

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN
PPGA – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ÉRICA SANTOS FERREIRA

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO NA QUALIDADE NUTRICIONAL
DE MICROVERDES DE RÚCULA (*ERUCA SATIVA*)**

DOURADOS/MS

2026

ÉRICA SANTOS FERREIRA

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO NA QUALIDADE NUTRICIONAL
DE MICROVERDES DE RÚCULA (*ERUCA SATIVA*)**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia, da Universidade Federal da Grande Dourados.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Caroline Pereira Moura Aranha.

DOURADOS/MS

2026

Ferreira, Érica Santos

Inflência das condições de cultivo na qualidade nutricional de microverdes de rúcula (*Eruca sativa*) / Érica Santos Ferreira – Dourados, 2026.

Orientadora: Caroline Pereira Moura Aranha

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia – Dourados.

1. Compostos bioativos. 2. Vitamina C. 3. Carolina Soil. 4. Espuma fenólica. I. Título.

CDU -

ÉRICA SANTOS FERREIRA

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO NA QUALIDADE NUTRICIONAL
DE MICROVERDES DE RÚCULA (*ERUCA SATIVA*)**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia, da Universidade Federal da Grande Dourados.

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Caroline Pereira Moura Aranha.

UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Raquel Manozzo Galante

UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados

Titular

Prof^a. Dr^a. Jéssica Lima de Menezes

UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados

Titular

Prof^a. Dr^a. Silvia Maria Martelli

UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados

Suplente

Prof^a. Dr^a. Cintia da Silva Araújo

UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados

Suplente

DOURADOS/MS

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, São Bento, Nossa Senhora Aparecida e meu anjo da guarda.

Minha mãe Selma Santos Pateis, meu pai João Cesar Ferreira e minha irmã Soraia Santos Ferreira por sempre me apoiarem quando mais precisei.

Aos meus amigos Vinicius de Souza Leite, Kellen Aparecida Leandro da Silva, Patrícia Pereira Cândia, Saulo dos Santos Barbosa e Sabrina Beltramin Barbosa por sempre estarem comigo nos momentos bons e também dar aquele conselho sempre bem-vindo nos momentos mais difíceis.

A minha orientadora Dr^a Caroline Pereira Moura Aranha por toda paciência, dedicação e pelo apoio em minha carreira acadêmica.

A professora Dr^a Silvia Maria Martelli e a acadêmica Nathaly Calister Moretto por toda parceria e ajuda nas análises.

Ao professor Dr^o Rodrigo Kelson Silva Rezende e as acadêmicas Nathalia Banhara dos Santos e Letícia Yuri Matsunaga pelo fornecimento das amostras utilizadas nesta pesquisa.

Gostaria de expressar minha gratidão a todos professores, técnicos e pesquisadores que me apoiaram mesmo que de forma indireta.

Por fim, gostaria de agradecer a Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGA) por tornar essa pesquisa possível.

“Tudo tem seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu”

(Eclesiastes 3:1)

RESUMO

A crescente demanda por alimentos que promovam saúde e bem-estar tem impulsionado o cultivo de microverdes, especialmente em sistemas de agricultura urbana e ambientes controlados. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes condições de cultivo na qualidade nutricional de microverdes de rúcula (*Eruca sativa*). Foram utilizadas três fontes de iluminação por diodos emissores de luz (LED): luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA), associadas a dois métodos de cultivo: substrato comercial Carolina Soil (CS) e espuma fenólica (EF). Foram realizadas análises de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, atividade antioxidante pelo método DPPH, carotenoides totais, vitamina C, conteúdo mineral fixo, pH, acidez titulável, sólidos solúveis (°Brix), atividade de água (Aw) e umidade. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), evidenciando a influência das condições de cultivo sobre a composição nutricional. O cultivo em espuma fenólica sob iluminação vermelha e azul apresentou maiores teores de flavonoides totais, atividade antioxidante, carotenoides totais e sólidos solúveis, além de valores elevados de compostos fenólicos e vitamina C. O tratamento sob luz do dia, também em espuma fenólica, destacou-se pelos maiores teores de compostos fenólicos totais, vitamina C e acidez titulável. Por sua vez, o cultivo em substrato comercial sob luz branca apresentou maior conteúdo mineral fixo e elevada umidade. Conclui-se que o cultivo em espuma fenólica sob iluminação vermelha e azul, em ambiente controlado, apresenta maior potencial para a produção de microverdes de rúcula com elevado valor nutricional e funcional, sendo uma alternativa promissora para sistemas de produção sustentável.

Palavras-chaves: Compostos bioativos; Vitamina C; Carolina Soil; Espuma fenólica.

ABSTRACT

The increasing demand for foods that promote health and well-being has driven the production of microgreens, especially in urban agriculture and controlled environment systems. In this context, the present study aimed to evaluate the influence of different cultivation conditions on the nutritional quality of arugula (*Eruca sativa*) microgreens. Three light-emitting diode (LED) sources were used: white light (WL), daylight (DL), and red and blue light (RBL), combined with two cultivation methods: commercial substrate Carolina Soil (CS) and phenolic foam (PF). Analyses included total phenolic compounds, total flavonoids, antioxidant activity (DPPH method), total carotenoids, vitamin C, fixed mineral content, pH, titratable acidity, soluble solids (°Brix), water activity (Aw), and moisture. The results showed significant differences among treatments ($p \leq 0.05$), demonstrating the influence of cultivation conditions on nutritional composition. Cultivation in phenolic foam under red and blue light resulted in higher levels of total flavonoids, antioxidant activity, total carotenoids, and soluble solids, as well as elevated values of total phenolic compounds and vitamin C. The treatment under daylight, also in phenolic foam, showed the highest levels of total phenolic compounds, vitamin C, and titratable acidity. In contrast, cultivation in commercial substrate under white light presented higher fixed mineral content and moisture. It can be concluded that cultivation in phenolic foam under red and blue light, in a controlled environment, has greater potential for producing arugula microgreens with high nutritional and functional value, representing a promising alternative for sustainable production systems.

Keywords: Bioactive compounds; Vitamin C; Carolina Soil; Phenolic foam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma do processo de plantio dos microverdes de rúcula.	23
Figura 2. Fluxograma do processo de obtenção do extrato de microverdes de rúcula.....	25
Figura 3. Microverdes de rúcula após 10 dias de cultivo dentro da câmara climática.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante pelo método DPPH de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados com Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).	31
Tabela 2. Carotenoides totais, vitamina C e conteúdo mineral fixo de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados em Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).	33
Tabela 3. pH, acidez titulável e sólidos solúveis (°Brix) de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados em Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).	35
Tabela 4. Atividade de água (Aw) e umidade de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados com Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AW – Atividade de água

CS – Carolina Soil

DPPH – 2,2-difenil-1-picril-hidrazila

EF – Espuma fenólica

LB – Luz Branca

LED – Diodos Emissores de Luz

LD – Luz do Dia

LVA – Luz Vermelha e Azul

MF – Massa fresca

MS – Massa seca

SS – Sólidos Solúveis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO GERAL	14
3. CAPÍTULO I – Revisão Bibliográfica.....	15
3.1. Microverdes de rúcula.....	15
3.2. Cultivo de microverdes de rúcula.....	16
3.2.1. Iluminação LEDs.....	17
3.2.1.1. Luz Branca.....	17
3.2.1.2. Luz do dia.....	18
3.2.1.3. Luz Vermelha e Azul.....	18
3.2.2. Substratos.....	19
3.2.2.1. Espuma Fenólica	20
3.2.2.2. Carolina Soil	21
4. CAPÍTULO II – Influência das condições de cultivo na qualidade nutricional de microverdes de rúcula (<i>Eruca Sativa</i>).....	21
4.1. Introdução	21
4.2. Material e Métodos	22
4.2.1. Condições de plantio e obtenção dos microverdes de rúcula	22
4.2.2. Compostos Bioativos	24
4.2.3. Obtenção do extrato dos microverdes de rúcula	24
4.2.4. Compostos Fenólicos Totais	25
4.2.5. Flavonoides Totais.....	26
4.2.6. Carotenoides Totais.....	26
4.2.7. Atividade Antioxidante pelo Método DPPH.....	27
4.2.8. Vitamina C	28
4.2.9. Conteúdo mineral fixo	28
4.2.10. Acidez titulável	29
4.2.11. pH	29
4.2.12. Sólidos Solúveis Totais (°Brix).....	29
4.2.13. Umidade	29
4.2.14. Atividade de água (Aw).....	29
4.3. Resultados e Discussão	29
5. CONCLUSÃO	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A população está cada vez mais consciente da necessidade de manter um estilo de vida saudável. Esse fator levou a uma crescente busca por novos alimentos que trazem benefícios para a saúde e bem-estar e que também forneçam os nutrientes necessários independentemente da época do ano (GARCÍA-PÉREZ et al., 2024; ZIED et al., 2021). Além do mais, muitos consumidores estão interessados em mudar para uma dieta baseada em vegetais (GARCÍA-PÉREZ et al., 2024). Dessa forma, os microverdes ganharam destaque como a próxima geração de “alimentos funcionais” ou “superalimentos”, devido ao seu conteúdo nutricional ser 40 vezes superior ao dos vegetais maduros (GARCÍA-PÉREZ et al., 2024; LONE et al., 2024).

