SILVA DUTRA

CRUZ DAS ALMAS – BA

Fevereiro de 2026

**PRODUÇÃO, QUALIDADE NUTRICIONAL E COMPOSTOS
BIOATIVOS DE MICROVERDES DE MANJERICÃO SOB NÍVEIS DE
CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E DENSIDADE DE
SEMEADURA**

Elienay Vinícius da Silva Dutra

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2026

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para o cumprimento parcial das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola (Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

Orientador: Prof. Dr. Mairton Gomes da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Toshik Iarley da Silva

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA

Fevereiro de 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

D978p

Dutra, Elienay Vinícius da Silva.

Produção, qualidade nutricional e compostos bioativos de microverdes de manjeriço sob níveis de concentração da solução nutritiva e densidade de sementeira / Elienay Vinícius da Silva Dutra._ Cruz das Almas, BA, 2026.

60f.; il.

(Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Mairton Gomes da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Toshik Iarley da Silva.

1.Manjeriço – Plantas medicinais – Cultivo.
2.Manjeriço – Hidroponia. 3.Segurança alimentar e nutricional – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.88

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).|

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO

**PRODUÇÃO, QUALIDADE NUTRICIONAL E COMPOSTOS
BIOATIVOS DE MICROVERDES DE MANJERICÃO SOB NÍVEIS DE
CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E DENSIDADE DE
SEMEADURA**

Comissão Examinadora da Defesa de Mestrado de
Elienay Vinicius da Silva Dutra

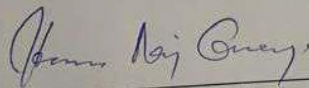
Aprovada em: 06 de fevereiro de 2026

Documento assinado digitalmente
gov.br MARTON GOMES DA SILVA
Data: 23/02/2026 16:58:25-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Mairton Gomes da Silva
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSEAMILTON SANTOS JUNIOR
Data: 23/02/2026 21:16:55-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
(Examinador Externo)



Prof. Dr. Hans Raj Gheyi
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Examinador Interno)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, a Deus por ter me concedido a vida, e à minha mãe, Marta da Silva, que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me incondicionalmente. Sem seu amor, força e incentivo, eu jamais teria chegado até aqui.

Ao meu pai, um verdadeiro guerreiro e exemplo de vitória e superação, minha eterna gratidão por me mostrar, a cada dia, o valor da persistência e do trabalho árduo.

À minha irmã, Eliza Nathalia, pelo carinho, cumplicidade e companhia em todos os momentos.

Aos meus amigos Gilvan “Ceguinho”, Caim, Johrdan e Pedro Sertão, pela presença constante em minha vida e por me ajudarem nos dias mais difíceis.

E, por fim, agradeço também a todos que duvidaram de mim — vocês me deram ainda mais emoção e motivação para vencer.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio fundamental e concessão da bolsa de estudo durante o mestrado.

Agradeço à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), pela oportunidade de realizar mais esta etapa acadêmica e pela estrutura fornecida ao longo da jornada.

Meus agradecimentos especiais ao meu orientador, professor Dr. Mairton Gomes da Silva, e ao meu coorientador, professor Dr. Toshik Iarley da Silva, pelo acompanhamento atento, orientações e conselhos ao longo de toda a pesquisa. A dedicação, disponibilidade e incentivo de ambos foram essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço ainda ao Grupo de Estudos GEFIV pelo apoio nas atividades de laboratório e análises realizadas, bem como a todos os professores, orientadores e coorientadores que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para minha formação acadêmica.

A todos que, de alguma forma, colaboraram para a construção deste trabalho, deixo meu mais sincero agradecimento.

A todos os colegas da Pós-Graduação e Graduação.

PRODUÇÃO, QUALIDADE NUTRICIONAL E COMPOSTOS BIOATIVOS DE MICROVERDES DE MANJERICÃO SOB NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E DENSIDADE DE SEMEADURA

RESUMO: A procura por alimentos saudáveis e sustentáveis incentiva o estudo de culturas como microverdes, que apresentam alta concentração de compostos bioativos e sabor superior às formas comercializadas tradicionalmente. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi quantificar a produtividade, a qualidade nutricional e os compostos bioativos em microverdes de manjericão ‘Limoncino’ (*Ocimum basilicum* L.) cultivados em hidroponia (NFT), sob diferentes densidades de sementeira (DS) e níveis de concentração da solução nutritiva (baseado na condutividade elétrica – CE). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, utilizando um esquema fatorial baseado na matriz Composto Central de Box. Os tratamentos consistiram de cinco níveis de CE (0,30 dS m⁻¹ – água; 0,55; 1,15; 1,75 e 2,00 dS m⁻¹ da solução nutritiva) e cinco DS (40, 48, 70, 91 e 100 g m⁻²), com ciclo de cultivo total de 10 dias após a sementeira. O crescimento (altura de plântulas – AP, massa fresca de plântulas – MFP e massa seca de plântulas – MSP), teores de compostos bioativos (clorofilas, carotenoides, flavonoides, antocianinas, fenólicos), solutos orgânicos e nutrientes essenciais (nitrogênio, nitrato, fósforo e potássio) foram avaliados. O aumento da CE e da DS influenciou positivamente o crescimento e a produção, sendo os maiores valores observados para CE entre 1,48 e 1,7 dS m⁻¹, associados à máxima DS (100 g m⁻²). Para qualidade nutricional, faixas intermediárias de CE (0,6 a 1,2 dS m⁻¹) garantiram baixos teores de nitrato e maior acúmulo de P e K. Os teores de compostos bioativos foram mais expressivos com CE mais baixas (0,30 a 0,55 dS m⁻¹) e menor DS (40 g m⁻²). Os resultados indicam que o manejo adequado da concentração da solução nutritiva e da densidade de sementeira permite seja o rendimento ou o valor funcional dos microverdes de manjericão.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum* L., qualidade nutricional, compostos bioativos, cultivo sem solo.

PRODUCTION, NUTRITIONAL QUALITY, AND BIOACTIVE COMPOUNDS OF BASIL MICROGREENS UNDER DIFFERENT NUTRIENT SOLUTION CONCENTRATION LEVELS AND SOWING DENSITIES

ABSTRACT: The search for healthy and sustainable foods has encouraged the study of crops such as microgreens, which exhibit high concentration of bioactive compounds and superior flavor compared to traditionally commercialized forms. In this context, the objective of this study was to quantify the production, nutritional quality, and bioactive compounds in 'Limoncino' basil microgreens (*Ocimum basilicum* L.) cultivated hydroponically (NFT) under different sowing densities (SD) and nutrient solution concentrations based on electrical conductivity (EC). The experiment was conducted in a randomized complete block design using a factorial arrangement structured according to a Central Composite Design matrix. Treatments consisted of five EC levels (0.30; 0.55; 1.15; 1.75 and 2 dS m⁻¹) and five SD levels (40, 48, 70, 91 and 100 g m⁻²), with a total cultivation cycle of 10 days after sowing. Growth parameters (seedling height – SH, seedling fresh mass – SFM, and seedling dry mass – SDM), levels of bioactive compounds (chlorophylls, carotenoids, flavonoids, anthocyanins, phenolics), organic solutes, and essential nutrients (N, NO₃⁻, P, and K) were evaluated. Increasing EC and SD had a positive influence on growth and production, with the highest values observed for EC between 1.5 and 1.7 dS m⁻¹, associated with the highest SD (100 g m⁻²). For nutritional quality, intermediate ranges of EC (0.6 to 1.2 dS m⁻¹) ensured low nitrate levels and greater accumulation of P and K. The levels of bioactive compounds were more expressive with lower ECs (0.3 to 0.6 dS m⁻¹) and reduced SD (40 g m⁻²). The results indicate that proper management of nutrient solution concentration and sowing density allows optimization of either yield or the functional value of basil microgreens.

Keywords: *Ocimum basilicum* L., nutritional quality, bioactive compounds, soilless cultivation.

SUMÁRIO

1	1. INTRODUÇÃO	9
2	2. HIPÓTESES	11
3	3. OBJETIVOS	11
4	3.1. Objetivo geral	11
5	3.2. Objetivos específicos.....	11
6	4. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
7	4.1. Microverdes: definição, histórico, mercado atual e potencial	
8	nutracêutico 13	
9	4.2. Técnicas de cultivo de microverdes.....	15
10	4.3. Influência da densidade de cultivo e da concentração da solução	
11	nutritiva sobre a qualidade do microverdes.....	21
12	5. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
13	5.1. Localização e caracterização do ambiente experimental	23
14	5.2. Delineamento experimental e tratamentos	24
15	5.3. Caracterização do sistema hidropônico.....	25
16	5.4. Preparo e manejo da solução nutritiva	25
17	5.5. Descrição e condução da cultura.....	26
18	5.6. Variáveis avaliadas	27
19	5.6.1. Crescimento e produção	27
20	5.6.2. Compostos bioativos	27
21	5.6.3. Solutos orgânicos.....	28
22	5.6.4. Solutos inorgânicos.....	30
23	6. RESULTADOS	31
24	6.1. Crescimento e produção de biomassa.....	31
25	6.2. Solutos orgânicos	33
26	6.3. Compostos bioativos	35
27	6.4. Solutos inorgânicos	37
28	7. DISCUSSÃO	39
29	8. CONCLUSÃO.....	47
30	9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

A intensificação da demanda global por alimentos nutritivos e sustentáveis impulsiona o estudo de microverdes, que são por definição plântulas jovens comestíveis colhidas entre 7 e 21 dias após a germinação, geralmente quando os cotilédones estão completamente expandidos e, em alguns casos, com o aparecimento das primeiras folhas verdadeiras, atingindo de 3 a 9 cm de altura (Di Gioia et al., 2017; Bhatt e Sharma, 2018; Xiao et al., 2019). Estes se destacam pelo ciclo produtivo curto e alta qualidade nutricional, exibindo concentrações de nutrientes, vitaminas, minerais e compostos bioativos, como antioxidantes, frequentemente superiores às encontradas em plantas adultas (Xiao et al., 2012; Kyriacou et al., 2022).

Essa riqueza nutricional resulta da intensa atividade metabólica e da rápida síntese de compostos secundários essenciais para a defesa e adaptação das plântulas em sua fase inicial (Kyriacou et al., 2022). A produção de microverdes, que visa tanto a obtenção de biomassa quanto a maximização de compostos bioativos, é realizada em diversos países, incluindo Estados Unidos, México, Canadá, União Européia e Brasil (Abaajeh et al., 2023). Devido à sua versatilidade em sabores, cores e texturas delicadas, são amplamente utilizados na alta gastronomia, adicionando valor a saladas, sopas, pães, pizzas e smoothies (Partap et al., 2023).

As principais espécies cultivadas como microverdes pertencem à famílias como Brassicaceae, Fabaceae, Malvaceae e Polygonaceae (Kyriacou et al., 2016; Samuolienė et al., 2019), mas essa versatilidade se estende também a família Lamiaceae, à qual pertence o manjericão (*Ocimum basilicum* L.).

Dentro da família Lamiaceae, diversas espécies também são populares para o cultivo de microverdes, incluindo, hortelã, chia e erva-cidreira, entre outras (Turner et al., 2020). As plantas da família Lamiaceae são notáveis por sua rica composição fitoquímica, incluindo compostos fenólicos, flavonoides e óleos essenciais, com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (Xiao et al., 2012; Zhao et al., 2020). O manjericão, em particular, destaca-se pelo alto teor de compostos bioativos que conferem benefícios significativo à saúde humana e indicam um notável potencial para uso farmacêutico (Romano et al., 2022; Dhama et al., 2023; Ciriello et al., 2023).

O sucesso produtivo dos microverdes é fortemente influenciado pelas condições de cultivo, destacando-se a densidade de semeadura (DS) e a concentração da solução nutritiva, mensurada pela condutividade elétrica (CE). O manejo da DS é uma técnica indispensável, pois, embora o adensamento seja natural para o cultivo de microverdes, um excesso pode levar a competição intraespecíficas por luz, água e nutrientes, resultando em queda de produtividade e favorecendo doenças (Sun et al., 2013). Além disso, a DS inadequada pode afetar negativamente a qualidade, como o teor de pigmentos, vitaminas e antioxidantes (Kyriacou et al., 2022). O ajuste ideal da DS é, portanto, essencial para otimizar o uso de sementes, maximizar os lucros e balancear produtividade com qualidade, variando conforme espécie e suas características (Partap et al., 2023).

Complementarmente, a CEsn é vital, pois uma concentração balanceada de nutrientes promove o crescimento vigoroso e aumenta o acúmulo de compostos bioativos (Xiao et al., 2012; Di Gioia et al., 2015; Kyriacou et al., 2022). Contudo, concentrações excessivas podem gerar fitotoxicidade, elevar custos e prejudicar o desenvolvimento (Ampim et al., 2021). Estudos já demonstram que o manejo adequado da DS e CE é fundamental para otimizar o rendimento e qualidade nutricional em diversas espécies (Pinto et al., 2016; Di Gioia et al., 2021), impactando a morfologia vegetal, taxa fotossintética e acumulação de biomassa (Di Gioia et al., 2021), e modulando a síntese de pigmentos e atividade antioxidante (Ebert, 2022). Apesar desses conhecimentos, a literatura ainda apresenta uma notável falta de padronização nas práticas de cultivo e manejo para microverdes em escala comercial.

Embora a importância da DS e da CE seja reconhecida para diversas espécies, estudos específicos sobre o cultivo de microverdes de manjeriço são mais limitados. No entanto, algumas pesquisas com outras espécies de microverdes, já indicam que o ajuste desses parâmetros pode influenciar significativamente a produção e o acúmulo de compostos bioativos. Considerando que o manjeriço é particularmente rico em compostos fenólicos, flavonoides e óleos essenciais, conhecidos por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Romano et al., 2022; Dhama et al., 2023; Ciriello et al., 2023), é plausível que otimizar as práticas de manejo possa potencializar esses atributos em seus microverdes, agregando maior valor funcional ao produto.

Apesar da importância amplamente reconhecida do ajuste da DS e do suprimento de nutrientes para otimizar o rendimento e a qualidade dos microverdes, ainda existem lacunas na literatura, especialmente no que tange a protocolos de manejo integrados, padronizados e economicamente viáveis para a escala comercial. Há uma carência de recomendações que abordem as interações entre DS e CE, e as particularidades do cultivo intensivo. Diante deste cenário, o presente estudo visa contribuir para o estado da arte, investigando a otimização da densidade de semeadura e da solução nutritiva especificamente para o cultivo de microverdes de manjeriço em sistema hidropônico NFT. O objetivo é fornecer recomendações técnicas que harmonizem alta produtividade e qualidade nutricional, visando práticas de cultivo sustentáveis e economicamente viáveis para a produção comercial.

2. HIPÓTESES

Os efeitos negativos da competição intraespecífica, induzida pelo aumento da densidade de semeadura de microverdes de manjeriço sobre a morfologia e a uniformidade das plântulas, podem ser compensados pela utilização de diferentes concentrações da solução nutritiva, resultando em ganhos de produtividade de biomassa e qualidade nutricional.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Quantificar a produtividade, a qualidade nutricional e os compostos bioativos de microverdes de manjeriço sob diferentes densidades de semeadura e níveis de concentração da solução nutritiva.

3.2. Objetivos específicos

Avaliar o impacto da densidade de semeadura e dos níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva sobre a altura das plântulas e o acúmulo de biomassa dos microverdes de manjeriço.

Quantificar a influência da densidade de semeadura e das concentrações de condutividade elétrica nos teores de nutrientes, compostos bioativos e pigmentos fotossintéticos dos microverdes de manjeriço.