Concomitantemente, a agricultura urbana, principalmente aquela baseada em ambiente controlado, como fazendas verticais, hidroponia, estufas, aquaponia etc., ganhou visibilidade dos setores governamentais e privado. Os microverdes estão entre os vegetais mais cultivados na agricultura de ambiente controlado, e podem ser simplesmente cultivados por hidroponia ou no solo (ZHANG et al., 2021).

Microverdes são vegetais imaturos, sem raízes, recém-brotados, que são cultivados em solo ou em condições ambientais controladas a partir de ervas ou sementes vegetais, possuindo dois cotilédones completamente desenvolvidos com o primeiro par de folhas verdadeiras ou aflorando (KEUTGEN et al., 2021; TAN et al., 2020; PANT, LINGWAN & MASAKAPALLI, 2023). A colheita desses vegetais é realizada após 7 a 14 dias da semeadura (XIAO et al., 2015), resultando em vegetais com sabores mais intensos, cores vibrantes e textura crocante, características que os tornam atrativos para o consumo in natura, como ingredientes em saladas ou como guarnição (TAN et al., 2020).

Embora sejam facilmente confundidos com os brotos, os microverdes se diferenciam por serem consumidos sem as raízes, sendo que as partes utilizadas são o caule central tenro com cotilédones totalmente desenvolvidos e não senescente, e que constantemente podem ser aptos a desenvolver folhas mais saborosas e maiores (KEUTGEN et al., 2021; KATHI et al., 2024).

No cultivo de microverdes em ambiente controlado, a luz, a temperatura e a umidade são os mais relevantes influenciadores da qualidade das plantações, visto que a iluminação artificial é o atributo de maior importância durante o crescimento dos vegetais, sendo utilizada como sinal para infinitas respostas fisiológicas, não sendo somente utilizada como fonte de energia para a fotossíntese e a obtenção de autotrofia (VIANA, 2023).

As famílias *Brassicaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Amaryllidaceae*, *Amaranthaceae*, *Cucurbitaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae* e *Lamiaceae* são as principais que contribuem para os

microverdes. Pesquisas sobre vinte e cinco espécies diferentes de microverdes, como rúcula, rabanete, coentro, amaranto e aipo, mostraram concentrações de antioxidantes, nutrientes e vitaminas entre 4 a 40 vezes superiores às encontradas em vegetais maduros (PANT, LINGWAN & MASAKAPALLI, 2023).

A rúcula (*Eruca sativa*) pertence à família *Brassicaceae* e é uma hortaliça folhosa. Há vários anos é utilizada como componente na gastronomia de muitos países, como Marrocos, Turquia, Portugal e Itália, e, desde a década de 1990, tem se tornado um ingrediente famoso nos Estados Unidos, por ser um alimento de sabor amargo ou picante e que contém inúmeros nutrientes, como vitaminas A e C, potássio, ferro e enxofre em suas folhas comestíveis (YANG et al., 2021).

A escolha dos substratos é essencial para o melhor aproveitamento do cultivo de microverdes. A Espuma Fenólica é conhecida por oferecer uma estrutura porosa e boa aeração, enquanto o “Carolina Soil” é um substrato orgânico tradicional. Comparar esses substratos ajuda a identificar qual deles promove um crescimento mais saudável e vigoroso para as plantas, fornecendo informações cruciais para aprimorar a produção de microverdes (FERREIRA & LUZ, 2023).

Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar a influência de diferentes sistemas de cultivo em condições controladas na qualidade nutricional de microverdes de rúcula, combinando três fontes de diodos emissores de luz (LED): luz do dia, luz branca e luz vermelha e azul, e dois tipos de substrato: Carolina Soil e Espuma Fenólica.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de diferentes sistemas de cultivo em condições controladas na qualidade nutricional de microverdes de rúcula, combinando três fontes de diodos emissores de luz (LED): luz do dia, luz branca e luz vermelha e azul, e dois tipos de substrato: Carolina Soil e Espuma Fenólica.

Os objetivos específicos estão discriminados a seguir:

- Quantificar os compostos bioativos (compostos fenólicos totais, flavonoides totais, carotenoides totais e atividade antioxidante pelo método DPPH).
- Quantificar o teor de vitamina C e conteúdo mineral fixo.
- Identificar a acidez titulável e o pH de microverdes de rúcula.

- Identificar os sólidos solúveis totais (SS), atividade de água (Aw) e umidade de microverdes de rúcula.

3. CAPÍTULO I – Revisão Bibliográfica

3.1. Microverdes de rúcula

Microverdes são definidos como mudas jovens, tenras e imaturas de vegetais e ervas comestíveis (SHUJUAN et al., 2024). Eles diferem-se dos brotos por serem mais velhos e maiores e diferem-se também dos *baby greens* por serem mais jovens e menores (KATHI et al., 2024). Porém, tanto os brotos quanto os microverdes são consumidos por seus atributos de sabores ligeiramente picantes, amargos ou azedos e são indicados por seus metabólitos secundários, como clorofila, carotenoides, tocoferóis, compostos fenólicos e ácido ascórbico. Além do mais, os compostos orgânicos de enxofre, como os glucosinolatos da família *Brassicaceae*, são todos recomendados para melhorar a saúde humana, prevenindo diversas doenças comuns, reduzindo principalmente o risco de níveis de colesterol no fígado e doenças cardiovasculares, ajudando também a melhorar a dieta humana (KEUTGEN et al., 2021; KATHI et al., 2024).

A rúcula possui uma enorme influência na agricultura brasileira, com uma produção total por volta de 40 mil toneladas, em que, nos últimos 3 anos, obteve-se um aumento significativo de 40%, e a estimativa é que foram vendidas 61 toneladas de sementes de rúcula nos últimos 10 anos (OLIVEIRA et al., 2023).

Além disso, possui grande relevância nutricional devido ao seu alto teor de vitaminas e polifenóis é também a presença de glicosinolatos e seus produtos de degradação, como os isotiocianatos, que apresentam efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e quimiopreventivos. Esses compostos estão relacionados à capacidade da rúcula de auxiliar na redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, como câncer e doenças cardiovasculares (MARTÍNEZ-SÁNCHEZ et al., 2008; DIAS, 2019; RADTKE WIETH et al., 2021 & KOMEROSKI, 2024).

Essa espécie é uma boa opção para a produção de microverdes, pois, nessa fase de crescimento, apresenta sabor concentrado e chamativo ao paladar, favorecendo positivamente a ornamentação e o preparo de pratos, adicionando cor, sabor e textura e também apelo estético (RADTKE WIETH et al., 2021 & KOMEROSKI, 2024).

Do ponto de vista nutricional, os microverdes de rúcula são especialmente ricos em vitamina C (5,17 mg/g), vitamina K (108,6 ug/g) e provitamina A, como β -caroteno (8,12 ug/g) e luteína (0,82 ug/g), que exercem funções antioxidantes e são essenciais para a saúde ocular, óssea e imunológica (KYRIACOU et al., 2016). Além do mais, apresentam valores

consideráveis de minerais essenciais, como cálcio (160 mg/100g), ferro (1,46 mg/100g), potássio (369 mg/100g) e magnésio (33 mg/100g), com concentrações frequentemente superiores às observadas em folhas adultas da mesma espécie (PINTO et al., 2015).

Outro destaque é a elevada presença de compostos bioativos, que são metabólitos secundários produzidos pelas plantas que, embora não sejam essenciais para o crescimento e desenvolvimento, desempenham papéis fundamentais na defesa contra estresses ambientais e na interação com o meio (LIU, 2013). Entre as principais classes de compostos bioativos destacam-se os polifenóis (incluindo flavonoides, ácidos fenólicos, taninos e ligninas), os carotenoides, os alcaloides e os glucosinolatos (SCALBERT et al., 2005; SHAHIDI & AMBIGAIPALAN, 2015).

Da Costa (2023) observou um acúmulo de clorofila a e b, carotenoides e flavonoides para microverdes de rúcula e rabanete em uma pesquisa sobre tempo de exposição do tratamento LED em microverdes de rúcula e rabanete.

Do ponto de vista nutricional, esses compostos têm sido amplamente estudados devido à sua capacidade de promover efeitos benéficos à saúde humana, indo além da função básica de fornecer nutrientes, sendo responsáveis pela capacidade antioxidante dos microverdes, o que potencializa efeitos anti-inflamatórios e protetores contra doenças crônicas (SUN et al., 2013; KYRIACOU et al., 2016; LIU, 2013).

3.2. Cultivo de microverdes de rúcula

Os microverdes são colhidos entre 7 e 21 dias após a germinação, geralmente quando apresentam de 2 a 4 folhas verdadeiras, sendo considerados uma alternativa de produção sustentável e de alto valor agregado para o setor hortícola (KYRIACOU et al., 2016).

O processo de cultivo é relativamente simples e pode ser realizado tanto em ambientes controlados, quanto em pequenas escalas domésticas. As sementes de rúcula apresentam alta taxa de germinação e são geralmente cultivadas em substratos comerciais, espuma fenólica, fibras vegetais ou papel absorvente, que garantem suporte físico e boa disponibilidade de água (XIAO et al., 2012; DI GIOIA & SANTAMARIA, 2015).

A qualidade da água e o manejo da irrigação são fatores importantes no desenvolvimento dos microverdes, visto que, o acúmulo de umidade pode beneficiar a proliferação de fungos, enquanto a escassez hídrica compromete o crescimento e a qualidade final do produto (PINTO et al., 2015). Outro aspecto importante é a iluminação artificial com LEDs, que tem sido utilizada para otimizar a fotossíntese, acelerar o crescimento e aumentar o acúmulo de compostos bioativos nas folhas (PARADISO & PROIETTI, 2022).

3.2.1. Iluminação LEDs

Em relação às condições de iluminação, a produção de microverdes está condicionada à qualidade e quantidade de iluminação artificial fornecida. Atualmente, a produção tradicional em estufas passou a utilizar diodos emissores de luz (LED), pois está se tornando hoje um dos avanços tecnológicos mais promissores, devido a efeitos benéficos relacionados à eficiência de rendimento, qualidade e maior produção de fitonutrientes em microverdes (TRANDEL-HAYSE et al., 2025; NÁJERA et al., 2024).

Os LEDs são uma tecnologia de iluminação de estado sólido que pode promover fótons de luz de vários comprimentos de onda espectrais, gerando luz vermelha, azul, verde, branca, violeta, amarela, laranja e vermelho distante, podendo ser combinados os comprimentos de onda entre si (KOPSELL et al., 2024). Além disso, os LEDs possuem baixo consumo de energia, facilidade de instalação, baixa emissão de calor e baixo custo para aquisição (FERREIRA, 2022).

Lâmpadas LEDs são um tipo único de diodo semicondutor, e podem ter um pico de emissão de luz variando de 220 a 1.000 nm, e é o primeiro dispositivo que possui capacidade de controle espectral, permitindo que os comprimentos de onda sejam adaptados aos fotorreceptores dos vegetais (LAZZARINI, et al., 2017).

A iluminação artificial suplementar, quando introduzida de forma estratégica, pode prolongar o ciclo produtivo de várias hortaliças, agregar valor ao produto final e uniformizar a colheita (JÚNIOR et al., 2025; TABBERT, SCHULZ & KRÄHMER, 2021). A manipulação espectral proporcionada pelos LEDs permite direcionar o crescimento vegetativo e reprodutivo, favorecendo a formação de estruturas comercialmente desejáveis, como folhas, frutos, caules e raízes, o que é de relevância direta para a segurança alimentar (JÚNIOR et al., 2025).

3.2.1.1. Luz Branca

Os LEDs brancos (460 – 560 nm) surgem como uma solução a problemas apresentados a nível dos espectros. A luz branca é constituída pelo espectro correspondente à luz visível azul, verde e vermelho, possuindo uma menor proporção de UV em relação ao espectro vermelho. A adição de luz LED branca nos cultivos pode aumentar o crescimento das plantas, pois permite que a luz penetre melhor nas folhas, para ser utilizada na fotossíntese, do que as luzes monocromáticas vermelha e azul, como observado no estudo de Lin et al. (2013) para *Lactuca sativa* hidropônica, porém a ausência de certas faixas do espectro, como o verde, pode limitar essa absorção de luz nas folhas inferiores (OLLE & VIRŠILE, 2013; HERNÁNDEZ & KUBOTA, 2016; LAZZARINI et al., 2017; CRUZ, 2017). Os LEDs brancos podem ser obtidos

pela combinação de diferentes chips de LEDs coloridos, ou através do revestimento de chips de LED azul com uma camada de fósforo amarelo, que converte a parte azul em luz amarela, trazendo uma percepção de branco (LAZZARINI et al., 2017; OLLE & VIRŠILE, 2013; HERNÁNDEZ & KUBOTA, 2016).

Essa proporção do espectro azul na lâmpada LED branca, pode variar e essas parecem afetar a morfogênese das plantas, que demandam de um extenso espectro luminoso para aperfeiçoar os processos fotossintéticos, e essa demanda varia com a espécie vegetal (LAZZARINI et al., 2017).

3.2.1.2. Luz do dia

A luz LED do dia é uma tecnologia de iluminação que busca reproduzir de forma mais confiável o espectro da radiação solar natural com faixa de (400 a 700 nm). Diferente dos LEDs monocromáticos, que emitem apenas em faixas específicas como vermelho e azul, a luz do dia oferece um espectro amplo, incluindo radiação verde, essencial para a penetração luminosa no dossel e para processos fisiológicos que vão além da fotossíntese, como a regulação de vias metabólicas associadas à síntese de compostos secundários e antioxidantes (SMITH ET AL., 2017; HERNÁNDEZ & KUBOTA, 2016).

No cultivo de hortaliças e microverdes, a utilização de LEDs luz do dia tem se mostrado vantajosa por melhorar a qualidade nutricional em termos de compostos fenólicos, carotenoides, vitamina C e minerais, além de proporcionar um crescimento mais uniforme (BULGARI ET AL., 2017; DEREJE ET AL., 2023).

Do ponto de vista prático, os LEDs luz do dia apresentam ainda alta eficiência energética, baixa emissão de calor e uma vida útil prolongada, resultando em uma alternativa sustentável para agricultura em ambientes controlados, estufas e sistemas de agricultura vertical (OLLE & VIRŠILE, 2013; PARADISO & PROIETTI, 2022).

Segundo Shibaeva et al. (2022) a luz do dia aumentou o crescimento e a produtividade de microverdes de rúcula, brócolis, mizuna e rabanete em relação a plantas cultivadas sob um fotoperíodo de 16 h em termos de produção de peso fresco (FW) e peso seco (DW). Também foram detectados maiores teores de antocianinas e flavonoides em microverdes de rúcula e brócolis com a luz LED contínua.

3.2.1.3. Luz Vermelha e Azul

A luz vermelha emite espectro luminoso estreito (660 nm) que é muito próximo a máxima absorbância para fitocromos e clorofila (PARADISO & PROIETTI, 2022; LAZZARINI et al., 2017).

O LED vermelho é fundamental para a fotossíntese e o desenvolvimento morfológico, sendo o fitocromo o fotorreceptor responsável pela absorção desse espectro. A luz nesse espectro promove o alongamento do caule, o florescimento e a expansão foliar, sendo considerada essencial para o acúmulo de biomassa (MASSA et al., 2008; LAZZARINI et al., 2017).

O LED azul (450 – 500 nm) traz uma variação muito grande de respostas fisiológicas da planta, que são trazidos em processos elétricos, metabólicos e genéticos que proporcionam modificações no desenvolvimento e crescimento, a fim de permitirem adaptações das plantas às mudanças nas condições ambientais. Também estão diretamente relacionados com a absorção de luz pelos pigmentos fotossintéticos, como a clorofila a e b e os carotenoides (PARADISO & PROIETTI, 2022; LAZZARINI et al., 2017; HOGEWONING et al., 2010; BANTIS et al., 2018). Além disso, o azul tem efeito sinérgico com o vermelho, melhorando a eficiência fotossintética e a qualidade nutricional de microverdes e hortaliças (HOGEWONING et al., 2010; BANTIS et al., 2018).

De maneira geral, o uso combinado de LED vermelho e azul é considerado o mais eficiente para o desenvolvimento de plantas em ambientes controlados, como sistemas hidropônicos e agricultura vertical. A proporção entre esses espectros varia de acordo com a espécie cultivada e o objetivo produtivo. A predominância do vermelho, suplementada com pequenas proporções de azul, resulta em maior acúmulo de biomassa, enquanto maiores intensidades de azul tendem a aumentar a compactação, a coloração e o teor de metabólitos bioativos (BIAN et al., 2015; PARADISO & PROIETTI, 2022; LAZZARINI et al., 2017).