Determinar a combinação ideal entre a densidade de semeadura e a condutividade elétrica da solução nutritiva que maximize simultaneamente a produtividade e a qualidade nutricional dos microverdes de manjericão.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Microverdes: definição, histórico, mercado atual e potencial nutracêutico

Os microverdes são plântulas de vegetais, aptas ao consumo humano, geralmente entre 7 e 21 dias após a sementeira, quando as folhas cotiledonares estão totalmente expandidas (Xiao et al., 2012; Treadwell et al., 2020; Bhaswant et al., 2023). A colheita é realizada no hipocótilo, acima do sistema radicular. Esses vegetais são cultivados a partir de sementes de hortaliças, ervas aromáticas, leguminosas, cereais e oleaginosas (Marchioni et al., 2021; Ebert, 2022).

Embora o consumo de vegetais na sua forma imatura seja comum historicamente, como os brotos de feijão na culinária asiática (Di Gioia et al., 2017), o termo “microgreens” (ou microverdes) surgiu na década de 80 na Califórnia, Estados Unidos (Xiao et al., 2012). Ganhou popularidade entre chefs de cozinha na década seguinte, sendo inicialmente desenvolvida para atender à demanda de restaurantes de San Francisco, e posteriormente, difundindo-se por toda a Califórnia (Choe et al., 2018).

Atualmente, o mercado de microverdes está em franca expansão, apresentando um alto potencial de rentabilidade, com a América do Norte detendo 50% de participação das vendas globais em 2019, com os Estados Unidos como maior mercado, seguidos de México e Canadá (Treadwell et al., 2020; Ebert, 2022). Apesar dos custos elevados de comercialização, a agilidade nas colheitas proporciona um retorno financeiro mais rápido em comparação com culturas tradicionais, tornando-os uma opção atrativa para diversificação na produção agrícola (Sousa, 2022). No Brasil, o cultivo de microverdes foi introduzido no final da década de 1990 e início dos anos 2000, inicialmente para atender a demanda de chefs em São Paulo e Rio de Janeiro (Sousa, 2022).

O cultivo de microverdes no Brasil ainda é incipiente, mas demonstra grande potencial de crescimento. Desde 2018, o mercado começou a se expandir devido à comercialização de sementes específicas para o segmento de microverdes (sem tratamento químico), no caso da empresa ISLA Sementes. Embora ainda seja pequeno, o setor é promissor, atendendo à crescente demanda por alimentos diferenciados e altamente nutritivos, atraindo tanto consumidores finais quanto chefs da culinária especializada (Mordor Intelligence,

2021). Considerados uma tendência recente, os microverdes são valorizados não apenas por sua estética e valor nutricional, mas também por seu ciclo rápido de cultivo (Di Gioia et al., 2017).

Os microverdes destacam-se por seus sabores intensos, cores vibrantes e alto valor nutricional (Ghoora et al., 2020; Bhaswant et al., 2023). Atualmente, são vendidos em supermercados e restaurantes especializados, conquistando popularidade como uma tendência culinária, especialmente entre consumidores que procuram alimentos frescos e ricos em nutrientes (Caracciolo et al., 2020).

Versáteis na gastronomia, os microverdes podem ser utilizados como ingredientes em uma ampla variedade de preparações, como saladas, sopas, sanduíches, lanches, massas, caldos, carnes, doces, sobremesas, sucos e até coquetéis (Mir et al., 2017; Renna et al., 2018).

Os microverdes agregam sabor, coloração e textura aos pratos, podendo ser consumidos crus para preservar suas propriedades nutritivas. Conhecidos internacionalmente como “vegetable confetti” ou “microherbs” no caso de espécies aromáticas, são ideais tanto como decoração comestível quanto como um novo ingrediente em diversas receitas (Treadwell et al., 2020).

Os microverdes oferecem diversas vantagens para a saúde, contribuindo para o fortalecimento do sistema imunológico e a prevenção de doenças crônicas (Choe, 2018; Renna, 2018; Teng, 2021; Zhang, 2021). Estudos indicam que esses vegetais são ricos em minerais essenciais como potássio, fósforo, cálcio, magnésio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre, embora a produtividade e o teor nutricional possam variar entre diferentes espécies e até mesmo dentro da mesma espécie (Xiao et al., 2016; Bulgari et al., 2017). Em comparação com plantas maduras, os microverdes apresentam concentrações mais altas de fitoquímicos, vitaminas e minerais, além de um menor teor de nitratos (Pinto et al., 2015; Rajan et al., 2019; Kyriacou et al., 2019; Petropoulos et al., 2021; Zhang et al., 2021; Tilahun et al., 2023).

Pesquisas revelaram resultados notáveis, por exemplo, Xiao et al. (2012) observaram concentrações de vitamina C entre 20 e 147% superiores em microverdes de rabanete, repolho roxo, coentro e amaranto, em relação às folhas maduras dessas espécies.

Além de seu valor nutricional, os microverdes são práticos, pois não requerem preparo, podem ser facilmente incorporados nas refeições. Com um

sabor agradável e uma textura tenra, tem sido bem aceito, inclusive por crianças (Renna et al., 2016; Mir et al., 2017; Michell et al., 2020). A quantidade necessária para obter esses benefícios é relativamente pequena, tornando-os uma adição valiosa à dieta diária.

4.2. Técnicas de cultivo de microverdes

Ainda que os microverdes formem parte da categoria de plantas consumidas quando jovens (imaturas), eles se diferenciam tanto de brotos quanto de baby leaf (Di Gioia et al., 2017; Bhatt e Sharma, 2018).

Esse cultivo é feito a partir de uma ampla variedade de sementes, como hortaliças, ervas aromáticas, leguminosas, cereais e oleaginosas (Ebert, 2022). Além disso, os microverdes têm sabor mais realçado do que os brotos e uma ampla variedade de cores, variedades e formas de folhas (Di Gioia et al., 2017).

No cultivo de microverdes, as sementes representam um dos principais custos de produção, uma vez que esse tipo de cultivo requer uma alta densidade de semeadura (Di Gioia et al., 2017). As sementes utilizadas devem ser as mesmas das plantas adultas, mas sem tratamentos químicos; pois, devido ao curto ciclo de produção e ao consumo direto, qualquer resíduo químico pode representar um risco à saúde humana (Kyriacou et al., 2022). Para garantir uma produção bem-sucedida, é recomendável o uso de sementes certificadas e com alta taxa de germinação (Pinto et al., 2015).

Os microverdes podem ser cultivados a partir de diversas espécies, incluindo olerícolas, medicinais, condimentares e até plantas alimentícias não convencionais (Di Gioia et al., 2017). As espécies mais comuns para a produção de microverdes pertencem a várias famílias botânicas, incluindo Brassicaceae (couve-flor, brócolis, repolho e rúcula), Asteraceae (alface e chicória), Apiaceae (cenoura e aipo), Amaryllidaceae (cebola e alho), Amaranthaceae (acelga e espinafre), Lamiaceae (manjeriço) e cucurbitáceas (melão e pepino). As brássicas, em particular, tornaram-se populares devido à sua fácil germinação, ciclos de produção curtos, diversidade de cores e sabores, além de uma alta concentração de compostos fitoquímicos (Kyriacou et al., 2022; Ebert, 2022).

Outras espécies herbáceas utilizadas para microverdes incluem cereais (aveia, trigo e milho), quinoa, leguminosas (grão de bico, lentilha e ervilha), plantas oleaginosas (girassol) e até plantas fibrosas, como o linho. Muitas

espécies aromáticas, como manjeriço, cebolinha, coentro e cominho, também são frequentemente utilizadas (Di Gioia et al., 2017; Marchioni, 2021).

Os microverdes demonstram uma elevada versatilidade, adaptando-se facilmente a pequenos espaços e a diversos ambientes de cultivo, que abrangem desde casas de vegetação até ambientes internos de residências, edifícios e túneis (Riggio et al., 2019). Cultivos mais tecnificados, como fazendas verticais em ambientes controlados, permitem um controle total do microclima. Essa capacidade viabiliza a utilização de *IoT*, possibilitando ajustes precisos em variáveis como umidade, temperatura, iluminação e concentração de dióxido de carbono (Rajan et al., 2019).

O cultivo em casas de vegetação constitui uma alternativa de produção que minimiza os custos com iluminação artificial, notadamente em comparação com sistemas de cultivo vertical. Adicionalmente, possibilita a produção contínua mesmo em épocas desfavoráveis ao cultivo a campo (Di Gioia et al., 2015). Nesses ambientes, os microverdes podem ser cultivados em sistemas hidropônicos, com ou sem substratos e até mesmo comercializados com o meio de cultivo. Esta última abordagem confere praticidade, permitindo que o consumidor realize a colheita diretamente em casa (Bhatt e Sharma, 2018), o que facilita o acesso a produtos frescos e prontos para consumo, alinhando-se a uma tendência de mercado sustentável e atraente.

Para otimizar a produção e assegurar previsibilidade nas colheitas, o controle rigoroso dos fatores ambientais, como temperatura, umidade, iluminação e nutrição mineral. Um incremento da temperatura de 14 para 22°C, por exemplo, pode resultar na redução do ciclo de cultivo em até 40%, acelerando significativamente o tempo de colheita (Allred e Mattson, 2018). Em ambientes controlados, temperaturas entre 17 e 22°C, juntamente com uma umidade relativa entre 60 e 90%, são comumente recomendadas para o cultivo de microverdes (Jones-Baumgardt et al., 2019; Ciuta et al., 2020).

Os sistemas de cultivo horizontal e vertical apresentam vantagens distintas no contexto da produção de microverdes. O cultivo horizontal pode beneficiar-se da iluminação natural com suplementação, enquanto o vertical, frequentemente empregado em fazendas urbanas, requer iluminação artificial para maximizar o aproveitamento do espaço (Al-Chalabi, 2015). Em qualquer um desses ambientes controlados, a capacidade de ajustar com precisão os fatores

climáticos é crucial para garantir uma produção uniforme e de alta qualidade (Di Gioia et al., 2017).

Uma vez estabelecido o sistema de cultivo, a otimização da produção passa a depender diretamente das práticas de manejo agrônomo aplicadas à cultura. A escolha da densidade de sementeira é fundamental para assegurar tanto o rendimento quanto a qualidade do produto, além de representar uma parte significativa do custo de produção (Xiao et al., 2015; Nolan, 2018).

O cultivo de microverdes é caracterizado por ser altamente adensado (Treadwell et al., 2020), sendo essencial definir a densidade de sementeira de acordo com cada espécie (Jones-Baumgardt et al., 2019; Thuong e Minh, 2020; Moraru et al., 2022; Di Gioia et al., 2023). Por exemplo, pode variar de 2,5 g m⁻² para brotos de ervilha (*Pisum sativum*) e girassol (*Helianthus annuus*) até 500 g m⁻² para espécies e variedades de microverdes com sementes pequenas (Allred e Mattson, 2018).

A densidade de sementeira é um fator importante para o crescimento das plântulas, pois implica competição por recursos limitados, como água, luz e nutrientes (Choe et al., 2018). Em um estudo realizado por Murphy e Pill (2010), testaram quatro densidades de sementeira (50, 100, 150 e 200 g m⁻²) em microverdes de rúcula. Verificou-se que o aumento da DS resultou em diminuição linear do peso fresco individual por plântula, influenciando as respostas de produtividade da parte aérea por m². De acordo com os autores, o peso fresco individual por plântula diminuiu linearmente à medida que a densidade de sementeira aumentou.

Allred e Mattson (2018) estudaram as densidades de 1 a 5 sementes cm⁻² para microverdes de rúcula, mizuna e mostarda sob cultivo em bandejas preenchidas com substrato à base de turfa. Apesar do menor acúmulo de biomassa individual das plântulas com o incremento na densidade de sementeira, houve aumento nos rendimentos; variaram de 19,4 a 57,4 g m⁻² para rúcula, 22,5 a 66,7 g m⁻² para mizuna e 21,7 a 65,1 g m⁻² para mostarda. Para o manjeriço, a literatura aponta densidades específicas que foram testadas em diferentes estudos: Bulgari et al. (2021) avaliaram a densidade de 50 g m⁻², enquanto Dias et al. (2023) investigaram as densidades de 48 e 60 g m⁻² (Bulgari, 2021; Dias et al., 2023).

A determinação da densidade de semeadura ideal é um ponto decisivo, pois afeta diretamente a produtividade, a qualidade e o custo de produção. Uma densidade muito baixa resulta em uso ineficiente do espaço e, conseqüentemente, em baixo rendimento por área (Silva et al., 2024). Por outro lado, uma densidade excessivamente elevada, mesmo que muitas vezes empregada para maximizar o rendimento e compensar o custo das sementes, gera intensa competição por luz, água e nutrientes (Barros et al., 2024). Isso acarreta problemas fisiológicos, como germinação desuniforme, cotilédones menores e estiolamento do hipocótilo (Nolan, 2018). Além disso, pode favorecer infecções fúngicas, ao reduzir a circulação de ar e elevar a umidade na base das plântulas, criando um ambiente favorável para a proliferação de fungos. Ambos os extremos comprometem a sanidade e a qualidade final do produto, impactando negativamente a lucratividade (Di Gioia et al., 2015; Santamaria, 2015; Kyriacou et al., 2016; Nolan, 2018; Treadwell et al., 2020).

De maneira geral, os produtores tendem a cultivar os microverdes com elevados adensamentos para maximizar a produção e compensar os custos com sementes (Nolan, 2018; Bulgari, 2021). Apesar dos riscos já mencionados, como o estiolamento dos hipocótilos e o aumento de doenças (Di Gioia et al., 2015).

Portanto, estabelecer a densidade de semeadura é fundamental na obtenção de microverdes com qualidade (alta produção de biomassa e livres de patógenos), com o menor número possível de sementes. No entanto, devido à variação entre espécies, tamanhos e lotes de sementes, é difícil recomendar uma densidade única e prever seu rendimento (Nolan, 2018).

Em sistemas de cultivo sem solo, a solução nutritiva é a fonte exclusiva de minerais essenciais para as plantas. Ela desempenha um papel crucial no desenvolvimento vegetal, mas seu uso inadequado pode induzir estresses abióticos. Por exemplo, o excesso de nitrogênio pode prejudicar a absorção de água, resultando em disfunções no crescimento e na fotossíntese, manifestada por folhas amareladas (Zhao et al., 2020). Essa solução é composta por macro e micronutrientes dissolvidos em água, que devem estar em proporções equilibradas para atender às necessidades da cultura. Nutrientes como nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, molibdênio, boro e cloro são essenciais (Zhao et al., 2020).

Adicionalmente, a manutenção de um pH adequado é vital para assegurar a disponibilidade desses nutrientes (Bulgari et al., 2017).

O manejo cuidadoso da SN em microverdes influencia diretamente seu crescimento e qualidade (Kyriacou et al., 2022), afetando inclusive a composição fitoquímica e a atividade antioxidante (Petropoulos et al., 2021), características valorizadas nesses alimentos.

Nesse contexto, a condutividade elétrica (CE) é um parâmetro chave, pois reflete a concentração total de nutrientes dissolvidos na SN. A faixa ideal de CE varia conforme a espécie cultivada e é controlada, manual ou automaticamente, em sistemas de recirculação de nutrientes (Di gioia et al., 2019). Variações na CE que excedam a tolerância das plantas podem causar estresse nutricional, seja por excesso ou deficiência, inibindo o crescimento e o desenvolvimento (Ghorbanpour et al., 2016). Portanto, o controle preciso da CE dentro de uma faixa adequada é imprescindível para a produção vegetal em sistemas hidropônicos. Uma vez que cada cultura possui valores ideais de CE específicos, é essencial determinar o nível ótimo antes do início da produção comercial.

A importância da nutrição em microverdes foi demonstrada por Murphy e Pill (2010), que observaram um aumento de 20% na produtividade de rúcula utilizando a solução de Hoagland a 100% (condutividade elétrica – CE de 2,0 dS m⁻¹) em comparação ao controle sem nutrientes. Enquanto, Wieth et al. (2019), recomendaram uma SN com CE de 1,5 dS m⁻¹ para maximizar a produtividade da mesma cultura.