Um estudo de Goins et al. (1997) utilizou lâmpadas LEDs como única fonte de luz para plantas de trigo cultivadas em câmaras de crescimento e compararam somente luz vermelha, vermelho com 1% de luz azul e vermelho com 10% de luz azul com lâmpadas fluorescentes comuns. Os resultados descobertos mostraram que as plantas cultivadas somente sob luz vermelha foram capazes de completar o seu ciclo, porém, quando a luz azul foi adicionada, as plantas produzidas foram maiores e com maior quantidade de sementes. Desse modo, a eficácia desempenhada pela luz azul na produção de plantas cultivadas varia entre as espécies, sendo necessária, muitas vezes, uma combinação de espectros de luz.

3.2.2. Substratos

Os substratos utilizados no Brasil são formados normalmente por materiais popularmente empregados na produção hortícola, podendo ser de origem mineral, natural, orgânica ou sintética. A areia, vermiculita e perlita são exemplos de substratos minerais. Já o húmus, turfa, esterco e o composto deles são substratos orgânicos. Além disso, se enquadram como substratos de origem natural os resíduos da indústria, como, por exemplo, a fibra de coco, casca de pinus e casca de arroz. Entre os substratos sintéticos, pode-se encontrar a espuma fenólica e a lã de vidro (DIAS, 2022; BLASIUS et al., 2021).

Os substratos são essenciais para a qualidade de plantio dos microverdes e devem apresentar boas condições de umidade, macroporos e microporosidade, disponibilidade de água e nutrientes, ter boa associação às raízes e capacidade de troca de cátions, além de ter baixo teor de sais e ser isento de patógenos (DA SILVA et al., 2019).

Por meio de sua fase sólida, os substratos têm influência na manutenção do sistema radicular da planta; na fase líquida, fornecem água e nutrientes; entre as raízes, são realizados o transporte de oxigênio e carbono; e, pela fase gasosa, o transporte de ar externo. Além disso, devem possuir fácil aquisição, baixo custo, ser duráveis e recicláveis, ou promoverem métodos alternativos para reciclar e melhorar as condições químicas e físicas do substrato (DOS SANTOS; DA COSTA & LIMA, 2020).

3.2.2.1.Espuma Fenólica

A Espuma Fenólica tem sido amplamente estudada como substrato em diversos processos agrícolas e ambientais devido à sua estrutura celular porosa, leveza e estabilidade química (GAMA & LEMOS, 2017). Como substrato, a Espuma Fenólica pode proporcionar suporte físico para o crescimento de plantas, microverdes ou culturas de células, ao mesmo tempo em que permite boa aeração das raízes e retenção de água.

A estrutura porosa da Espuma Fenólica é um mecanismo para sua utilização como substrato. Espumas de célula aberta permitem que a água e os nutrientes percorram de forma eficaz, promovendo o contato apropriado com as raízes ou sistemas radiculares de plantas cultivadas em hidroponia ou cultivo vertical (JAIN & GUPTA, 2020). Além disso, sua estabilidade química evita a lixiviação de compostos tóxicos, garantindo que o substrato não interfira no desenvolvimento vegetal ou na qualidade dos microverdes (SHARMA et al., 2019).

Outra vantagem da Espuma Fenólica como substrato é sua durabilidade e reutilização. Ao contrário de substratos orgânicos, como turfa ou casca de coco, a Espuma Fenólica não se decompõe rapidamente, permitindo vários ciclos de cultivo com manutenção mínima.

A Espuma Fenólica apresenta excelente potencial como substrato artificial devido à sua leveza, estabilidade química, porosidade e durabilidade. Sendo utilizada principalmente em sistemas controlados de cultivo, onde é necessário um substrato inerte, reutilizável e eficiente no transporte de água e oxigênio (JAIN & GUPTA, 2020; SHARMA et al., 2019).

3.2.2.2.Carolina Soil

O substrato Carolina Soil é amplamente reconhecido por sua qualidade e versatilidade, sendo utilizado tanto por produtores profissionais quanto por jardineiros. Desenvolvido com rigoroso controle de qualidade, este substrato é ideal para a produção de mudas e o cultivo de diversas espécies vegetais (AGROSOLO, 2025).

O Carolina Soil proporciona um ambiente controlado para o desenvolvimento das plantas e também é aplicado no reflorestamento e cultivo de espécies nativas. Esse substrato possui vantagens como a personalização, como, formulações adaptadas às necessidades específicas de cada cultura, estabilidade e homogeneidade, e também ausência de contaminantes, sendo um produto livre de impureza, assegurando a saúde das plantas (CAROLINA SOIL, 2025).

O substrato Carolina Soil demonstra uma solução profissional e confiável para o cultivo de plantas, trazendo qualidade, personalização e suporte técnico especializado. Sua utilização auxilia para o desenvolvimento saudável das plantas, desde a germinação até a maturidade (CAROLINA SOIL, 2025).

4. CAPÍTULO II – Influência das condições de cultivo na qualidade nutricional de microverdes de rúcula (*Eruca Sativa*)

4.1. Introdução

Os microverdes de rúcula (*Eruca sativa*), pertencentes à família *Brassicaceae*, destacam-se como alimentos funcionais devido ao elevado teor de vitaminas (5,17mg/g), minerais (14,52%) e compostos bioativos, como fenólicos (101,7 mg/100g) e flavonoides (5,93 mg/g), quando comparados às hortaliças em fase adulta (XIAO et al., 2019; KOMEROSKI et al., 2023). Essas plantas apresentam rápido ciclo de cultivo, sendo colhidos entre 7 e 14 dias após a germinação, o que favorece a preferência em sistemas de produção sustentável e em ambientes urbanos controlados, como estufas e fazendas verticais (JOHNSON, et al., 2021).

As condições de cultivo influenciam consideravelmente na qualidade nutricional dos microverdes, como o tipo de substrato, regime de irrigação, densidade de plantio e, especialmente, a qualidade da luz, que em diferentes intensidades e espectros podem modificar

a fotossíntese, o metabolismo secundário, a síntese de compostos bioativos e o acúmulo de nutrientes e fitoquímicos nesses vegetais (KYRIACOU et al., 2016; KATHI et al., 2022; KOPSELL et al., 2020).

A utilização de lâmpadas LED de luz branca e LED de luz do dia tem se mostrado propícia na produção em estufas, uma vez que, simulam melhor a radiação solar, oferecendo um espectro mais extenso e equilibrado, onde favorecem maior acúmulo de vitamina C, vitamina K e compostos fenólicos, além de proporcionarem crescimento mais homogêneo em microverdes de rúcula e outros vegetais da família *Brassicaceae* (BULGARI et al., 2017; DEJERE et al., 2023). Já a utilização de lâmpadas de LED com espectro vermelho e azul mostra-se eficaz no aumento da síntese de vitamina C, β -caroteno e compostos fenólicos, quando comparada à luz fluorescente convencional (BULGARI et al., 2017; KOPSELL et al., 2020).

A comparação entre diferentes espectros evidencia que a luz branca e a luz do dia podem ser estratégicas para sistemas de cultivo sustentáveis, uma vez que equilibram eficiência energética com estímulo ao valor nutricional e funcional das plantas. Além disso, o uso de substratos adequados, Espuma Fenólica ou substratos comerciais, como o Carolina Soil que afetam a disponibilidade de nutrientes, a retenção de água e o crescimento da biomassa em conjunto com o manejo da luz, podem potencializar a qualidade final do alimento, otimizando o teor de minerais, vitaminas como C, E e β -caroteno (PINTO et al., 2020; KATHI et al., 2022).

Compreender a influência das condições de cultivo de microverdes de rúcula é essencial para melhorar a eficiência nutricional, proporcionando alternativas sustentáveis de produção e fortalecendo seu valor agregado como alimento funcional. Portanto, o estudo teve como objetivo avaliar a influência das condições de cultivo na qualidade nutricional de microverdes de rúcula em seis diferentes formas de cultivo, sendo utilizado três tipos de luz LED, luz branca, luz do dia e luz vermelha e azul, e também utilizando dois substratos como a Espuma Fenólica e o substrato comercial Carolina Soil.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Condições de plantio e obtenção dos microverdes de rúcula

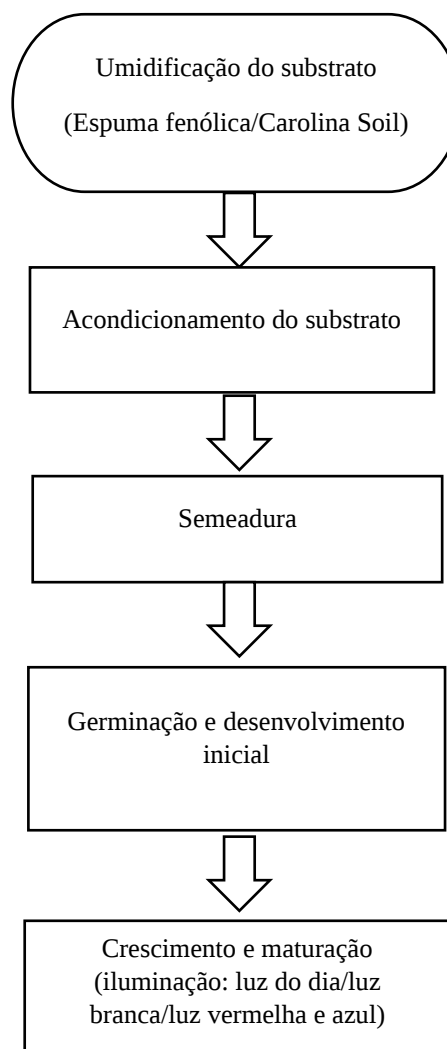
Para o cultivo de microverdes de rúcula foram utilizados a espuma fenólica e o substrato comercial Carolina Soil, com aplicação de luz LED branca, luz do dia e luz vermelha e azul.

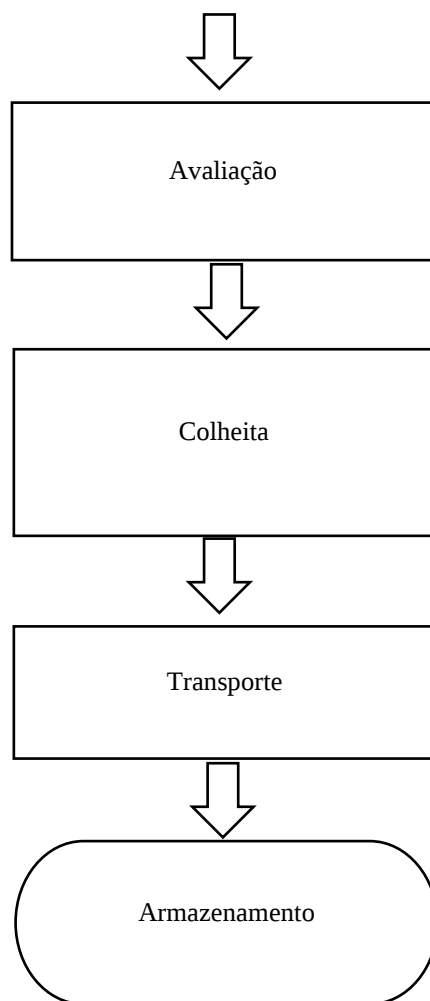
Para o plantio, o substrato comercial ou a espuma fenólica foram umedecidos com água destilada, sendo colocados em uma bandeja. No recipiente, com o substrato já umedecido foi realizado a semeadura, sendo adicionados 16 gramas de semente de microverdes de rúcula. Na

etapa de germinação e desenvolvimento inicial o recipiente é coberto com o objetivo de escurecer e preservar a umidade para melhor garantia do cultivo. No início do plantio a umidade na câmara climática foi ajustada para 70% e temperatura de 23 °C. Na fase de crescimento e maturação, após quatro dias de cultivo dos microverdes na câmara climática as luzes de LED: luz branca ou luz do dia foram ligadas e em seguida foi retirada a cobertura superior da bandeja, e também reduzido a umidade da câmara climática para 55% e a temperatura para 21°C. Após seis dias do cultivo de microverdes de rúcula dentro da câmara climática foi realizado uma avaliação. Por fim, a colheita foi realizada após 10 dias de cultivo dentro da câmara, sendo colhidos no Centro de Biotecnologia e Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (CBMGCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). E em seguida foram transportados para o laboratório da Faculdade de Ciências exatas (FACET), sendo separados em vários sacos plásticos, selados e armazenados em ultra freezer para melhor conservação até o momento das análises.

A Figura 1, mostra o fluxograma do processo de plantio de microverdes de rúcula produzidos em ambiente controlado.

Figura 1. Fluxograma do processo de plantio dos microverdes de rúcula.





Fonte: Autoria própria.

4.2.2. Compostos Bioativos

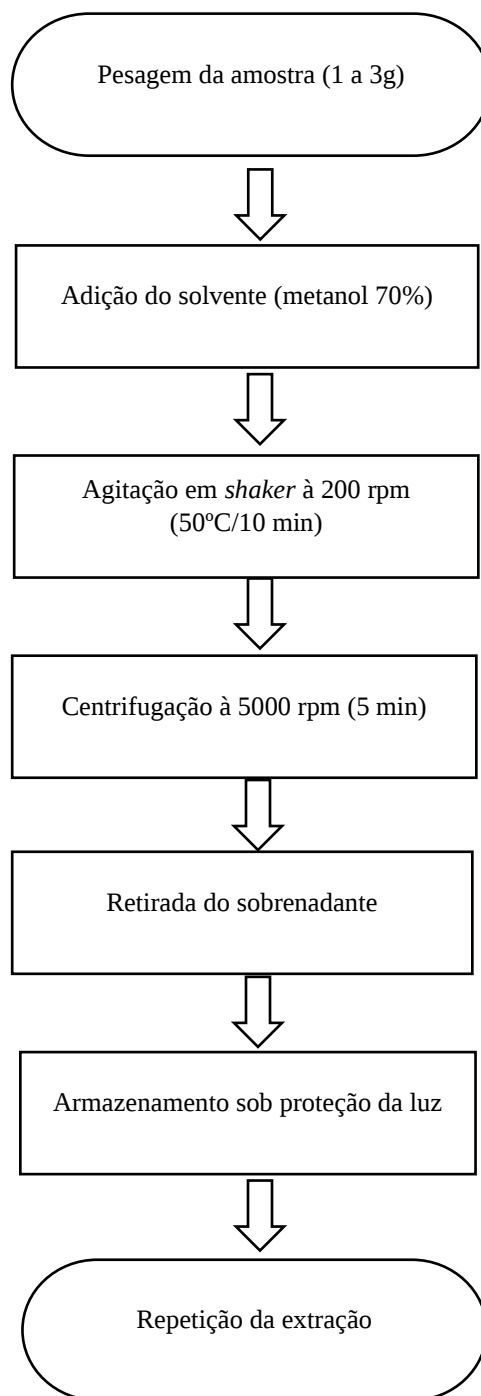
Foram determinados os compostos fenólicos totais, flavonoides totais, carotenoides totais e atividade antioxidante pelo método DPPH através do extrato de microverde de rúcula obtido.

4.2.3. Obtenção do extrato dos microverdes de rúcula

Para a obtenção do extrato dos microverdes de rúcula, foram pesados de 1 a 3g de amostra, transferidos para tubos de centrífuga e posteriormente adicionado 50 mL de metanol 70%. Em seguida, foram levados para um *shaker* (LUCADEMA) durante 10 minutos, com rotação de 200 rpm e temperatura de 50°C. Logo após, foram levados à centrífuga com 5000 rpm de rotação durante 5 minutos. O sobrenadante foi retirado e transferido para um béquer

protegido por papel alumínio. A extração foi realizada novamente para melhor garantia de extração (MARTELLI, 2025)

Figura 2. Fluxograma do processo de obtenção do extrato de microverdes de rúcula.



Fonte: Autoria própria

4.2.4. Compostos Fenólicos Totais

A análise de compostos fenólicos totais foi realizada de acordo com o método adaptado de Sephatour et al. (2018). Os compostos fenólicos totais foram determinados utilizando-se 0,50 mL de extrato de microverdes de rúcula, 2,5 mL de Folin-Ciocalteu a 10% e 2 mL de carbonato de cálcio a 7,5%. A mistura foi levada em banho-maria por 15 minutos, com temperatura de 50°C. Em seguida, as amostras foram resfriadas e realizada a leitura de absorbância das amostras em espectrofotômetro (JENWAY 7310 Spectrophotometer) com comprimento de onda de 760 nm. As análises foram realizadas em quintuplicata, utilizando o ácido gálico como padrão, e os resultados foram expressos em miligrama de ácido gálico equivalente por 100 gramas de extrato de microverde de rúcula (mg GAE/100g de amostra).

4.2.5. Flavonoides Totais

A análise dos flavonoides presentes nos extratos de microverdes de rúcula foi realizada de acordo com a metodologia de Dewanto et al. (2002). Os flavonoides foram determinados utilizando 0,5 mL de extrato de microverdes de rúcula, 2,5 mL de solução de cloreto de alumínio a 5% e 4,25 mL de metanol. As amostras foram lidas em espectrofotômetro (JANWAY 7310 Spectrophotometer) com comprimento de onda de 425 nm e os resultados foram calculados utilizando uma equação linear obtida por meio de uma curva de calibração com diferentes concentrações de quercetina. A análise foi realizada em quintuplicata e os resultados foram expressos em mg em equivalente de quercetina (EQ) por 100 gramas de extrato de microverde de rúcula (mg EQ/100g).