Portanto, a qualidade nutricional dos microverdes é influenciada diretamente pela nutrição mineral. Por exemplo, Sun et al. (2015) relataram que a aplicação foliar de cloreto de cálcio (CaCl₂, a 10 mM) em microverdes de brócolis, aumentou os teores de glucosinolatos em comparação com o tratamento controle (apenas água), sugerindo o potencial da fertilização para enriquecer o valor nutricional. Segundo Neugart et al. (2018), o manejo da solução nutritiva é essencial, pois a presença ou ausência de nutrientes específicos pode afetar o metabolismo secundário das plântulas.

No cultivo de microverdes, é comum o emprego das mesmas formulações de soluções nutritivas utilizadas na produção hidropônica, como a de Hoagland e Arnon (1950) (Di Gioia et al., 2015; Santamaria, 2015; Gerovac

et al., 2016; Bulgari et al., 2017; Paradiso et al., 2018). Essas soluções são comumente aplicadas em concentrações reduzidas, variando entre 25% (CE de 0,4 dS m⁻¹) (Kyriacou et al., 2019; Caracciolo et al., 2020) e 50% (CE de 1,2 dS m⁻¹) (Bulgari et al., 2017; Lenzi et al., 2019).

Em um estudo por Palmitessa et al. (2020) com diferentes espécies de *Brassica*, o cultivo foi realizado utilizando a formulação de Hoagland e Arnon (1950) em três concentrações (12,5; 25 e 50%), correspondendo a aproximadamente 0,25; 0,50 e 1,00 dS m⁻¹ de condutividade elétrica. Os resultados indicaram que a concentração de 50% proporcionou maior rendimento e altura das plântulas, enquanto a de 12,5% resultou em microverdes menos desenvolvidos. Em outro estudo, El-Nakhel (2021) demonstrou que a solução de Hoagland a 25%, preparada em água destilada, aumentou o rendimento e o conteúdo de clorofila em rúcula, couve-de-bruxelas e repolho. Contudo, a resposta do teor de carotenoides variou: aumentou em couve-de-bruxelas e repolho com maior nutrição, mas diminuiu na rúcula. O teor de fenóis permaneceu estável em couve-de-bruxelas e repolho, enquanto alguns ácidos fenólicos na rúcula variaram conforme a concentração de nutrientes. Para produção comercial, Di Gioia e Santamaria (2015) sugerem o uso da formulação de Hoagland e Arnon (1950) na concentração de 50%.

No Brasil, Wieth et al. (2019) adaptaram uma solução nutritiva proposta por Santos et al. (2004), originalmente formulada para forragem hidropônica, ajustando seus macro e micronutrientes para o cultivo de microverdes de repolho roxo (*Brassica oleraceae* var. *capitata*). Nesse estudo, a aplicação dessa solução nutritiva resultou em aumentos significativos na massa fresca da parte aérea (MFP), sendo 1,7 vezes maior com condutividade elétrica (CE) de 1,2 dS m⁻¹ e 2,4 vezes maior com CE de 2,0 dS m⁻¹, em comparação ao tratamento controle (apenas água).

No estudo de Silva et al. (2024), foi avaliado o efeito da formulação de solução nutritiva de Furlani et al. (1999) nas concentrações de 25 e 50% no cultivo de microverdes de rúcula. Observou-se maior acúmulo de matéria fresca na concentração de 50% (CE de 1,0 dS m⁻¹).

A solução nutritiva é o meio ideal para facilitar uma padronização mais eficaz da qualidade dos alimentos e ajuda a garantir a segurança do produto alimentar que é finalmente oferecido ao consumidor.

4.3. Influência da densidade de cultivo e da concentração da solução nutritiva sobre a qualidade do microverdes

Os microverdes têm ganhado crescente reconhecimento como alimentos funcionais devido à sua alta densidade nutricional e teor elevado de compostos bioativos em comparação com suas contrapartes maduras. Neste contexto, o manjericão (*Ocimum basilicum* L.), uma planta aromática anual da família Lamiaceae, que destaca-se por suas folhas comestíveis ricas em flavonoides, fenólicos e óleos essenciais (Silva et al., 2017; Romano et al., 2022). Consolidando-se como uma fonte de compostos bioativos, contribui para a saúde humana ao potencialmente reduzir o risco de doenças como as cardiovasculares e o câncer (Dhama et al., 2023).

O potencial antioxidante dos microverdes de manjericão é atribuído à presença de uma vasta gama de metabólitos secundários, incluindo polifenóis, flavonoides (notadamente flavonóis e antocianinas), vitamina C, carotenoides, glucosinolatos, óleos essenciais e alcaloides (Di Gioia et al., 2017; Ciriello et al., 2023). A diversidade genética da espécie, com pelo menos 65 variedades botânicas (Makri e Kintzios, 2008), resulta em variações amplas no teor de antioxidantes e fenólicos totais (Silva et al., 2017), o que ressalta a importância das condições de cultivo na expressão desses compostos.

Entre os compostos orgânicos encontrados nos microverdes, os açúcares, como glicose, frutose e sacarose, desempenham papéis cruciais no metabolismo celular, servindo como fontes de energia e precursores para a síntese de outras moléculas orgânicas (Bhaswant et al., 2023). Os aminoácidos, por sua vez, são metabólitos primários essenciais e blocos construtores das proteínas, fundamentais para diversas funções em plantas (componentes enzimáticos, hormônios, transportadores de nutrientes) e seres humanos (aminoácidos essenciais) (Wieth et al., 2019). Altas concentrações de aminoácidos são desejáveis, pois elevam o valor funcional do produto, facilitando sua inserção em mercados de alimentos saudáveis. Além disso, aminoácidos como glutamato e aspartato melhoram diretamente o sabor e o aroma dos microverdes, aprimorando a experiência sensorial do consumidor (Xiao et al., 2015; Bhaswant et al., 2023).

Os flavonoides e outros compostos fenólicos são reconhecidos por seus efeitos benéficos no corpo humano, abrangendo propriedades antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas, cardioprotetoras e anti-inflamatórias (Rusu et al., 2021). Estes compostos também atuam na defesa antioxidante das plantas contra radiação UV, patógenos e herbivoria (Di Gioia et al., 2017; Fayeziadeh et al., 2023). Os carotenoides, pigmentos lipossolúveis, exercem funções de fotoproteção em plantas, dissipando energia excessiva e eliminando espécies reativas de oxigênio (ROS), além de atuar como eliminadores de radicais livres (Li et al., 2018; Bulgari et al., 2021). Para a saúde humana, são precursores da vitamina A e potentes antioxidantes, contribuindo para a redução do risco de doenças crônicas como câncer e doenças cardiovasculares (Senevirethane et al., 2019; Johnson et al., 2020).

As clorofilas, pigmentos primários da fotossíntese, também possuem notável atividade antioxidante (Ebrahimi et al., 2023). No entanto, o acúmulo desses pigmentos é influenciado por fatores de cultivo.

A densidade de semeadura (DS) é um dos fatores críticos que afetam diretamente a qualidade e os aspectos de produção dos microverdes. Estudos indicam que o acúmulo de clorofilas é mais pronunciado em menores densidades de semeadura (Cecílio Filho et al., 2025). Com o aumento da DS, observa-se uma tendência de redução da clorofila, uma vez que a disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes por planta se torna mais limitada, impactando a eficiência fotossintética até um limite específico para cada espécie (Housseni et al., 2021; Teng et al., 2021). Essa redução pode comprometer a produtividade e alterar a percepção de frescor e a qualidade do produto final (Di Gioia et al., 2017; Swoczyna et al., 2022). Além da clorofila, o conteúdo de flavonoides, embora intrínseco aos microverdes, é também influenciado pela DS, juntamente com a espécie, as condições de cultivo, a luz e o substrato (Kyriacou et al., 2019; Li et al., 2021).

A concentração da solução nutritiva (CEsn) e o balanço de nutrientes são cruciais para o desenvolvimento e a composição dos microverdes. Macronutrientes essenciais como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) são reguladores de processos vitais no metabolismo vegetal (Huh e Lee, 2022).

O nitrogênio é o macronutriente mais demandado pelas plantas, sendo vital para o crescimento vegetativo vigoroso, a fotossíntese e a síntese proteica.

É um componente chave da clorofila, aminoácidos, ATP, DNA e RNA, atuando também como cofator em diversas enzimas (Taiz e Zeiger, 2017; Huh e Lee, 2022). As plantas absorvem N principalmente nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), e a proporção entre essas formas pode influenciar a fisiologia da planta e o pH do meio (Fayezizadeh et al., 2023). A absorção de nitrogênio é extremamente sensível a variações na CE da solução nutritiva.

A deficiência de N manifesta-se rapidamente como clorose generalizada e crescimento atrofiado. No entanto, o excesso de N pode levar a um crescimento foliar exagerado, com tecidos mais suscetíveis a doenças, e um acúmulo indesejável de nitrato (Xiao et al., 2015). O NO_3^- é considerado potencialmente prejudicial à saúde humana devido à sua possível redução a nitrito no trato digestivo e subsequente formação de nitrosaminas, compostos carcinogênicos associados a diversos tipos de câncer (Weitzbert e Lundberg, 2013; Ma et al., 2022). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece limites superiores para a ingestão diária de nitrato e nitrito, a fim de minimizar riscos à saúde, especialmente em populações vulneráveis e lactentes (Balik et al., 2025). Portanto, o controle preciso da CEsn é fundamental para otimizar o teor de N sem exceder limites seguros de nitrato.

O potássio (K) regula processos fisiológicos cruciais, como a abertura e o fechamento estomático, impactando diretamente a absorção de CO_2 para a fotossíntese e a taxa de respiração (Wojdyło et al., 2020). Além disso, atua no transporte de açúcares, na síntese de proteínas e na osmorregulação, conferindo tolerância a estresses bióticos e abióticos (Fayezizadeh et al., 2023).

Altas concentrações da solução nutritiva (CEsn) podem induzir estresse osmótico nas plântulas. Esse estresse pode levar à degradação oxidativa dos carotenoides ou ao redirecionamento de recursos metabólicos para mecanismos de defesa primária, em detrimento da síntese desses importantes pigmentos (Bulgari et al., 2021). Isso demonstra a complexidade da interação entre a disponibilidade de nutrientes e a produção de compostos bioativos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido no mês de fevereiro de 2025, em casa de vegetação sob condições climáticas não controladas, com iluminação natural,

cobertura de filme plástico transparente (150 μm de espessura), telas de sombreamento de 70% nas laterais e tela termorefletora (aluminizada) como subcobertura interna. As instalações pertencem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, nas coordenadas 12° 40' 19" de latitude Sul, 39° 06' 23" de longitude Oeste e altitude de 220 m.

5.2. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, utilizando um esquema fatorial baseado na Matriz Composto Central de Box. Avaliaram-se cinco níveis de CE (0,3 dS m^{-1} – água de abastecimento; 0,55; 1,15; 1,75 e 2,0 dS m^{-1} da solução nutritiva) combinados com cinco densidades de semeadura - DS (40, 48, 70, 91 e 100 g m^{-2}), totalizando 9 tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Representação esquemática dos fatores e combinações (CEsn – condutividade elétrica da solução nutritiva e DS – densidade de semeadura) usados no experimento.

Tratamentos	Níveis		Fatores	
	CEsn	Dens	CEsn (dS m^{-1})	Dens (g m^{-2})
1	-1	-1	0,55	48
2	-1	1	0,55	91
3	1	-1	1,75	48
4	1	1	1,75	91
5	$-\alpha$	0	0,3	70
6	α	0	2	70
7	0	α	1,15	100
8	0	$-\alpha$	1,15	40
9	0	0	1,15	70

5.3. Caracterização do sistema hidropônico

As bancadas de cultivo, com dimensões padronizadas de 2,44 × 0,50 m, foram confeccionadas em telha plástica e revestidas com lona plástica dupla face (parte branca voltada para cima) e instalada a uma declividade de 6% (Figura 1).

O sistema de circulação da solução nutritiva consistia em um reservatório plástico com capacidade para 60 L e uma eletrobomba com 34 W de potência (Samatec Comercio Servicos e Peças Ltd., SP, Brasil) para bombear a solução nutritiva até a parte mais alta da bancada. Com base em ensaios prévios, um temporizador analógico controlava a recirculação da solução por 15 minutos, a cada 4 horas durante o dia (6 às 18h) e a cada 6 horas durante a noite.



Figura 1. Estrutura hidropônica das bancadas de cultivo utilizadas para o cultivo de microverdes de manjeriço.

5.4. Preparo e manejo da solução nutritiva

Para o preparo das soluções nutritivas, utilizou-se a formulação de Furlani et al. (1999) para hortaliças folhosas, ajustando a quantidade de nutrientes de acordo com a CE desejada (Tabela 2). As soluções nutritivas foram preparadas utilizando água de abastecimento (CE de 0,3 dS m⁻¹). A CE e o pH foram medidos diariamente ao longo do período de cultivo, não sendo observadas variações significativas nesses parâmetros durante o experimento.

Tabela 2. Quantitativo de fertilizantes e os valores finais de condutividade elétrica das soluções nutritivas (CESn) para o cultivo de microverdes de manjeriço.

CEsn (dS m ⁻¹)	Composição da solução nutritiva (mg L ⁻¹)
0,55	Ca(NO ₃) ₂ = 179,3; KNO ₃ = 119,54; MAP = 35,87; MgSO ₄ = 95,75; CuSO ₄ = 0,035; ZnSO ₄ = 0,119; MnSO ₄ = 0,35; H ₃ BO ₃ = 0,35; Na ₂ MoO ₄ = 0,035; mix micronutrientes = 6,88; Fe = 4,4
1,15	Ca(NO ₃) ₂ = 375; KNO ₃ = 250; MAP = 75; MgSO ₄ = 200; CuSO ₄ = 0,075; ZnSO ₄ = 0,250; MnSO ₄ = 0,75; H ₃ BO ₃ = 0,75; Na ₂ MoO ₄ = 0,075; mix micronutrientes = 14,38; Fe = 9,2
1,75	Ca(NO ₃) ₂ = 562,5; KNO ₃ = 375; MAP= 112,5; MgSO ₄ = 300; CuSO ₄ = 0,11; ZnSO ₄ = 0,375; MnSO ₄ = 1,1; H ₃ BO ₃ = 1,1; Na ₂ MoO ₄ = 0,11; mix micronutrientes = 21,88; Fe = 14
2,00	Ca(NO ₃) ₂ = 750, KNO ₃ = 500, MAP = 150, MgSO ₄ = 400; CuSO ₄ = 0,15; ZnSO ₄ = 0,500; MnSO ₄ = 1,5; H ₃ BO ₃ = 1,5; Na ₂ MoO ₄ = 0,15; mix micronutrientes = 25; ferro = 16

CSN – concentração da solução nutritiva; Ca(NO₃)₂ – nitrato de cálcio; KNO₃ – nitrato de potássio; MAP – fosfato monoamônico; MgSO₄ – sulfato de magnésio; CuSO₄ – sulfato de cobre; ZnSO₄ – sulfato de zinco; MnSO₄ – sulfato de manganês; H₃BO₃ – ácido bórico; Na₂MoO₄ – Molibdato de sódio; FeEDTA-13% Fe - Quelato de Ferro.

5.5. Descrição e condução da cultura

No experimento utilizou-se sementes de manjeriço cv. 'Limoncino' (Isla[®] Sementes, Porto Alegre, RS, Brasil). Em 04/02/2025, a semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido (18 × 24 cm), preenchidas com 1 cm de substrato de fibra de coco 'Golden mix' (Amafibra Ltda., Artur Nogueira, SP, Brasil), previamente umedecido com água deionizada.

A distribuição das sementes foi feita manualmente e de forma homogênea conforme as densidades estabelecidas no delineamento experimental (0,62; 0,75; 1,08; 1,40 e 1,56 g por bandeja, equivalentes as densidades de (40, 48, 70, 91 e 100 g m⁻²). Após a semeadura, as bandejas foram dispostas nos berçários de cultivo, onde foram umedecidas apenas com água de abastecimento (0,3 dS m⁻¹) por um período de 48 horas (nesse período as bandejas ficaram cobertas para favorecer a germinação no escuro), procedimento recomendado por Di Gioia et al. (2017). Após esse período, as bandejas foram descobertas e iniciou-se os tratamentos com a aplicação das soluções nutritivas.

5.6. Variáveis avaliadas

5.6.1. Crescimento e produção

A colheita dos microverdes de manjeriço foi realizada aos 10 dias após a semeadura. Em cada bandeja, todas as plântulas foram colhidas (corte em 5 mm acima do nível do substrato). A altura das plântulas (AP, cm) foi obtida a partir de sete plântulas selecionadas aleatoriamente em cada bandeja. A massa de matéria fresca das plântulas (MFP, g por bandeja) foi obtida pela pesagem de todas as plântulas da bandeja. De cada bandeja, o material fresco foi dividido em duas partes. Uma parte foi liofilizada e a outra parte foi seca em estufa de ventilação forçada Q314M (Quimis®, Diadema, SP, Brasil) a 65 °C até atingir peso constante. A partir das massas secas no liofilizador e na estufa de secagem, obteve-se a massa de matéria seca das plântulas (MSP, g por bandeja). Baseado na MFP e MSP, calcularam-se as produções por metro quadrado (g m^{-2}).

5.6.2. Compostos bioativos

Teores de clorofila e carotenoides

A quantificação dos pigmentos fotossintéticos foi realizada conforme o método de Lichtenthaler e Buschmann (1987). O preparo dos extratos foi feito em tubos de ensaio, 0,01 g de material vegetal liofilizado foi homogeneizado com 3 mL de acetona 80% em ambiente escuro. Os extratos foram armazenados sob refrigeração (4 °C) por 24 horas para garantir a estabilidade dos pigmentos. As amostras foram centrifugadas a $14.000 \times g$ por 15 min e os sobrenadantes foram coletados. As leituras de absorbância do sobrenadante foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 664 nm (clorofila a), 648 nm (clorofila b) e 470 nm (carotenoides). A partir das leituras, os teores das clorofilas a e b e carotenoides foram calculados de acordo com as Equações 1, 2 e 3. O teor de clorofila total foi obtido pela soma das clorofilas a e b.

$$\text{Ca (mg g}^{-1}\text{)} = (12,25 \times A_{664}) - (2,79 \times A_{648}) \quad (1)$$

$$\text{Cb (mg g}^{-1}\text{)} = (21,50 \times A_{648}) - (5,10 \times A_{664}) \quad (2)$$

$$\text{Carotenoides (mg g}^{-1}\text{)} = [(1000 \times A_{470} - 1,82 \times \text{Ca} - 85,02 \times \text{Cb})/198] \times 10 \quad (3)$$

Flavonoides e antocianinas

Os teores de flavonoides e antocianinas foram determinados de acordo com o método descrito por Francis (1982), com adaptações. Para a extração, 0,01 g de material vegetal liofilizado foram macerados em 1,5 mL de solução etanol-HCl 1,5 M (85:15, v/v), e o extrato resultando foi mantido em ambiente escuro, sob refrigeração, por 20 horas. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 14.000 rpm, a 15 °C, durante 15 min. O sobrenadante foi transferido para outro tubo, ao qual foram adicionados mais 1,5 mL da solução etanol-HCl. Após nova centrifugação sob as mesmas condições, o segundo sobrenadante foi coletado e ambos os sobrenadantes foram homogeneizados.

Para a análise, 1 mL do extrato foi transferido para tubos de vidro, juntamente com 1 mL de água deionizada. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 374 nm para determinação dos teores de flavonoides e 535 nm para antocianinas.

5.6.3. Solutos orgânicos

Os extratos para a determinação de solutos orgânicos foram preparados a partir de material vegetal liofilizado. O protocolo de extração consistiu de duas etapas: inicialmente, 0,1 g do material liofilizado foi pesado em tubos de microcentrífuga (Eppendorf), aos quais foram adicionados 1,5 mL de etanol a 80%. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 15 °C, a 14.000 rpm, por 15 min, sendo os sobrenadantes devidamente coletados. Posteriormente, foi repetida a adição de 1,5 mL de etanol a 80% ao resíduo, com nova centrifugação sob as mesmas condições.

Proteínas totais

A determinação das proteínas solúveis foi feita pelo método de Bradford (Bradford, 1976). Para a análise, utilizaram-se 30 µL do extrato e 1 mL do reagente de Bradford, com agitação em vórtex. Após 15 min, a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm, entre 10 e 20 min após a adição do reagente. O branco da reação foi preparado utilizando 100 µL do tampão de extração e 1,0 mL do Coomassie Brilliant Blue. A albumina sérica bovina (BSA) foi utilizada como referência na curva padrão. Os resultados foram expressos em mg de proteína solúvel por grama de massa seca (mg g⁻¹ MS).

Açúcares solúveis totais e açúcares redutores e não redutores

A quantificação dos açúcares solúveis totais (AST) foi realizada segundo o método de Dubois et al. (1956), com modificações. Foram utilizados 50 µL do extrato, 200 µL de fenol a 5% e 1 mL de ácido sulfúrico concentrado, seguindo o procedimento fenol-ácido sulfúrico. A leitura colorimétrica feita a 490 nm, A D-(+)-glicose como padrão de referência para a construção da curva padrão.

A estimativa dos açúcares redutores (AR) seguiu o método DNS, conforme proposto por Gonçalves et al. (2010), com adaptações. Para a análise, 100 µL do extrato foram diluídos em 100 µL de água deionizada, seguidos de adição de 100 µL do reagente DNS. Após isso, adicionou-se 1 mL de água deionizada, e as amostras foram incubadas em banho-maria fervente a 100 °C por 15 min. Após o resfriamento em banho de gelo, a absorbância foi medida a 540 nm, utilizando curva padrão de glicose (0-2 mg mL⁻¹). Os teores de açúcares não redutores (ANR) foram estimados pela diferença entre AST e AR, após conversão para valores equivalentes em glicose.

Compostos fenólicos

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin-Ciocalteu, adaptado de Waterhouse (2006). Para a reação colorimétrica, foram transferidos para tubos de ensaio protegidos da luz: 50 µL do extrato, 1.500 µL de água deionizada e 50 µL do reagente de Folin-Ciocalteu. Após agitação em vortex por 30 segundos e repouso à temperatura ambiente por 5 minutos, adicionaram-se 100 µL de solução de carbonato de sódio 20% (p/v). As amostras foram então incubadas em banho-maria a 40 °C por 30 min, protegidas da luz. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, utilizando o ácido gálico como referência para a construção da curva padrão.

Determinação de aminoácidos livres

A quantificação de aminoácidos livres foi realizada pelo método da ninidrina, segundo Yemm e Cocking (1954). Para a reação, 50 µL do extrato foram misturados a 200 µL de água deionizada, 125 µL de tampão acetato, 250 µL de KCN e 50 µL de solução de ninidrina a 5% (m/v) em 325 µL de etanol a

60%. A mistura foi aquecida em banho-maria a 100 °C por 20 min e, em seguida, resfriada em banho de gelo. A absorvância foi medida a 570 nm em espectrofotômetro. A L-leucina pura foi utilizada como padrão de referência.

5.6.4. Solutos inorgânicos

Para a preparação das amostras para análise de solutos inorgânicos, foram utilizadas as folhas previamente secas em estufa. Após a secagem, o material foi triturado e 0,1 g de cada amostra foi pesado e transferido para tubos de ensaio. Em seguida, foram adicionados 10 mL de água deionizada em cada tubo. As amostras foram então colocadas em um banho-maria termostático a 100 °C por 1 hora. Após o aquecimento, as soluções foram filtradas e preparadas para análises subsequentes. Os teores de potássio (K^+) foram determinados utilizando um fotômetro de chama (modelo Q498M2, QUIMIS, Diadema, SP, Brasil) de acordo com o método descrito por Silva et al. (2010). Para a quantificação dos teores de K^+ , 200 μ L do extrato foram diluídos em 30 mL de água deionizada, e as leituras foram realizadas em fotômetro de chama modelo BFC – 300 (Benfer, São Paulo, SP, Brasil).

Os teores de nitrogênio total, nitrato e fósforo foram determinados em material vegetal previamente seco em estufa. A determinação dos teores de nitrogênio total, nitrato e fósforo foi realizada a partir de 0,1 g de material vegetal seco e triturado, digerido em solução de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) com adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 30%, segundo o método proposto por Jones Júnior (2001).

O teor de nitrogênio total foi quantificado utilizando o método do indofenol através da formação do composto azul intenso de indofenol (reação de Berthelot) (Keeney e Bremner, 1966), utilizando-se 20 μ L do extrato digerido e 80 μ L de água deionizada, com leitura em espectrofotômetro a 625 nm. A determinação do teor de nitrato foi realizada de acordo com a metodologia de Kjeldahl (1883), utilizando-se 50 μ L do extrato bruto sem diluição, com leitura da absorvância em espectrofotômetro a 410 nm. Para o teor de fósforo, foi utilizado o método do molibdato-vanadato (Murphy e Riley, 1962), empregando-se 1 mL do extrato bruto sem diluição com leitura em 420 nm.

5.7. Análise estatística

Quando se verificou efeito significativo ($p < 0,01$ ou $p < 0,05$), os fatores isolados (concentração de solução nutritiva e densidade) foram comparados mediante análise de regressão polinomial. Quanto se verificou significância na interação entre os tratamentos a comparação foi feita mediante as equações de superfície de resposta. Todas as análises foram realizadas usando o software R Core Team (2020).

6. RESULTADOS

6.1. Crescimento e produção de biomassa

Quanto ao aspecto visual das plantas em resposta ao efeito dos tratamentos aplicados nota-se claramente a resposta quanto ao crescimento das plantas. No entanto, não se percebe algum tipo de toxicidade ou injúria causada pelos tratamentos (Figura 2).

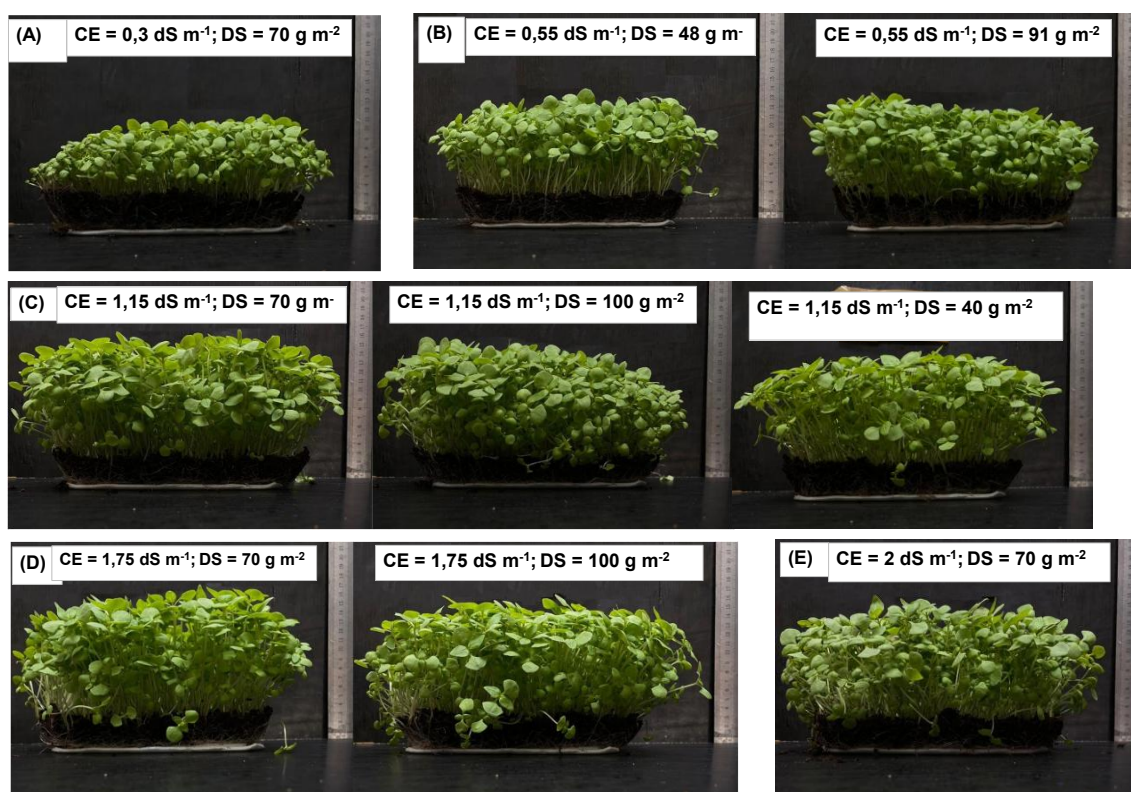
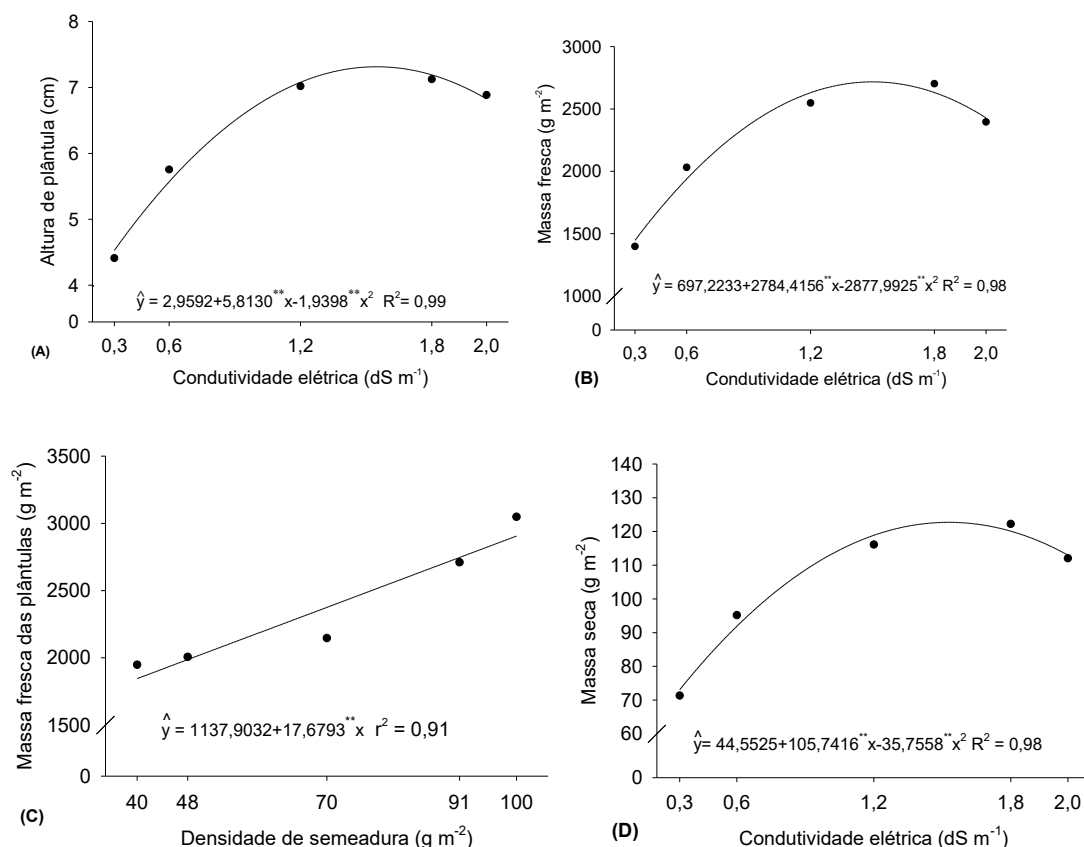


Figura 2. Aspecto visual dos microverdes de manjeriço cultivados sob os diferentes tratamentos investigados. Cada painel representa uma combinação das fontes de variação de condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva e densidade de semeadura (DS).