4.2.6. Carotenoides Totais

A determinação de carotenoides totais foi realizada de acordo com o método espectrofotométrico da AOAC (2004). Foram pesadas 2 g de amostras frescas de microverdes de rúcula, trituradas em gral com 0,5g de celite e imediatamente submetidas ao processo de extração para evitar a degradação oxidativa dos carotenoides pela luz e pelo oxigênio. Todas as etapas foram conduzidas sob luz reduzida. Os carotenoides foram extraídos utilizando acetona padrão (PA) como solvente. A amostra triturada foi transferida para um funil de Buchner nº 4, utilizando uma bomba vácuo e papel filtro para filtração, realizando a lavagem da amostra com acetona. A extração foi repetida até que o resíduo vegetal apresentasse coloração esbranquiçada, indicando remoção completa dos pigmentos. Os extratos foram combinados e transferidos para um funil de separação contendo éter de petróleo. A fase com éter de petróleo foi lavada com água destilada até total remoção da acetona (verificada por ausência de turbidez). O volume final de éter de petróleo foi ajustado para 50 mL em balão volumétrico âmbar. A absorbância

do extrato foi determinada em espectrofotômetro UV-Vis (JANWAY 7310 Spectrophotometer) com comprimento de onda de 450 nm, usando éter de petróleo como branco.

Os carotenoides totais foram calculados pela equação (1):

$$CT \left(\frac{\mu g}{g} \right) = \frac{ABS \times v \times d \times 10^4}{\varepsilon \times m} \quad (1)$$

Onde:

CT = carotenoides totais;

ABS = absorção lida no espectrofotômetro;

V = volume total da alíquota (volume do balão volumétrico utilizado em mL);

d = fator de diluição (caso não seja necessário diluir, o d = 1); diluir se a Abs for igual ou maior que 1.

ε = coeficiente de absorção do β -caroteno em éter de petróleo (2592 cm^{-1});

m = massa da amostra em g.

Os resultados foram realizados em triplicata e ao final foram transformados em miligramas por 100 gramas de microverdes de rúcula (mg/100g de microverdes de rúcula).

4.2.7. Atividade Antioxidante pelo Método DPPH

A capacidade de sequestro do radical DPPH foi determinada conforme protocolo da Embrapa (2023), com adaptações para microverdes. A determinação da curva padrão é realizada em ambiente escuro. Para isso, uma alíquota de 150 μL de cada concentração foi transferida para tubos de ensaio e adicionada de 5,850 mL da solução de uso de DPPH. Após homogeneização, a mistura foi mantida em repouso por 15 minutos. Para ambos foi observada a mudança de coloração. A leitura da absorbância foi realizada a 515 nm. Álcool etílico foi usado como branco. Os resultados foram dispostos em gráfico, sendo as concentrações de DPPH dispostas no eixo X e as respectivas absorbâncias no eixo Y. A curva foi realizada em triplicata.

A concentração de antioxidantes no tubo de reação [CT] é expressa em concentração equivalente de Trolox (μM). Mediante reta da curva de calibração pode-se calcular o valor [CT] usando a Equação 2.

$$[CT] = \frac{(ABS_{am} - b)}{a} \quad (2)$$

Sendo:

Abs_{am} = absorvância da amostra.

a = coeficiente angular obtido para a curva de calibração.

b = coeficiente linear obtido para a curva de calibração.

Levando em consideração a quantidade em gramas de microverdes de rúcula utilizada para extração (3 g em 50 mL de metanol 70%), tem-se a atividade oxi-redox da amostra expressa em equivalente Trolox (μmol/ grama de microverde de rúcula), (TEAC_m), Equação 3.

$$TEAC_m = [CT] \times \frac{(0,05 L)}{(0,3 g)} \quad (3)$$

A análise foi realizada em triplicata e os resultados foram transformados para miligrama de Trolox por grama de microverde de rúcula (mg TE/g de microverde de rúcula).

4.2.8. Vitamina C

A análise de vitamina C foi determinada por meio de titulação pelo método de Tillmans, segundo a metodologia da AOAC (1996). Esse método consiste na redução do 2-6-diclorofenol-indofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico. Em um béquer, foram pesados 25 g de amostra em balança semianalítica e também foram pesados 50 g de solução de ácido oxálico a 2%, e, em seguida, foram homogeneizados para a obtenção de um extrato. Desse extrato, foram pesados 20 g, que foram transferidos para um balão de 50 mL, e o volume foi completado com a solução de ácido oxálico a 2%. Em seguida, foram filtrados. Posteriormente, foi transferida uma alíquota de 10 mL do filtrado para um Erlenmeyer e titulado com a solução de DCFI previamente padronizada até o desenvolvimento de uma coloração rósea persistente durante 15 segundos. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.9. Conteúdo mineral fixo

Para a análise de cinzas ou conteúdo mineral fixo, as amostras foram submetidas a mufla (COEL HW1000) com temperatura de 550° durante um período de 24 horas e em seguida foi realizado a pesagem, segundo a metodologia da AOAC (2023).

4.2.10. Acidez titulável

A acidez titulável foi realizada segundo a metodologia da AOAC (2023). Foram pesadas 5 g de amostras em triplicata e, em seguida, foram adicionados 50 mL de água destilada, obtendo-se um extrato que foi titulado com a solução alcalina de NaOH 0,1N, sendo adicionada fenolftaleína a 1% como indicador e utilizando para o ponto final o pH de 8,1, que foi monitorado com um pHmetro.

4.2.11. pH

A análise de pH foi realizada segundo a metodologia da AOAC (2023), utilizando um pHmetro de bancada (INSTRUTHERM pH-1500).

4.2.12. Sólidos Solúveis Totais (°Brix)

A análise de sólidos solúveis totais foi realizada com refratômetro de bancada (ABBÉ), devidamente calibrado com água destilada. Posteriormente, foi adicionada a amostra e realizada a leitura direta, apresentando diretamente em °Brix, segundo a AOAC (2023).

4.2.13. Umidade

A umidade foi realizada pela metodologia da AOAC (2023). Foram pesadas 2 g de amostra em triplicata e levadas a estufa (LUCADEMA) com circulação e ar previamente aquecida a 105 °C, onde permaneceu por 24 horas. Posteriormente as amostras foram adicionadas a um dessecador e foi realizado a pesagem da amostra seca.

4.2.14. Atividade de água (Aw)

Foram realizadas em triplicata, utilizando o medidor de marca Aqua Lab devidamente calibrado, segundo a metodologia da AOAC (2023).

4.3. Resultados e Discussão

A Figura 3, mostra os microverdes de rúcula após 10 dias de cultivo dentro câmara climática.

Figura 3. Microverdes de rúcula após 10 dias de cultivo dentro da câmara climática.



Fonte: Autoria própria

De acordo com Pinto et al. (2020), a composição do substrato é um dos principais fatores que influenciam a qualidade e o crescimento de microverdes de rúcula (*Eruca sativa*). O substrato atua como meio de suporte para as raízes e fornece condições físicas e químicas que afetam diretamente a germinação, a uniformidade do estande e a produção de biomassa. Entre as características essenciais para o bom desenvolvimento das plântulas destacam-se a capacidade de retenção de água, aeração adequada, disponibilidade de nutrientes e baixa salinidade.

Entre os substratos comerciais disponíveis, destaca-se o Carolina Soil, composto predominantemente por turfa de musgo, associada a materiais que melhoram a aeração e a capacidade de retenção hídrica, como vermiculita expandida, casca de arroz carbonizada e perlita (BONATO et al., 2022).

Como alternativa aos substratos orgânicos, a Espuma Fenólica tem sido amplamente empregada na produção de mudas e microverdes, especialmente em sistemas hidropônicos. Sua principal característica é ser produzida a partir de resinas fenólicas reticuladas que, após os processos de expansão e cura, formam uma matriz rígida, leve e altamente porosa, geralmente de coloração esverdeada (GUALBERTO et al., 2020).

A Tabela 1 apresenta os resultados de compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante pelo método DPPH em microverdes de rúcula em massa fresca (MF), cultivados em Espuma Fenólica (EF) e no substrato comercial Carolina Soil (CS), sob luz LED branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).

Tabela 1. Compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante pelo método DPPH de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados com Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).