A altura de plântulas (AP) (Figura 3A) e as massas de matéria fresca (MFP) (Figura 3B) e seca (MSP) (Figura 3D) das plântulas de microverdes de manjeriço foram influenciadas significativamente pelos níveis de condutividade elétrica – CE (água ou solução nutritiva). No que diz respeito à densidade de sementeira (DS), houve efeito significativo sobre a MFP (Figura 3C) e MSP (Figura 2E).

Quanto à altura das plântulas (AP), ao final de 10 dias de cultivo, verificou-se que o máximo crescimento (7,31 cm) foi estimado com uma CE da solução nutritiva (CEsn) de 1,5 dS m⁻¹, correspondendo a um aumento de 61% em relação ao tratamento controle, apenas com água (CE de 0,3 dS m⁻¹). Para esta variável, não se verificou influência da densidade ou da interação entre os tratamentos (Figura 3A).



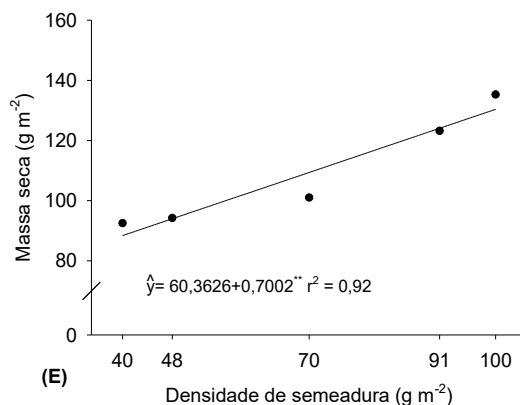


Figura 3. Altura de plântulas (A), massa de matéria fresca das plântulas (B e C) e massa de matéria seca das plântulas (D e E) de microverdes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função da densidade de semeadura e da condutividade elétrica (água ou solução nutritiva).

Os maiores valores de MFP (2.720 g m^{-2}) foram estimados para a CESn de $1,70 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 3B); por outro lado, verificou-se que o aumento da densidade de semeio resulta em um ganho linear, de modo que se verificou da MFP de até $2.905,83 \text{ g m}^{-2}$ quando se utilizou a densidade de 100 g m^{-2} (Figura 3C), ou seja, 57,5% maior em relação àqueles obtidos sob cultivo na menor DS (40 g m^{-2}).

O máximo rendimento da MSP ($122,8 \text{ g m}^{-2}$) foi estimado na CESn de $1,48 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 3D); o aumento da DS também implicou em um ganho linear da MSP, verificando-se valores de até $130,38 \text{ g m}^{-2}$ sob cultivo com DS de 100 g m^{-2} (Figura 3E), ou seja, 47,5% maior em relação àqueles obtidos sob cultivo na menor DS (40 g m^{-2}).

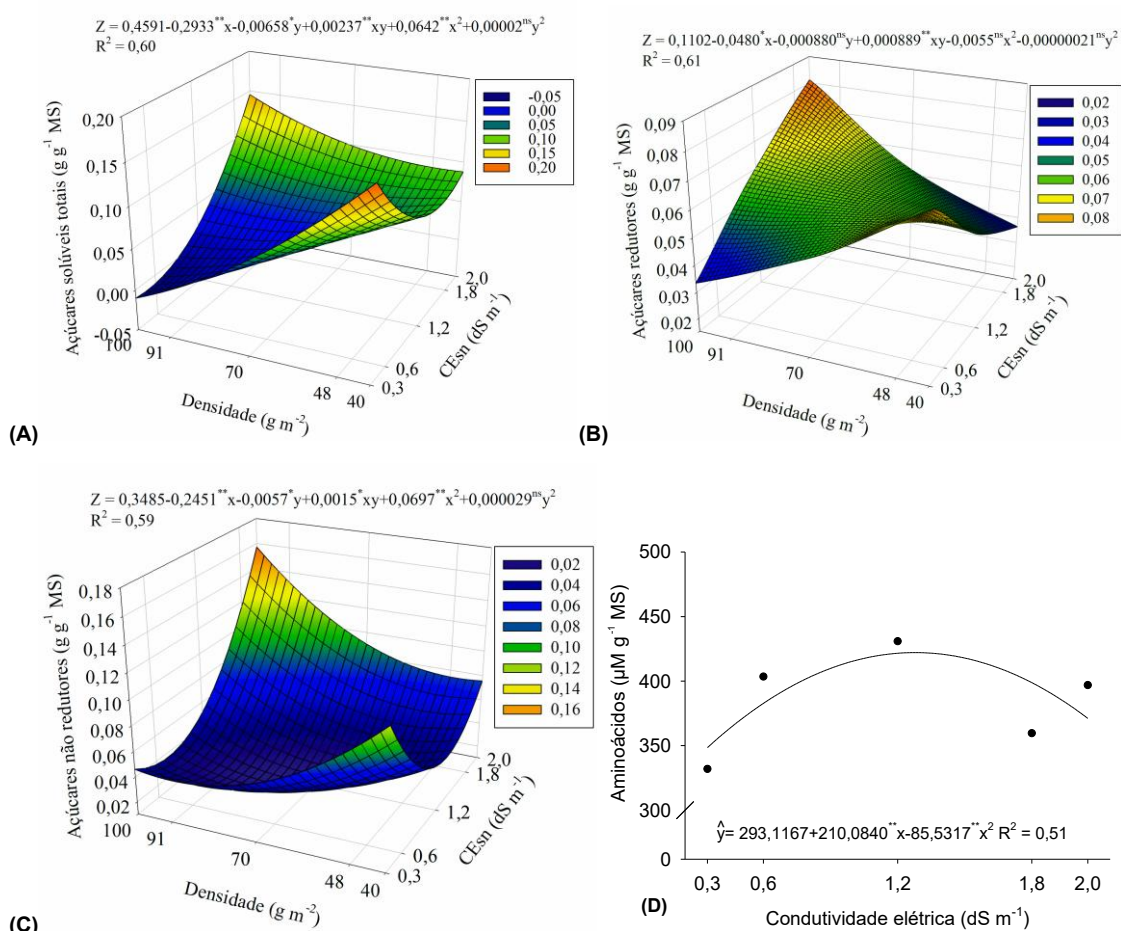
6.2. Solutos orgânicos

O teor de proteínas totais foi influenciado significativamente ($p \leq 0,01$) pela DS. Para os teores de AST (Figura 4A), açúcares redutores (Figura 4B) e não redutores (Figura 4C), notou-se uma interação significativa entre os fatores CE e DS. Além disso, para os aminoácidos, observou-se um efeito significativo isolado tanto da CE (Figura 4D) quanto da DS (Figura 4E).

Em relação ao comportamento de cada variável de acordo com os efeitos significativos, apesar da influência significativa da DS sobre o teor de

proteínas totais, não foi possível ajustar quaisquer modelos matemáticos aos dados (com uma média de 45,21 mg g⁻¹ MS).

Para os açúcares solúveis totais, o máximo teor de AST (0,1732 g g⁻¹ MS) foi estimado sob cultivo com CEsn de 0,3 dS m⁻¹ e DS de 40 g m⁻². Para os açúcares redutores, o máximo valor de 0,080 g g⁻¹ MS foi estimado sob cultivo na DS de 99,85 g m⁻² e CEsn de 1,99 dS m⁻¹. O teor máximo de açúcares não redutores (0,157 g g⁻¹ MS) foi estimado sob DS de 99,81 g m⁻² e CEsn de 1,99 dS m⁻¹.



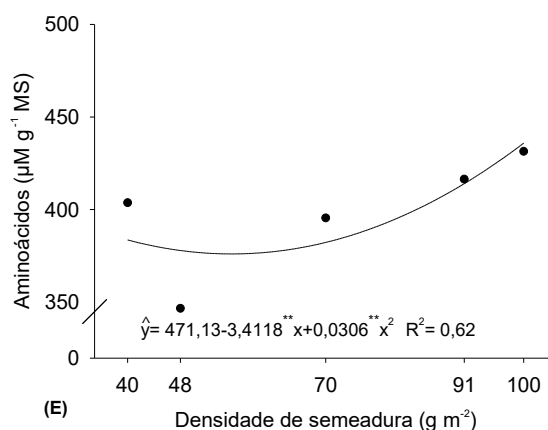


Figura 4. Efeito da interação entre condutividade elétrica (CE) e densidade de semeadura (DS) sobre os teores de açúcares solúveis totais (A), açúcares redutores (B), açúcares não redutores (C) e efeito isolado da CE (D) e DS (E) nos teores de aminoácidos livres de microverdes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.).

Para os aminoácidos nos microverdes de manjeriço, o menor acúmulo foi registrado no tratamento controle, com uma CEs_n de 0,3 dS m⁻¹, atingindo 348,44 µM g⁻¹ MS. Em contraste, o maior acúmulo foi calculado em aproximadamente 422 µM g⁻¹ MS, sob CEs_n de 1,23 dS m⁻¹. Posteriormente, o incremento da CE resultou em redução nos teores de aminoácidos (Figura 4D). Quanto à DS (Figura 4E), também houve um ajuste de modelo matemático quadrático; porém, com valor mínimo de 376,27 µM g⁻¹ MS sob DS estimada de aproximadamente 56 g m⁻². O máximo valor de aproximadamente 435,95 µM g⁻¹ MS foi estimado na maior DS (100 g m⁻²).

6.3. Compostos bioativos

Para as variáveis clorofila total e clorofilas a não houve efeito significativo dos fatores em estudo, com médias de 2,1596 mg g⁻¹ MS e 0,9868 mg g⁻¹ MS, respectivamente.

O conteúdo de carotenoides reduziu em função do incremento dos níveis de CEs_n (Figura 5A). A menor CE testada (0,3 dS m⁻¹), proporcionou o maior conteúdo de carotenoides estimado em 1,685 mg g⁻¹ MS. Por outro lado, o menor valor estimado foi de 1,087 mg g⁻¹ MS, associado a maior CEs_n avaliada (2,0 dS m⁻¹).

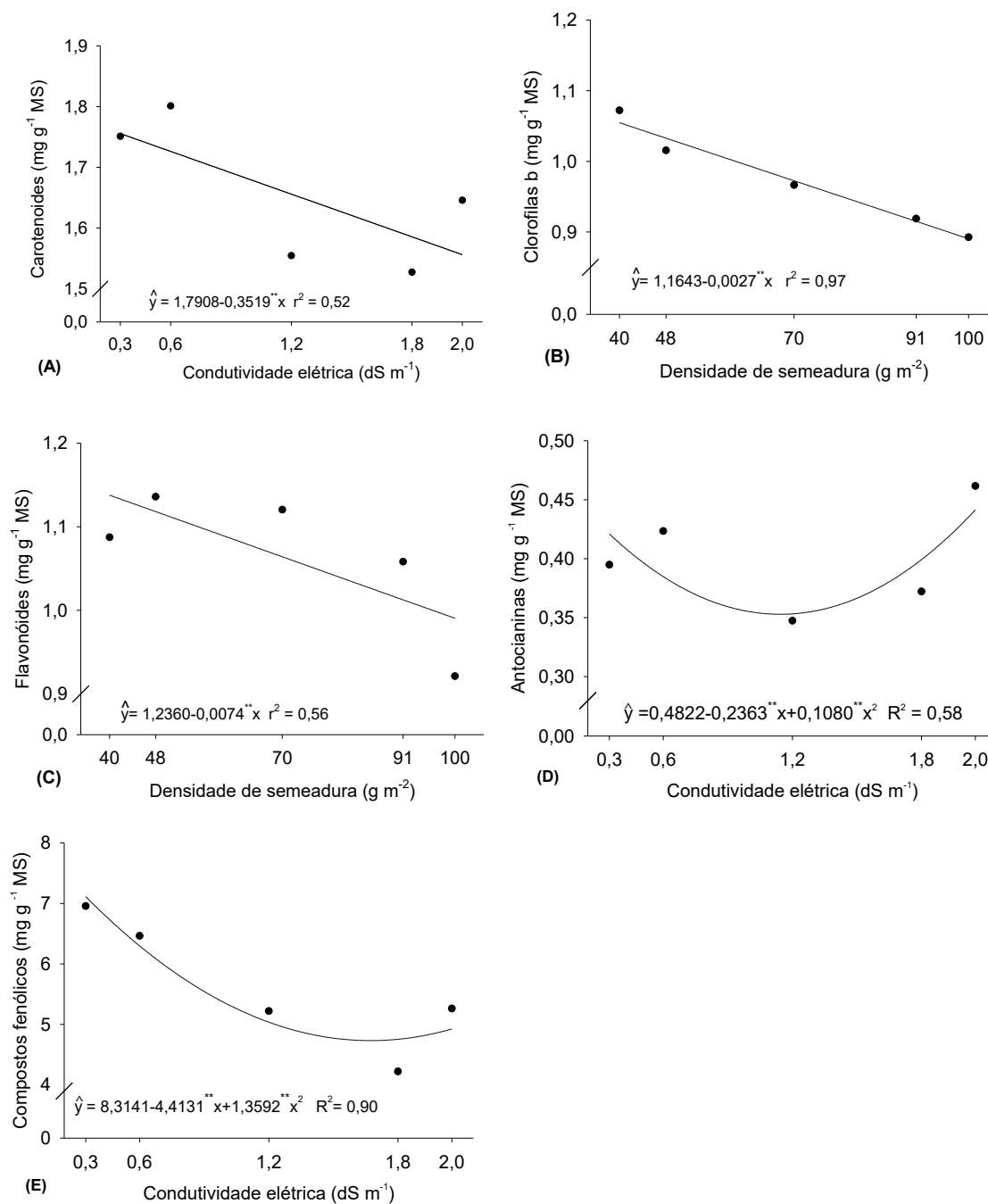


Figura 5. Efeito isolado da condutividade elétrica (CE) sobre os teores de (A) carotenoides, (D) antocianinas totais e (E) compostos fenólicos; e da densidade de semeadura (DS) sobre os teores de (B) clorofilas b e (C) flavonoides totais em microverdes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.).

As clorofilas b demonstraram uma relação linear inversa com a DS nos microverdes de manjeriço. Observou-se que a maior concentração de clorofila b ocorreu na menor densidade analisada (40 g m⁻²), atingindo aproximadamente

1,07 mg g⁻¹ MS. Por outro lado, a menor concentração foi registrada na maior densidade (100 g m⁻²), com valor em torno de 0,89 mg g⁻¹ MS (Figura 5B). Estes resultados evidenciam que o aumento da densidade de semeadura leva à redução expressiva e contínua da concentração de clorofila b nos microverdes.

Quanto ao teor de flavonoides verificou-se variação significativa ajustando-se ao comportamento linear com uma relação negativa, em resposta aos diferentes níveis de DS (Figura 5C). O valor máximo estimado de flavonoides foi de 1,19 mg g⁻¹ MS na menor DS testada (40 g m⁻²) e o mínimo 0,90 mg g⁻¹ MS na maior DS (100 g m⁻²). Isso indica que o aumento da DS resulta em menor acúmulo de flavonoides nas plântulas.

Na relação entre a CE e o teor de antocianinas verificou-se um comportamento quadrático, no qual os teores desse metabólito secundário diminuem (0,39 a 0,35 mg g⁻¹ MS) à medida que a CE aumenta de 0,3 até 1,1 dS m⁻¹, respectivamente, atingindo nesse ponto o valor mínimo observado. No entanto, a partir desse valor intermediário de CE, um novo incremento na CE provoca aumento contínuo nos teores de antocianinas, com o maior conteúdo (0,46 mg g⁻¹ MS) registrado na CE de 2,0 dS m⁻¹ (Figura 5D).

O acúmulo de compostos fenólicos variou significativamente em função da CE. O maior valor observado (7,11 mg g⁻¹ MS) foi registrado na menor CE testada (0,3 dS m⁻¹) (Figura 5E). À medida que a CE foi aumentada para valores intermediários, observou-se uma diminuição no conteúdo de compostos fenólicos, atingindo o valor mínimo 4,73 mg g⁻¹ MS na CE de 1,62 dS m⁻¹. A partir deste ponto, observa-se discreto aumento nos teores, chegando a 4,92 mg g⁻¹ MS na maior CE avaliada 2,0 dS m⁻¹. A síntese de compostos fenólicos não segue um padrão linear com o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva, mas apresenta um comportamento parabólico dentro da faixa adequada para o cultivo.