Espuma Fenólica			
Tipo de luz LED	Compostos fenólicos Totais (mg GAE/100g de amostra)	Flavonoides Totais (mg QE/100g de amostra)	DPPH (mg TE/g de amostra)
LB	76,65 ^c ± 4,34	1,04 ^e ± 0,14	10,15 ^e ± 0,06
LD	138,24 ^a ± 1,77	0,15 ^f ± 0,00	9,85 ^f ± 0,06
LVA	80,61 ^b ± 1,33	39,14 ^a ± 0,14	15,98 ^a ± 0,05
Substrato Carolina Soil			
LB	56,46 ^e ± 1,43	5,2 ^c ± 0,44	13,61 ^d ± 0,04
LD	66,34 ^d ± 2,69	5,58 ^b ± 0,51	15,67 ^b ± 0,03
LVA	47,36 ^f ± 1,65	3,27 ^d ± 0,42	15,36 ^c ± 0,03

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey ($p \geq 0,05$); QE = quercitina; GAE = equivalente em ácido gálico; TE = equivalente de trolox. Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 1, observa-se diferença significativa ($p < 0,05$) nos valores de compostos fenólicos totais entre todos os tratamentos avaliados. O tratamento LD, cultivado em EF, apresentou os maiores teores de compostos fenólicos em comparação com os demais.

Liang et al. (2019) relataram 125,54 mg GAE/100 g de amostra ao analisarem fitoquímicos e atividade antioxidante para o repolho cabeça-de-bola, obteve valor inferior ao obtido no tratamento LD + EF deste estudo, sendo o repolho pertencente a mesma família da rúcula.

Já a pesquisa de Gomes et al. (2023) encontraram valores de 62,42 mg GAE/100 g para o caule de brócolis e 63,88 mg GAE/100 g para o coração do repolho, resultados próximos aos obtidos no tratamento LD + CS deste estudo, ambos pertencentes a família *Brassicaceae*. Observa-se que, mesmo entre espécies da mesma família, os teores de compostos fenólicos podem variar significativamente em função das condições de cultivo e da parte da planta analisada, reforçando a influência dos fatores ambientais e tecnológicos na composição bioativa dos vegetais (PÉREZ-BALIBREA et al., 2008; NICOLLE et al., 2004).

Os compostos fenólicos possuem grande relevância morfológica e fisiológica para as plantas, atuando como antioxidantes, fitoalexinas, atrativos para polinizadores, agentes de proteção contra radiação UV e contribuindo para a pigmentação dos vegetais (DEUS et al., 2023).

Em relação ao teor de flavonoides totais, também houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos. O tratamento LVA + EF apresentou os maiores valores entre todos.

Um estudo sobre flavonoides em alimentos vegetais apresentou resultados semelhantes aos encontrados no tratamento LB + EF, com 1,0 mg QE/100 g para o agrião e 1,3 mg QE/100 g para couve, espécies pertencentes à mesma família da rúcula (ARABBI, 2003). Ferreira (2022) relatou 1,20 mg QE/100 g em microverdes de beterraba submetidos a 6 horas de luz branca, valor próximo ao encontrado no tratamento LB + EF.

Liang et al. (2019) encontraram 9,45 mg QE/100 g para repolho de cabeça chata. Apesar de considerado baixo pelos autores, tal valor ainda supera a maioria dos tratamentos deste estudo, exceto LVA + EF. Esse desempenho pode estar associado tanto a fatores genéticos quanto às condições de cultivo e ao processamento pós-colheita (JUSTI et al., 2004). Embora os valores obtidos para flavonoides totais tenham sido inferiores aos reportados por alguns autores, observou-se aumento significativo no tratamento LVA + EF. Da Cruz et al. (2024) e Zheng et al. (2025) indicam que o acúmulo de flavonoides em tecidos vegetais está relacionado à exposição à luz, especialmente pela combinação de luz vermelha e azul, que intensifica a síntese desses metabólitos antioxidantes.

No cultivo com substrato CS, verificou-se aumento significativo nos teores de flavonoides quando comparado aos tratamentos LB + EF e LD + EF. O substrato Carolina Soil é composto por turfa, resíduos orgânicos agroindustriais e vermiculita, proporcionando maior disponibilidade de nutrientes e favorecendo o crescimento das plantas (DANTAS et al., 2024).

Os flavonoides totais pertencem ao grupo dos compostos fenólicos e constituem metabólitos secundários amplamente presentes em verduras, frutas, hortaliças, flores e sementes (MALIKOSKY, 2020).

Quanto à atividade antioxidante pelo método DPPH, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). O tratamento LVA + EF obteve a maior capacidade antioxidante, embora os valores sob LB + EF e LD + EF tenham sido inferiores aos obtidos nos tratamentos cultivados com o substrato Carolina Soil (CS).

Drygás et al. (2024), ao avaliarem extratos de *Ascophyllum nodosum* no cultivo de microverdes de rúcula, encontraram 8,59 mg TE/g (massa seca) para amostras irrigadas com 2,5% de alga, valor inferior ao encontrado neste estudo, aproximando-se apenas do tratamento LD + EF. Komerowski et al. (2023) observaram valores de 1,67 mg TE/g em brotos de rúcula 1,70 mg TE/g em microverdes de rúcula, ambos cultivados em Espuma Fenólica exposto a luz solar durante 12 horas. Esses valores foram inferiores a todos os tratamentos encontrados nesse

estudo, porém o tratamento LD+EF resultou também em menores concentrações de DPPH, podendo estar relacionado a condição de cultivo e também exposição solar.

O método DPPH é amplamente utilizado para avaliar a atividade antioxidante na rúcula devido à sua eficácia em medir a capacidade de eliminação de radicais livres dos fitoquímicos, permitindo quantificar a atividade antioxidante total (DRYGÁS et al., 2024).

As condições de cultivo, incluindo uso de fertilizantes e intensidade luminosa, são fatores determinantes na síntese de bioativos. A luz LED pode aumentar a capacidade antioxidante e promover o acúmulo de compostos bioativos (KOMEROSKI et al., 2023). Mendes et al. (2024) destacam que a luz azul estimula a síntese de metabólitos antioxidantes, reduzindo danos oxidativos.

A Tabela 2 apresenta os teores de carotenoides totais, vitamina C e conteúdo mineral fixo de microverdes de rúcula cultivados em EF e substrato CS, submetidos à luz LB, LD e LVA.

Tabela 2. Carotenoides totais, vitamina C e conteúdo mineral fixo de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados em Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).

Espuma Fenólica			
Tipo de Luz LED	Carotenoides totais (mg/100g)	Vitamina C (mg/100g)	Conteúdo mineral fixo (g/100g)
LB	15,59 ^c ± 0,43	20,46 ^c ± 2,87	0,73 ^f ± 0,06
LD	13,92 ^e ± 0,28	30,27 ^a ± 1,10	0,96 ^e ± 0,04
LVA	32,05 ^a ± 1,80	29,03 ^b ± 5,72	0,99 ^d ± 0,00
Substrato Carolina Soil			
LB	16,78 ^b ± 0,22	16,47 ^e ± 0,26	1,68 ^a ± 0,16
LD	11,22 ^f ± 0,05	11,25 ^f ± 0,41	1,44 ^b ± 0,06
LVA	14,19 ^d ± 0,13	18,76 ^d ± 3,36	1,28 ^c ± 0,02

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey ($p \geq 0,05$). Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 2, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre todos os tratamentos em relação aos carotenoides totais. Observa-se que o cultivo em EF submetido à LVA apresentou os maiores valores entre os tratamentos. Komerowski et al. (2023) ao analisarem teor de carotenoides totais em microverdes de rúcula e brotos de rúcula cultivados em Espuma Fenólica com exposição de luz solar durante 12 horas, encontraram 1,19 mg/100 g e 7,4 mg/100 g, respectivamente. Esses resultados foram inferiores aos obtidos neste estudo, sendo o resultado de brotos mais próximo ao tratamento sob LD cultivado em substrato CS, podendo a luz do dia ter influenciado negativamente na síntese de carotenoides totais. Saleh et al. (2022)

relataram valores de 56,24, 51,80, 47,28 e 39,16 mg/100 g para rúcula, acelga, couve e pak choi, respectivamente. Todos foram superiores aos encontrados neste estudo, sendo o resultado da pak choi o mais próximo ao observado nos microverdes cultivados em EF + LVA.

A luz azul está diretamente relacionada à absorção de luz pelos pigmentos fotossintéticos, incluindo clorofilas a e b e carotenoides, podendo contribuir para o aumento desses compostos nos vegetais (LAZZARINI et al, 2017).

Quanto ao teor de vitamina C, também houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre todos os tratamentos. O cultivo em EF sob LD apresentou os maiores valores. Santos (2017) relatou teores de vitamina C de 38,45 mg/100 g para rúcula convencional, 22,21 mg/100 g para hidropônica e 22,06 mg/100 g para orgânica. O valor da rúcula convencional foi superior aos deste estudo, enquanto os valores para hidropônica e orgânica se aproximaram do tratamento EF + LB, podendo estar relacionado as diferentes condições de cultivo. Kurina (2024) encontrou 16,5 mg/100 g em rúcula cultivada em estufa, semelhante ao valor obtido para LB + CS. A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) informa 57,8 mg/100 g para rúcula fresca, resultado superior a todos os tratamentos aqui avaliados.