6.4. Solutos inorgânicos

Conteúdo nutricional

Quanto ao nitrogênio total (N), não se constatou efeito significativo ($p > 0,05$) para os fatores em estudo, sendo verificado uma média de 3,2868 mg g⁻¹ MS. O acúmulo de nitrato (NO₃⁻), foi influenciado significativamente ($p \leq 0,01$) pelos níveis de CEsn. Observou-se um padrão de aumento crescente no

conteúdo de NO_3^- nos tecidos vegetais conforme a CEsn foi elevada (Figura 5A). Na menor CE testada ($0,30 \text{ dS m}^{-1}$), o acúmulo de nitrato foi de $40,6 \mu\text{g g}^{-1} \text{ MS}$. Entretanto, foi a partir de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, que o incremento na CE resultou em elevação acentuada do teor de nitrato, chegando ao valor máximo de $88,08 \mu\text{g g}^{-1} \text{ MS}$ na maior CE aplicada ($2,0 \text{ dS m}^{-1}$).

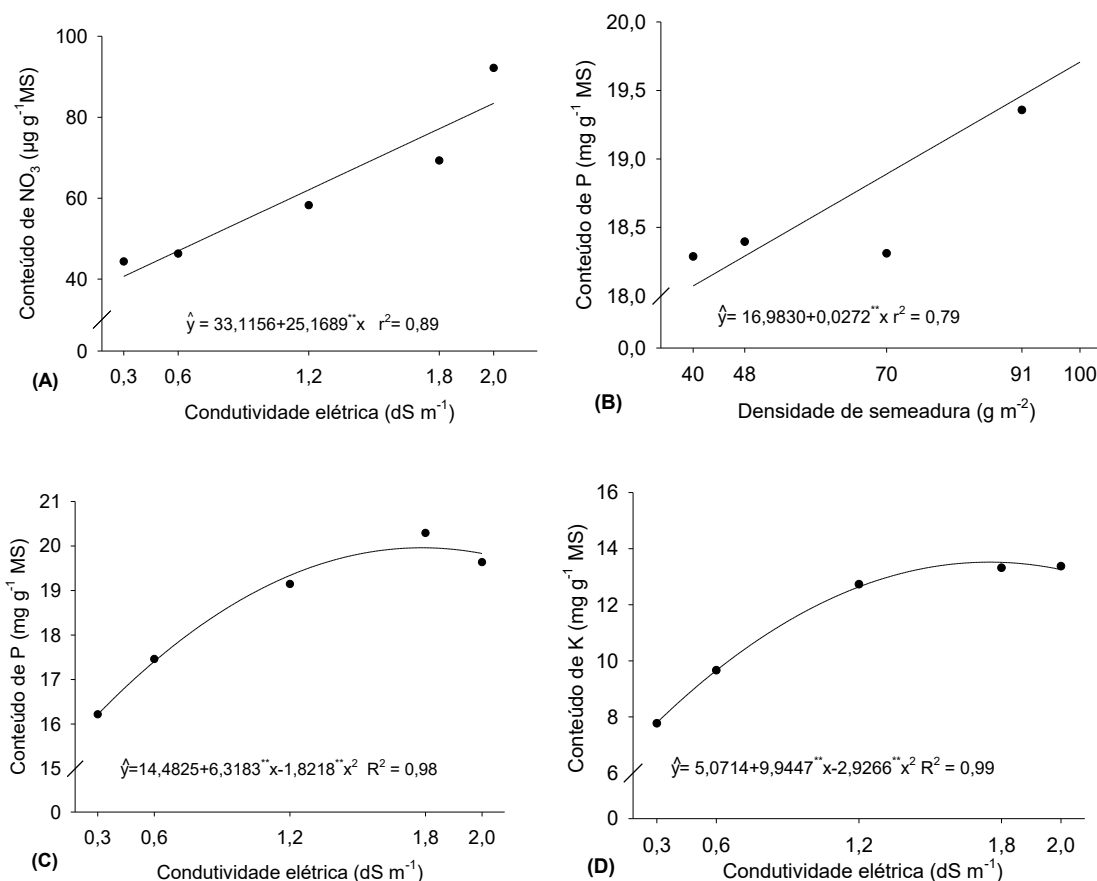


Figura 6. Efeito isolado da condutividade elétrica (CE) sobre os teores de (A) nitrato (NO_3^-), (C) fósforo (P) e (D) potássio (K) em função da condutividade elétrica (CE); e da densidade de semeadura (DS) sobre os teores de (B) fósforo (P) em microverdes de manjerição (*Ocimum basilicum* L.).

Os teores de fósforo (P) foram influenciados significativamente ($p < 0,01$) por ambos os fatores individualmente, sem que houvesse interação. Com relação a DS, adequou ao comportamento linear para descrever os resultados. Os maiores teores foram obtidos na maior DS (100 g m^{-2} ; $19,7 \text{ mg g}^{-1}$) (Figura 5B) e os menores na menor DS (40 g m^{-2} ; $18,07 \text{ mg g}^{-1}$).

Em relação a CE, verificou-se comportamento quadrático e o menor acúmulo de P ($16,37 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$), ocorreu na menor CE ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$), indicando baixa disponibilidade de P na água de abastecimento (controle). À medida que a CEs_n aumenta, há um incremento significativo no acúmulo de P, atingindo um valor máximo de $19,94 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$ na CEs_n de $1,73 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 5C)

Quanto ao K, seu teor aumentou inicialmente com o acréscimo da CE, alcançando seu teor máximo ($13,49 \text{ mg g}^{-1}$), registrado na CE de $1,70 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 5D). A partir deste ponto, valores superiores de CE não resultaram em aumento do teor de K nas plântulas.

7. DISCUSSÃO

A densidade de semeadura (DS) e a condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva permitem modular a produtividade e a qualidade dos microverdes. A capacidade de ajustar a CE da solução nutritiva e a DS é uma ferramenta valiosa para atingir diferentes objetivos de produção, otimizando o cultivo desta espécie em sistemas hidropônicos.

A altura de plântulas (AP) é um indicador fundamental da qualidade dos microverdes, visto que o alongamento excessivo (estiolamento) pode comprometer sua estrutura, reduzir a uniformidade do dossel e aumentar a suscetibilidade a doenças fúngicas, como reportado para diversas espécies (Cecílio Filho et al., 2025; Balik et al., 2025). Além disso, a AP tem implicações diretas na viabilidade e eficiência da colheita, que frequentemente é manual e visa a biomassa aérea (Senevirathne et al., 2019; Bulgari et al., 2021; Moraru et al., 2022).

No presente estudo, verificou-se que as plântulas de microverdes irrigadas com soluções nutritivas apresentaram maior AP em comparação com aquelas cultivadas exclusivamente com água de abastecimento. Isso evidencia o papel crucial dos nutrientes, essenciais para o crescimento celular e desenvolvimento dos microverdes (Senevirathne et al., 2019).

Ficou evidente que a aplicação de solução nutritiva (SN) promove aumentos significativos na AP e no acúmulo de biomassa. Há, inclusive, relatos que corroboram esses resultados. Por exemplo, Wieth et al. (2019) reportaram que a aplicação de uma SN com concentração de 100% (CE_{s_n} de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$) resultou em um aumento de 70% na AP e 110% na massa fresca das plântulas,

em comparação com o tratamento controle (apenas água), enfatizando a importância da SN para maximizar a produtividade.

De maneira similar, Bulgari et al., (2017), ao avaliarem microverdes de manjeriço e beterraba, utilizando vermiculita como substrato e uma CE de 1,2 dS m⁻¹, encontraram resultados similares (8 cm e 3000 g m⁻²) para a altura das plântulas e acúmulo de biomassa, respectivamente, quando comparados ao controle.

A biomassa das plântulas, expressa pela massa fresca (MFP) e seca das plântulas (MSP), é um índice econômico vital para os produtores, refletindo diretamente o rendimento comercializável (Bulgari et al., 2017). O custo elevado das sementes na produção de microverdes ressalta a importância de uma DS adequada, que impacta diretamente o desenvolvimento inicial, a competição por recursos e o acúmulo de biomassa (Di Gioia et al., 2019).

Particularmente, o aumento da DS até o maior nível testado favoreceu a produtividade de microverdes de manjeriço, tanto em MFP quanto em MSP. O incremento absoluto de 42 g m⁻² na MS, representou um ganho relativo de 48% em relação ao menor valor avaliado, evidenciando o impacto positivo do adensamento sobre o rendimento da cultura. Diferentemente do que é observado em densidades excessivamente elevadas (Ampim et al., 2021), em que há maior risco de estiolamento, redução da uniformidade de dossel e aumento da suscetibilidade a doenças fúngicas (Spinardi e Ferrante, 2012), neste estudo não se observou comprometimento da sanidade ou qualidade dos microverdes de manjeriço dentro dos limites testados.

Ou seja, para esta espécie e sob as condições de cultivo ora trabalhadas, a competição por recursos gerada pelo maior número de plântulas é compensada pelo seu curto ciclo de cultivo e pela maior eficiência no aproveitamento de espaço, luz e nutrientes, dentro dos limites avaliados. No entanto, é crucial que densidades ainda maiores sejam investigadas para identificar o ponto de saturação ou de declínio de produtividade do manjeriço.

Em relação à CE, os menores valores de MFP e MSP foram registrados no cultivo com apenas água. Em contraste, os maiores valores foram obtidos com soluções nutritivas de 1,7 dS m⁻¹ para MFP e 1,48 dS m⁻¹ para MSP, respectivamente. A ausência de fertilização implicou em uma redução de aproximadamente 48% na MFP e 40% na MSP em comparação com os valores

máximos. A literatura sobre microverdes de manjeriço mostra que os valores ótimos, incluindo de CE de aproximadamente $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, favorecem um bom crescimento e rendimento, alinhando-se bem com os valores ótimos de CE observados para MFP e MSP (Ghoora et al., 2020)

Essa evidência destaca o expressivo benefício da fertilização no crescimento e na produtividade de microverdes, corroborando estudos em outras espécies (Xiao et al., 2012; Di Gioia et al., 2015, Ghoora et al., 2020). A identificação de uma faixa ótima de aporte nutricional que, nesta pesquisa, representou uma CE_{sn}, entre $1,48$ e $1,70 \text{ dS m}^{-1}$, para o acúmulo de biomassa de manjeriço é crucial para a formulação de protocolos de cultivo, visto que níveis baixos de CE limitam o crescimento devido à insuficiência de nutrientes. Por outro lado, concentrações elevadas podem não resultar em ganhos proporcionais de biomassa e podem, inclusive, induzir a um estresse osmótico reduzindo a absorção de água, tornando-se economicamente dispendiosas, e também a fitotoxicidade por íons específicos (Xiao et al., 2012; Di Gioia et al., 2017; Lerner et al., 2024).

Estes resultados são consistentes com diversos estudos em microverdes. Di Gioia et al. (2017) relataram que o rendimento de microverdes de rúcula aumentou aproximadamente 2,4 vezes quando cultivados em soluções nutritivas com CE de $1,2$ e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, em comparação ao tratamento em água. Ciriello et al. (2023) demonstraram que a resposta ao aumento da CE é dependente da cultivar, identificando uma faixa ótima de CE_{sn} entre $1,5$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ para diferentes espécies de microverdes. Embora a fertilização seja necessária, a escolha adequada da DS e o ajuste da CE são determinantes para a maximização da produção e da eficiência do uso de nutrientes.

Diversos estudos (Xiao et al., 2015; Di Gioia et al., 2017; Wieth et al., 2019) consistentemente apontam que há teores baixos de açúcares em microverdes, o que é benéfico a saúde humana, uma vez que a ingestão de altos níveis de açúcares está associada a diversos problemas de saúde (Bulgari et al., 2017).

Por outro lado, embora a baixa concentração de açúcares seja valorizada em dietas com restrição de carboidratos, reservas reduzidas podem, por outro lado, influenciar processos metabólicos internos cruciais, como a

respiração, e comprometer a longevidade pós-colheita, que frequentemente se limita a 2-3 dias (Chandra et al., 2012; Xiao et al., 2015).

Neste trabalho, a resposta positiva dos teores de açúcares solúveis (totais, redutores e não redutores) às maiores DS e CE observadas permite inferir que o manejo conjunto desses fatores é uma estratégia eficaz para otimizar a qualidade nutricional dos microverdes de manjericão. Entretanto, essa constatação difere do que foi observado por Wieth et al., (2019), que reportaram os maiores teores de açúcares no cultivo controle (apenas água). Em contraste, neste estudo, o maior acúmulo de açúcares foi estimado em níveis de CEsn mais elevados, porém em interação com as maiores DS.

A capacidade de modular o teor de açúcares, é relevante, pois o perfil nutricional geral dos microverdes, caracterizado por baixos teores de açúcares, alinha-se às recomendações de dietas saudáveis focadas na saúde humana, contribuindo para a redução do risco de doenças como diabetes tipo 2 (Bhaswant et al., 2023). Em 6 espécies (brócolis, rabanete-preto, beterraba, ervilha, girassol, feijão), os açúcares variaram de 0,114–0,580 mg/100 g MFP (Balik et al., 2025). As recomendações atuais frequentemente preconizam o consumo de vegetais e frutas com baixo teor de açúcar (Ma et al., 2022), destacando-os como um valioso componente dietético alinhado a abordagens preventivas e de controle de saúde. Corroborando essa perspectiva, Bulgari et al., (2021), ao compararem microverdes de manjericão roxo, manjericão verde e rúcula, observaram que o manjericão verde (0,320 mg kg⁻¹ de MFP) acumulou os menores níveis de açúcares entre as outras espécies.

Neste estudo, os máximos teores de aminoácidos foram estimados na maior DS testada, indicando que, até este limite, as plântulas mantiveram acesso suficiente aos recursos (nitrogênio, energia) para o metabolismo primário e a síntese de aminoácidos, mesmo sob condições de maior competição. Ghoora et al. (2020) verificaram valores de aminoácidos totais em microverdes de manjericão na faixa de 400 a 500 µM g⁻¹ de massa seca, dados similares aos máximos obtidos neste experimento.

Contrariamente ao que é comumente reportado na literatura, em que o aumento da CEsn, dentro de certos limites, geralmente promove o acúmulo de carotenoides em microverdes, como observado por Teng et al. (2021), que registraram aumento de carotenoides em rúcula de 1,2 para 1,8 dSm⁻¹, no

presente estudo notou-se um comportamento distinto para a cultivar de manjeriço utilizada, observando-se que CEs_n mais baixas favorecem o acúmulo de carotenóides.

Os carotenóides, além de serem pigmentos importantes para a fotossíntese, desempenham um papel crucial na fotoproteção, dissipando energia excessiva e eliminando espécies reativas de oxigênio (ROS) (Li et al., 2018; Bulgari et al., 2021). No entanto, sua síntese e estabilidade podem ser complexamente moduladas pelas condições ambientais.

Conforme já mencionado (Bulgari et al., 2021), a alta CEs_n pode induzir até o estresse osmótico nas plântulas, levando à degradação oxidativa dos carotenóides ou ao redirecionamento de recursos metabólicos para mecanismos de defesa primária. Esses resultados sugerem que condições de menor condutividade elétrica favorecem a síntese ou manutenção de carotenóides nos microverdes de manjeriço, enquanto elevadas CE podem prejudicar esse acúmulo.

Contrariamente ao que é comumente reportado na literatura, em que o aumento da CEs_n, dentro de certos limites, geralmente promove o acúmulo de carotenóides em microverdes, por exemplo, (Teng et al., 2021), que registraram aumento de carotenóides em rúcula de 1,2 para 1,8 dS m⁻¹. Este achado, embora divergente da tendência geral, está em consonância com os resultados de Wieth et al. (2019). Eles reportaram uma queda nos teores de carotenóides em plantas cultivadas em substrato orgânico quando a CEs_n foi elevada de 0,3 para 2 dS m⁻¹. Wieth et al. (2019) atribuíram essa resposta à indução de estresse pelas concentrações elevadas da solução nutritiva (maior concentração iônica), sendo essa resposta modulada por outros fatores como o tipo de substrato e as características específicas da cultivar.

De forma mais detalhada, os autores sugerem que a queda nos teores de carotenóides resulta de uma resposta de estresse multifatorial, que inclui principalmente por desequilíbrio nutricional, todos induzidos pela CEs_n elevada. Em vez de estimular sua produção como mecanismo de defesa fotoprotetora, esse estresse pode ter levado à sua degradação ou ao redirecionamento de recursos metabólicos para mecanismos de defesa primários, impactando negativamente o conteúdo final desses pigmentos (Wieth et al., 2019)

Além da luz e das espécies, a disponibilidade de nutrientes e água também afetam a acumulação de carotenoides. Altas concentrações de nutrientes na solução nutritiva podem induzir a um baixo metabolismo da planta (Kopsell e Kopsell, 2010), como encontrado no presente trabalho.

A coloração dos microverdes, influenciada por pigmentos como clorofila e carotenoides, é um atributo determinante para a aceitação do consumidor e valor de mercado (Bulgari et al., 2021; Petibon e Wiesenberg, 2022), além de indicar a saúde geral da planta.

Em repolho roxo, por exemplo, o aumento da DS de 60 para 300 g m⁻² elevou a produtividade, porém, resultou na diminuição dos teores de clorofilas e carotenoides, com a concentração máxima de clorofila registrada na menor DS (Cecílio Filho et al., 2025). Similarmente, em nosso estudo com a cultivar 'Limoncino', o incremento da DS provocou uma redução linear nos teores de clorofila b. A redução de clorofila (especialmente b) e carotenoides com aumento da DS é atribuída principalmente à competição por luz e espaço, que induz estiolamento e menor investimento relativo em aparato fotossintético, gerando o típico *trade-off* entre produtividade por área e qualidade nutricional.

No presente estudo, observou-se uma redução significativa na concentração de flavonoides com o aumento da DS, evidenciando um efeito negativo da competição entre plantas na produção desses metabólitos. Em altas densidades, a competição por espaço e por luz pode levar à alocação preferencial de recursos para o crescimento vegetativo em detrimento da produção de metabólitos secundários (Swoczyna et al., 2022). Com base nesse comportamento, infere-se que a DS não apenas impacta a produtividade, mas também a qualidade funcional dos microverdes, com implicações para seu potencial como alimento funcional.

As antocianinas, pigmentos vegetais hidrossolúveis responsáveis pelas colorações vermelhas, roxas e azuis, acumulam-se em vacúolos celulares e sua produção é influenciada por fatores genéticos e ambientais (Wu et al., 2023). No presente estudo, verificou-se um padrão de parábola em forma de "U", mostrando maiores quantidades em condutividades elevadas, mas também em CEs muito baixas. Segundo Ampim et al. (2021), flavonoides de defesa, como as antocianinas são metabolicamente custosos e podem inibir o crescimento. Fatores genéticos e a nutrição mineral exercem influência decisiva, favorecendo

a síntese de antocianinas em situações estresse (como deficiência ou excesso de nutrientes) (Zhao et al., 2020; Ampim et al., 2021), corroborando sua função protetora e a importância do manejo de nutrientes.

Diferentes estudos concluíram que o manjeriço contém quantidades significativas de compostos fenólicos com efeitos antioxidantes, por exemplo, ácido chicórico (Lee e Scagel, 2009), ácido rosmarínico e ácido cafeico (Surveswaran et al., 2007). Sua quantidade varia de acordo com as cultivares de manjeriço, com valores entre 3,47 e 17,58 mg g⁻¹ de MS expressos em equivalentes de ácido gálico (Kwee e Niemeyer, 2011). Comparando esses dados, o maior valor obtido no presente trabalho (7,11 mg g⁻¹ MS) está dentro da faixa de valores relatada.

No presente trabalho, foram estimados em maior teor na menor CE testada, com diminuição à medida que a CE aumentou. Os compostos fenólicos são o grupo mais abundante de metabólitos secundários e desempenham papel primordial na capacidade antioxidante dos microverdes de manjeriço (Palmitessa et al., 2017; Fayeziadeh et al., 2023).

Em microverdes de manjeriço em sistema floating, concentrações mais baixas de solução nutritiva (25% Hoagland) aumentaram polifenóis e atividade antioxidante em relação a concentrações intermediárias, embora uma concentração muito alta (2,5 dS m⁻¹) também pudesse elevar fenólicos em alguns genótipos (Fayeziadeh et al. 2023). Revisões sobre estresse abiótico indicam que sob estresses leves (nutricionais, luz, temperatura) leva ao acúmulo de polifenóis como mecanismo de defesa (Bhatt e Sharma, 2018).

A controvérsia na literatura sobre a dose ideal de nutrientes para microverdes é evidente; altas concentrações de CE nem sempre promovem melhoria nos parâmetros desejáveis e podem levar a desperdícios de fertilizantes e recursos. Estratégias para maximizar o potencial antioxidante sem comprometer o desempenho produtivo exigem mais pesquisas para melhor compreensão e aplicação.

A literatura geralmente demonstra uma correlação positiva entre o aumento da CEs_n e o acúmulo de nitrato em microverdes, a partir de aproximadamente 0,6 dS m⁻¹, refletindo maior disponibilidade e absorção de nitrato pelas plântulas (Manawasinghe et al., 2021; Balik et al., 2025). Estudos mostram que, embora o aumento na oferta de nitrato possa melhorar a produção

de matéria fresca e os parâmetros de crescimento (Weitzberg e Lundberg., 2013) frequentemente leva ao acúmulo elevado de nitrato, o que geralmente é indesejável devido aos potenciais riscos à saúde associados à alta ingestão de nitrato na dieta (Palmitessa et al., 2020; Petropoulos et al., 2021). Os níveis típicos de nitrato em microverdes variam de acordo com a espécie e as condições de crescimento, mas geralmente variam de algumas centenas a alguns milhares de mg/kg de peso fresco, com algumas espécies acumulando naturalmente quantidades maiores (Ferrón-Carrillo et al., 2021). De modo geral, embora o aumento da condutividade elétrica (CE) tenda a elevar o teor de nitrato de forma linear ou quase linear dentro de certas faixas, o controle da CE e do fornecimento de nutrientes é crucial para equilibrar o desempenho do crescimento e minimizar o acúmulo excessivo de nitrato em microverdes (Petropoulos et al., 2021).

Nenhuma espécie de microverdes contém a melhor combinação ou o nível mais alto de nutrientes. Pelo contrário, algumas variedades frequentemente absorvem certos minerais mais do que outras. Por exemplo, os microverdes de manjeriço normalmente absorvem menos N e K do que os microverdes de rúcula, porém absorvem mais fósforo do que os microverdes de rúcula (Bulgari, et al., 2017). Em microverdes, o K é vital para a firmeza dos tecidos e a qualidade pós-colheita (Wu et al., 2023). Ele interage sinergicamente com o fósforo, otimizando processos energéticos vitais e a eficiência da utilização de ATP, garantindo que a energia produzida seja efetivamente utilizada para o crescimento e desenvolvimento.

O fósforo é essencial para a germinação das sementes, o desenvolvimento das raízes, o armazenamento e a transferência de energia (ATP), e a formação de ácidos nucleicos (Fayezizadeh et al., 2023). A compreensão de como CE e DS modulam a absorção, translocação e utilização desses macronutrientes é fundamental para otimizar o cultivo de microverdes de manjeriço, maximizando a eficiência do uso de nutrientes e minimizando o desperdício. Um equilíbrio adequado evita inibições competitivas, como o excesso de K que pode bloquear a absorção de Ca ou Mg, ou estresses osmóticos que reduzem drasticamente a absorção geral de nutrientes.

A presença de todos esses nutrientes contribui para o potencial de uso e valor do manjeriço exigindo a parametrização eficaz do ambiente de produção

de microverdes de manjeriço por meio de sistemas hidropônicos para otimizar o teor de seus compostos benéficos.

8. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo em microverdes de manjeriço evidenciam que tanto a densidade de semeadura quanto a condutividade elétrica da solução nutritiva são fatores determinantes que afetam de forma significativa as variáveis analisadas. A otimização desses parâmetros permite modular não apenas o crescimento e a produção de biomassa, mas também a qualidade nutricional e o potencial bioativo, além de influenciar a segurança alimentar (NO_3^-).

Para maximizar a biomassa, a CE ideal situa-se entre 1,48 e 1,70 dS m^{-1} , permitindo DS de até 100 g m^{-2} sem perdas de qualidade. No entanto, para reduzir nitrato e aumentar fósforo e potássio, CEs intermediárias (0,6 a 1,2 dS m^{-1}) são mais eficazes.

O maior acúmulo de compostos bioativos ocorre com CEs mais baixas (0,3 a 0,6 dS m^{-1}) e DS reduzidas (40 g m^{-2}).

Estes achados reforçam a necessidade de pesquisa contínua para refinar as práticas de cultivo, buscando um equilíbrio dinâmico entre alto rendimento, excelente qualidade nutricional e segurança para o consumidor.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abaajeh, A. R.; Kingston, C. E.; Harty, M. Environmental factors influencing the growth and pathogenicity of microgreens bound for the market: a review. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 38, e12, 2023. <https://doi.org/10.1017/S174217052300008X>

Al-Chalabi, M. Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable Cities and Society*, v. 18, p. 74-77, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003>

Allred, J.; Mattson, N. Growing better greenhouse microgreens. Under control: tips for controlled environment growing. *GPN Greenhouse Product News*, v.15, 6213, p. 10-13, 2018.

Ampim, P. A. Y.; Obeng, E.; Gonzalez, E. O.; Weerasooriya, A.; Osuji, G. O.; Myers Sr., D. J. The response of Egyptian spinach and vegetable amaranth microgreens to different light regimes. *Scientific Journal of Biology & Life Sciences*, v. 1, n. 3, p. 1-5, 2021. <https://doi.org/10.33552/SJBL.S.2020.01.000512>

Balik, S.; Elgudayem, F.; Dasgan, H. Y.; Kafkas, N. E.; Gruda, N. S. Nutritional quality profiles of six microgreens. *Scientific Reports*, n. 15(1), p. 6213, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85860-z>

Barros, I. S.; Silva, M. G.; Souza, E. S.; Rodrigues, A. S.; Silva, T. I.; Gheyi, H. R.; Pereira, G. S. J.; Sacramento, L. S.; Andrade, A. S.; Oliveira, P. S.; Santos, E. V. R. Densidade de semeio de microverdes de amaranto sob diferentes condutividades elétricas das soluções nutritivas. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 13, n. 1-3, p. 14-29, 2024. <https://doi.org/10.19149/wrim.v14i1-3.4999>

Bhatt, P.; Sharma, S. Microgreens: A nutrient rich crop that can diversify food system. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, v. 6, n. 2, p. 182-186, 2018. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6251>

Bhaswant, M.; Shanmugam, D.; Miyazawa, T.; Abe, C.; Miyazawa, T. Microgreens—A comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*, v. 28, n. 2, p. 867, 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>

Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Bulgari, R.; Baldi, A.; Ferrante, A.; Lenzi, A. Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, v. 45, n. 2, p. 119-129, 2017. <https://doi.org/10.1080/01140671.2016.1259642>

Bulgari, R.; Negri, M.; Santoro, P.; Ferrante, A. Quality evaluation of Indoor-grown microgreens cultivated on three different substrates. *Horticulturae*, v. 7, n. 5, 96, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050096>

Caracciolo, F.; El-Nakhel, C.; Raimondo, M.; Kyriacou, M.; Cembalo, L.; Pascale, S.; Roupahel, Y. Sensory attributes and consumer acceptability of 12 microgreens species. *Agronomy*, v. 10, n. 7, 71043, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071043>

Cecílio Filho, A. B.; Pindobeira, W. M.; Alves, T. N.; Ribera, L. M.; Medelo, M. J. Y. How does sowing density affect physiology, yield, and quality of red cabbage microgreens? *Bragantia*, v. 84, e20240232, 2025. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20240232>

Chandra, D.; Kim, J. G.; Kim, Y. P. Changes in microbial population and quality of microgreens treated with different sanitizers and packaging films. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, v. 53, n. 1, p. 32-40, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0075-6>

Choe, U.; Yu, L. L.; Wang, T. T. Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st Century. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 66, n. 44, p. 11519-11880, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03096>

Ciriello, M.; Formisano, L.; El-Nakhel, C.; Zarrelli, A.; Giordano, M.; De Pascale, S.; Rouphael, Y. Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine. *Scientia Horticulturae*, v. 320, 112229, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112229>

Ciuta, F.; Arghir, L. D.; Tudor, C. A.; Lagunovschi-Luchian, V. Research on microgreens farming in vertical hydroponic system. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, v. 24, n. 4, p. 27-34, 2020.

Dhama, K.; Sharun, K.; Gugjoo, M. B.; Tiwari, R.; Alagawany, M.; Iqbal Yattoo, M.; Farag, M. R. A comprehensive review on chemical profile and pharmacological activities of *Ocimum basilicum*. *Food Reviews International*, v. 39, n. 1, p. 119-147, 2023. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1900230>

Dias, F.; Peil, N.; Rombaldi, V.; Mauch, R.; Perin, L. Biofortificação agronômica com zinco: respostas biométricas e fitoquímicas de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjeriço. *Revista Delos*, v. 16, n. 47, p. 2719-2737, 2023. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n47-012>

Di Gioia, F.; Hong, J. C.; Pisani, C.; Petropoulos, S. A.; Bai, J.; Roskopf, E. N. Yield performance, mineral profile, and nitrate content in a selection of seventeen microgreen species. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 1220691, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1220691>

Di Gioia, F.; Petropoulos, S.; Ferreira, I.; Roskopf, E. Microgreens: From trendy vegetables to functional food and potential nutrition security resource. *Acta Horticulturae*, v. 1321, p. 235-242, 2021. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1321.31>

Di Gioia, F.; Petropoulos, S.; Ozores-Hampton, M.; Morgan, K.; Roskopf, E. Zinc and iron agronomic biofortification of Brassicaceae microgreens. *Agronomy*, v. 9, n. 11, 677, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110677>

Di Gioia, F.; Renna, M.; Santamaria, P. Sprouts, microgreens and “*baby leaf*” vegetables. In: Yildiz, F.; Wiley, R. C. (eds.). *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. 2nd ed. New York: Springer, p.403-432, 2017. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7018-6_11

Di Gioia, F.; Santamaria, P. *Microgreens—Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. Nuevos alimentos frescos y funcional para explorar todo el valor de la biodiversidad*, 2015.

Dubois, M.; Gilles, K.; Hamilton, J.; Rebers, P.; Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

Ebert, A. Sprouts and microgreens—Novel food sources for healthy diets. *Plants*, v. 11, n. 4, 40571, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11040571>

Ebrahimi, P.; Shokramraji, Z.; Tavakkoli, S.; Mihaylova, D.; Lante, A. Chlorophylls as natural bioactive compounds existing in food by-products: a critical review. *Plants*, v. 12, n. 7, 1533, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12071533>

El-Nakhel, C.; Pannico, A.; Graziani, G.; Kyriacou, M.; Gaspari, A.; Ritieni, A.; Pascale, S.; Roupael, Y. Nutrient supplementation configures the bioactive profile and production characteristics of three *Brassica* L. microgreens species grown in peat-based media. *Agronomy*, v. 11, n. 2, 20346, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020346>

Ferrante, A.; Incrocci, L.; Maggini, R.; Serra, G.; Tognoni, F. Colour changes of fresh-cut leafy vegetables during storage. *Journal of Food Agriculture and Environment*, v. 2, n. 3-4, p. 40-44, 2004.

Francis, F. Analysis of anthocyanins. Anthocyanins as Food Colors. New York: Academic Press, p. 184, 1982.

Freitas, I. S.; Mello, S. C.; Nemali, K. Supplemental light quality affects optimal seeding density of microgreens. *Urban Agriculture & Region Food Systems*, v. 9, n. 1, 20064, 2024. <https://doi.org/10.1002/uar2.20064>

Furlani, P. R.; Silveira, L. C. P.; Bolonhezi, D.; Faquin, V. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999. 52p. (Boletim Técnico, 180).

Ghoora, D.; Dandamudi, R.; Srividya, N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*. v. 91, 103495, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103495>

Ghorbanpour, M.; Asgari Lajayer, H.; Hadian, J. Influence of copper and zinc on growth, metal accumulation and chemical composition of essential oils in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Medicinal Plants*, v. 15, n. 59, p. 132-144, 2016.

Gonçalves, C.; Rodriguez-Jasso, R.; Gomes, N.; Teixeira, J.; Belo, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. *Analytical Methods*, v. 2, n. 12, p. 2046-2048, 2010. <https://doi.org/10.1039/C0AY00525H>

Huh, M. K.; Lee, B. The change of chlorophyll content and chlorophyll efficiency in *Epipremnum aureum* by water and pH. *European Journal of Botany*, v.1, n. 2, p. 1-5, 2022. <http://dx.doi.org/10.24018/ejbotany.2022.1.2.12>

Johnson, S. A.; Prenni, J. E.; Heuberger, A. L.; Isweiri, H.; Chaparro, J. M.; Newman, S. E.; Uchanski, M. E.; Omerigic, H. M.; Michell, K. A.; Bunning, M.; Foster, M. T.; Thompson, H. J.; Weir, T. L. Comprehensive evaluation of metabolites and minerals in 6 microgreen species and the influence of maturity. *Current Developments in Nutrition*, v. 5, n. 2, nzaa180, 2020. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa180>

Jones-Baumgardt, C.; Llewellyn, D.; Ying, Q.; Zheng, Y. Intensity of sole-source light-emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microgreens. *HortScience*, v. 54, n. 7, p. 1168-1174, 2019. <https://doi.org/10.21273/hortscl13788-18>

Keeney, D. R.; Bremner, J. M. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by steam-distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 30, p. 583-587, 1966.

Kjeldahl, J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, v. 22, p. 366-382, 1883.

Kopsell, D.; Kopsell, E. Fruits and vegetables. Bioactive foods in promoting health: Fruits and Vegetables. San Diego: Academic Press, v.1, n. 6, p. 645-662, 2010.

Kwee, E.M.; Niemeyer, E.D. Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, n. 128, n. 4, p. 1044-1050, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.011>

Kyriacou, M. C.; El-Nakhel, C.; Graziani, G.; Pannico, A.; Soteriou, G. A.; Giordano, M.; Ritieni, A.; De Pascale, S.; Roupael, Y. Functional quality in novel food sources: Genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species. *Food Chemistry*, v. 277, p. 107-118, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.098>

Kyriacou, M. C.; Roupael, Y.; Di Gioia, F.; Kyratzis, A.; Serio, F.; Renna, M.; De Pascale, S.; Santamaria, P. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, v. 57, p. 103-115, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>

Kyriacou, M.C.; Ebert, A.W.; Samuolienė, G.; Brazaitytė, A. Sprouts, microgreens and edible flowers: Modulation of quality in functional specialty crops. *Frontiers*

in Plant Science, v. 13, 1033236, 2022.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033236>

Lee, J.; Scagel, C.F. Chicoric acid found in basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. Food Chemistry, v. 115, n. 2, p. 650-656, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.075>

Lerner, B. L.; Strassburger, A. S.; Schäfer, G. Cultivation of arugula microgreens: seed densities and electrical conductivity of nutrient solution in two growing seasons. Bragantia, v. 83, e20230183, 2024. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20230183>

Li, Y.; He, N.; Hou, J.; Xu, L.; Liu, C.; Zhang, J.; Wu, X. Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. Frontiers in Ecology and Evolution, v. 6, 64, 2018. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00064>

Li, T.; Lalk, T.; Arthur, D.; Johnson, H.; Bi, G. Shoot production and mineral nutrients of five microgreens as affected by hydroponic substrate type and post-emergent fertilization. Horticulturae, v. 7, n. 6, 129, 2021.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7060129>

Ma, S.; Tian, S.; Sun, J.; Pang, X.; Hu, Q.; Li, X.; Lu, Y. Broccoli microgreens have hypoglycemic effect by improving blood lipid and inflammatory factors while modulating gut microbiota in mice with type 2 diabetes. Journal of Food Biochemistry, v. 46, n. 7, e14145, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14145>

Makri, O.; Kintzios, S. *Ocimum* sp. (basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, v. 13, n. 3, p. 123-150, 2008. https://doi.org/10.1300/J044v13n03_10

Manawasinghe, N.; Weerasekara, S.; Karunaratne, C.; Weerakkody.; Kulapala, B. Influence of substrate and supplementary LED lighting on vertical farming of basil (*Ocimum basilicum* L.) and pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*). Asian

Journal of Agricultural and Horticultural Research, v. 7, n. 4, p. 42-52, 2021.
<https://doi.org/10.9734/ajahr/2020/v7i430103>

Marchioni, I.; Martinelli, M.; Ascrizzi, R.; Gabbrielli, C.; Flamini, G.; Pistelli, L. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. Foods, v. 10, n. 2, 20427, 2021.
<https://doi.org/10.3390/foods10020427>

Michell, K.; Isweiri, H.; Newman, S.; Bunning, M.; Bellows, L.; Dinges, M.; Grabos, L.; Rao, S.; Foster, M.; Heuberger, A.; Prenni, J.; Thompson, H.; Uchanski, M.; Weir, T.; Johnson, S. Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. Journal of Food Science, v. 85, n. 4, p. 926-935, 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15075>

Mir, S.; Shah, M.; Mir, M. Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 57, n. 12, p. 2730-2736, 2017. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1144557>

Moraru, P. I.; Rusu, T.; Mintas, O. S. Trial protocol for evaluating platforms for growing microgreens in hydroponic conditions. Foods, v. 11, n. 9, 1327, 2022.
<https://doi.org/10.3390/foods11091327>

Mordor Intelligence. Microgreens market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026), 2021.

Murphy, C.; Pill, W. Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; *Eruca vesicaria* subsp. sativa). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, v. 85, n. 3, p. 171-176, 2010.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2010.11512650>

Murphy, J.; Riley, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, v. 27, p. 31-36, 1962.

Nolan, D. A. Effects of seed density and other factors on the yield of microgreens grown hydroponically on burlap. Virginia Tech, p. 44, 2018.

Palmitessa, O. D.; Lami, E.; Vivaldo, G.; Caporale, M.; Cazzola, S.; Scazzola, E. Microgreens production: a novel food source for urban agriculture. *Acta Horticulturae*, v. 1157, p. 297-302, 2017.

Palmitessa, O. D.; Renna, M.; Crupi, P.; Lovece, A.; Corbo, F.; Santamaria, P. Yield and quality characteristics of *Brassica* microgreens as affected by the NH₄:NO₃ molar ratio and strength of the nutrient solution. *Foods*, v. 9, n. 5, p. 677, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9050677>

Partap, M.; Sharma, D.; Deekshith, H. N.; Thakur, M.; Verma, V.; Ujala; Bhargava, B. Microgreen: A tiny plant with superfood potential. *Journal of Functional Foods*, v. 107, p. 105697, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>

Petibon, F.; Wiesenberg, G. L. Characterization of complex photosynthetic pigment profiles in european deciduous tree leaves by sequential extraction and reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 957606, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.957606>

Petropoulos, S. A.; El-Nakhel, C.; Graziani, G.; Kyriacou, M. C.; Roupael, Y. The effects of nutrient solution feeding regime on yield, mineral profile, and phytochemical composition of spinach microgreens. *Horticulturae*, v. 7, n. 7, 162, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070162>

Pinto, E.; Almeida, A. A.; Aguiar, A. A.; Ferreira, I. M. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 37, p. 38-43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>

Pinto, E. P.; Perin, E. C.; Schott, I. B.; Rodrigues, R. S.; Lucchetta, L.; Manfroi, V.; Rombaldi, C. V. The effect of postharvest application of UV-C radiation on the

phenolic compounds of conventional and organic grapes (*Vitis labrusca* cv.'Concord'). *Postharvest Biology and Technology*, v. 120, p. 84-91, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.015>

Rajan, P.; Lada, R. R.; MacDonald, M. T. Advancement in indoor vertical farming for microgreen production. *American Journal of Plant Sciences*, v. 10, n. 8, p. 1397-1408, 2019. <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.108100>

Renna, M.; Castellino, M.; Leoni, B.; Paradiso, V. M.; Santamaria, P. Microgreens production with low potassium content for patients with impaired kidney function. *Nutrients*, v. 10, n. 6, 675, 2018. <https://doi.org/10.3390/nu10060675>

Renna, M.; Gioia, F.; Leoni, B.; Mininni, C.; Santamaria, P. Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory dishes. *Journal of Culinary Science & Technology*, v. 15, n. 2, p. 126-142, 2016. <https://doi.org/10.1080/15428052.2016.1225534>

Riggio, G. M.; Wang, Q.; Kniel, K. E.; Gibson, K. E. Microgreens—A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *International Journal of Food Microbiology*, v. 290, p. 76-85, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.027>

Romano, R.; De Luca, L.; Aiello, A.; Pagano, R.; Di Pierro, P.; Pizzolongo, F.; Mais, P. Basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves as a source of bioactive compounds. *Foods*, v. 11, n. 20, 3212, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11203212>

Rusu, T.; Cowden, R.J.; Moraru, P.I.; Maxim, M.A.; Ghaley, B.B. Overview of multiple applications of basil species and cultivars and the effects of production environmental parameters on yields and secondary metabolites in hydroponic systems. *Sustainability*, n. 13, n. 20, 11332, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132011332>

Samuolienė, G.; Brazaitytė, A.; Viršilė, A.; Miliauskienė, J.; Vaštakaitė-Kairienė, V.; Duchovskis, P. Nutrient levels in *Brassicaceae* microgreens increase under tailored light-emitting diode spectra. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 1475, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01475>

Senevirathne, G. I.; Gama-Arachchige, N. S.; Karunaratne, A. M. Germination, harvesting stage, antioxidant activity and consumer acceptance of ten microgreens. *Ceylon Journal of Science*, v. 48, n. 1, p. 91-96, 2019. <https://doi.org/10.4038/cjs.v48i1.7593>

Silva E.; Ferreira-Silva S.L.; Viégas R.A.; Silveira J. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. *Environmental Expedition Botany*, v. 69, p. 279-285, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.001>

Silva, M. G.; Sacramento, L. S.; Pereira, G. S. J.; Ribeiro, M. C. B. O.; Barros, I. S.; Gheyi, H. R. Rocket microgreen cultivation under seeding densities and nutrient solution concentrations. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 13, n. 1-3, p. 60-71, 2024. <https://doi.org/10.19149/wrim.v13i1-3.4795>

Silva, T. I.; Chaves, J. T. L.; Bezerra, A. E.; Silva, J. S.; Santos, H. R.; Marco, C. A. Produção de fitomassa e teor de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. submetido ao estresse salino. *Acta Iguazu*, v. 6, n. 2, p. 71-80, 2017. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i2.17462>

Spinardi, A.; Ferrante, A. Effect of storage temperature on quality changes of minimally processed baby lettuce. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v. 10, n. 1, p. 38-42, 2012.

Sousa, M. V. R. de. Microverdes: Cartilha de perguntas e respostas e avaliação do perfil dos produtores no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

Sun, J.; Kou, L.; Geng, P.; Huang, H.; Yang, T.; Luo, Y. Metabolomic assessment reveals an elevated level of glucosinolate content in CaCl₂ treated broccoli microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 63, n. 7, p. 1863-1868, 2015. <https://doi.org/10.1021/jf504710r>

Sun, J.; Xiao, Z.; Lin, L. Z.; Lester, G. E.; Wang, Q.; Harnly, J. M.; Chen, P. Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMSⁿ. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 61, n. 46, p. 10960-10970, 2013. <https://doi.org/10.1021/jf401802n>

Surveswaran, S.; Cai, Y.; Corke, H.; Sun, M. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. *Food Chemistry*, v. 102, n.3, p. 938-953, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.033>

Swoczyna, T.; Kalaji, H. M.; Bussotti, F.; Mojski, J.; Pollastrini, M. Environmental stress-what can we learn from chlorophyll a fluorescence analysis in woody plants? A review. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 1048582, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1048582>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Meller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

Teng, J.; Liao, P.; Wang, M. The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits—An updated review based on microgreens. *Food & Function*, v. 12, n. 1, p. 1914-1932, 2021. <https://doi.org/10.1039/D0FO03299A>

Thuong, V. T.; Minh, H. G. Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. *Research on Crops*, v. 21, n. 3, p. 579-586, 2020. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.091>

Tilahun, S.; Baek, M. W.; An, K.-S.; Choi, H. R.; Lee, J. H.; Hong, J. S.; Jeong, C. S. Radish microgreens produced without substrate in a vertical multi-layered growing unit are rich in nutritional metabolites. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 1236055, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1236055>

Treadwell, D.; Hochmuth, R.; Landrum, L.; Laughlin, W. Microgreens: A new specialty crop microgreens: HS1164, rev. 9/2020. *Edis*, v. 2020, n. 5, 2020. <https://doi.org/10.32473/edis-hs1164-2020>

Waterhouse, A. Analytical methods for wine phenolics and their impact on health. McDonald & Kennelly, E. J. (eds.). *Antioxidants in higher plants*. Boca Raton: CRC Press, p. 27-46, 2006.

Weitzberg, E.; Lundberg, J. O. Novel aspects of dietary nitrate and human health. *Annual Review of Nutrition*, n. 33(1), p. 129-159, 2013

Wieth, A. R.; Pinheiro, W. D.; Duarte, T. S. Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 4, p. 976-985, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n414rc>

Wojdyło, A.; Nowicka, P.; Tkacz, K.; Turkiewicz, I. P. Sprouts vs. microgreens as novel functional foods: Variation of nutritional and phytochemical profiles and their in vitro bioactive properties. *Molecules*, v. 25, n. 20, 4648, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25204648>

Wu, W.; Luo, X.; Wang, Y.; Xie, X.; Lan, Y.; Li, L. Combined metabolomics and transcriptomics analysis reveals the mechanism underlying blue light-mediated promotion of flavones and flavonols accumulation in *Ligusticum chuanxiong* Hort. microgreens. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 242, p. 112692, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2023.112692>

Xiao, Z.; Codling, E. E.; Luo, Y.; Nou, X.; Lester, G. E.; Wang, Q. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 49, p. 87-93, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.04.006>

Xiao, Z.; Lester, G.; Luo, Y.; Wang, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, v. 60, n. 31, p. 7644-7651, 2012.
<https://doi.org/10.1021/jf300459b>

Xiao, Z.; Lester, G.; Park, E.; Saftner, R. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, v. 110, p. 140-148, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.021>

Xiao, Z.; Rausch, S. R.; Luo, Y.; Sun, J.; Yu, L.; Wang, Q.; Stommel, J. R. Microgreens of *Brassicaceae*: Genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. *Lwt*, v. 101, p. 731-737, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.076>

Yemm, E.; Cocking, E. The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*, v. 79, p. 71-78, 1954. <https://doi.org/10.1039/an9558000209>

Zhao, Y.; Han, Q.; Ding, C.; Huang, Y.; Liao, J.; Chen, T.; Yuan, M. Effect of low temperature on chlorophyll biosynthesis and chloroplast biogenesis of rice seedlings during greening. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 4, 1390, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21041390>

Zhang, Y.; Xiao, Z.; Ager, E.; Kong, L.; Tan, L. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*, v. 1, n. 1, p. 58-66, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>