O ácido ascórbico desempenha diversas funções nos organismos, e seu teor nas plantas varia amplamente em função das condições de cultivo, da variedade, do ponto de colheita e do manejo e armazenamento pós-colheita (KURINA et al., 2024). Entre esses fatores, o armazenamento é o principal responsável pelas perdas de vitamina C, uma vez que este é um dos compostos mais sensíveis à degradação em alimentos (MORAES et al., 2010).

Em relação ao conteúdo mineral fixo, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Observa-se que o maior teor de minerais totais foi obtido no cultivo em substrato CS sob LB. Também é possível verificar que o substrato comercial CS favoreceu o aumento do conteúdo mineral em todos os tratamentos, quando comparado ao cultivo em EF.

Dereje et al. (2023) relataram 1,03 g/100 g de cinzas para mostarda, valor inferior ao obtido com o substrato CS, porém semelhante ao observado para EF + LVA. No mesmo estudo, microverdes de couve chinesa apresentaram 0,65 g/100 g de cinzas, enquanto microverdes de rabanete variaram de 0,44 a 0,77 g/100 g, sendo todos inferiores aos resultados deste estudo. A TACO apresenta 1,15 g/100 g de cinzas em rúcula fresca, valor superior aos tratamentos com EF e inferior ao cultivo em CS, indicando que o substrato comercial pode ter favorecido maior absorção de minerais devido à sua influência positiva na germinação, uniformidade do estande e produção de biomassa.

A análise de cinzas fornece informações importantes sobre o valor nutricional dos alimentos, especialmente seu teor de minerais (BONA, 2014). Os minerais são compostos

inorgânicos essenciais, atuando na homeostase, no metabolismo, e na síntese e estabilização de proteínas e ácidos nucleicos. Espécies e variedades influenciam significativamente o teor de minerais de microverdes da família Brassicaceae (DEREJE et al., 2023).

A Tabela 3 apresenta os resultados de pH, acidez titulável e sólidos solúveis (SS) dos microverdes de rúcula cultivados em EF e substrato CS submetidos à luz LB, LD e LVA.

Tabela 3. pH, acidez titulável e sólidos solúveis (°Brix) de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados em Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).

Espuma Fenólica			
Tipo de Luz LED	pH	Acidez Titulável (%)	SS (%)
LB	5,41 ^e ± 0,29	0,34 ^f ± 0,02	5,1 ^b
LD	5,89 ^b ± 0,02	1,39 ^a ± 0,15	5,0 ^c
LVA	4,39 ^f ± 0,03	0,63 ^d ± 0,07	6,3 ^a
Substrato Carolina Soil			
LB	5,68 ^d ± 0,02	0,77 ^b ± 0,11	2,2 ^f
LD	6,09 ^a ± 0,06	0,69 ^c ± 0,07	4,8 ^d
LVA	5,71 ^c ± 0,20	0,39 ^e ± 0,04	4,1 ^e

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey ($p \geq 0,05$). Fonte: Autoria própria.

Todos os resultados de pH apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$). O tratamento com substrato CS submetido à LD apresentou o maior valor de pH dentre os tratamentos avaliados. Valores semelhantes foram relatados por Da Costa (2023), que encontrou pH de 6,0 para microverdes de rúcula. Meinerz (2021) também observou pH próximo, de 5,84, para rúcula orgânica, corroborando os valores encontrados no presente estudo. Por outro lado, o cultivo em EF sob LVA apresentou o menor valor de pH entre os tratamentos.

O aumento do pH pode estar relacionado à conversão bioquímica de ácidos graxos em compostos menos ácidos ao longo do tempo, enquanto sua redução pode ser atribuída a processos fisiológicos e metabólicos que ocorrem durante o armazenamento vegetal, como a formação e o acúmulo de ácidos orgânicos. (KOMEROSKI et al., 2024).

A acidez titulável também apresentou variação significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Todos os valores obtidos foram inferiores aos relatados por Da Costa (2023), que encontrou 1,61% de acidez em microverdes de rúcula, porém superiores aos observados por Santos (2017) para rúcula orgânica (0,21%). A acidez é um parâmetro importante por influenciar o sabor ácido ou azedo do produto, afetando a relação de doçura e,

consequentemente, a preferência do consumidor. Em hortaliças, esse atributo tende a ser naturalmente baixo e pode sofrer variações durante o armazenamento (SANTOS, 2017; MEINERZ, 2021).

Quanto ao teor de sólidos solúveis, verificou-se diferença significativa entre todos os tratamentos ($p < 0,05$). Observou-se que o cultivo em EF apresentou valores superiores quando comparado ao substrato CS, especialmente sob LVA. Lima Vasconcelos (2011) encontrou 6,20 °Brix para microverdes de rúcula e 4,92 °Brix para rúcula convencional, valores próximos aos obtidos no presente estudo para os tratamentos com EF. O teor de sólidos solúveis representa açúcares e ácidos presentes no tecido vegetal, sendo frequentemente associado à doçura do produto (LERNER, 2022). Durante o armazenamento, esse parâmetro tende a aumentar devido a alterações metabólicas, como degradação de compostos e redução do teor de água (MEINERZ, 2021). Por outro lado, valores reduzidos podem indicar excesso de água no ambiente de cultivo ou armazenamento, levando à diluição dos sólidos solúveis e à diminuição da fotossíntese (SANTOS, 2021).

A Tabela 4 apresenta os resultados de atividade de água (Aw) e umidade dos microverdes de rúcula em MF cultivados em EF e no substrato CS, sob LB, LD e LVA.

Tabela 4. Atividade de água (Aw) e umidade de microverdes de rúcula em massa fresca (MF) cultivados com Espuma Fenólica (EF) e substrato comercial Carolina Soil (CS) submetidos a luz branca (LB), luz do dia (LD) e luz vermelha e azul (LVA).

Espuma Fenólica		
Tipo de Luz LED	AW	Umidade (%)
LB	0,98 ^b ± 0,00	89,10 ^d ± 0,23
LD	0,99 ^a ± 0,00	89,72 ^b ± 0,11
LVA	0,98 ^b ± 0,00	86,13 ^f ± 0,96
Substrato Carolina Soil		
LB	0,99 ^a ± 0,00	90,47 ^a ± 0,30
LD	0,99 ^a ± 0,00	88,50 ^e ± 0,60
LVA	0,98 ^b ± 0,00	89,66 ^c ± 0,09

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey ($p \geq 0,05$). Fonte: Autoria própria.

A atividade de água (Aw) dos tratamentos com EF sob LD e com substrato CS submetido à LB e LD não apresentou diferença significativa entre si ($p > 0,05$). No entanto, esses tratamentos diferiram significativamente ($p < 0,05$) dos cultivos com EF sob LB e LVA, bem como do tratamento com substrato CS sob LVA. Esses últimos, por sua vez, não diferiram entre si ($p > 0,05$).

Purgatorio (2024) relatou valores de A_w de 0,991 para rúcula não tratada e 0,985 para rúcula submetida a lavagem, valores que se aproximam dos observados no presente estudo. A atividade de água representa a fração de água disponível para reações químicas e para o crescimento microbiano, variando de 0 (material completamente seco) a 1,00 (água pura). Vegetais folhosos frescos, como a rúcula (*Eruca sativa*), geralmente apresentam A_w elevada, variando entre 0,97 e 0,99, indicando grande disponibilidade de água no tecido vegetal para reações enzimáticas e desenvolvimento microbiano (CULLINEY & SCHMALENBERGER, 2022).

No que se refere ao teor de umidade, todos os tratamentos diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$). Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), a rúcula fresca apresenta umidade de 93,5%, valor superior ao registrado para todos os tratamentos deste estudo. Komerowski et al. (2023) relataram 68,65% de umidade para microverdes de rúcula, valor inferior ao encontrado nos tratamentos avaliados. Já para brotos de rúcula, o mesmo estudo reportou 93,30% de umidade, resultado superior aos observados neste trabalho e próximo apenas ao tratamento com substrato CS sob LB, possivelmente devido à uniformidade de estande favorecida pelo substrato.

A umidade relativa (UR) exerce forte influência na retenção de água e na eficiência fotossintética das plantas, tornando-se um parâmetro essencial para o crescimento de microverdes. Entretanto, níveis excessivos de umidade podem comprometer tanto a qualidade quanto a segurança microbiológica dos produtos (DUBEY et al., 2024).

5. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que os microverdes de rúcula cultivados em Espuma Fenólica sob luz vermelha e azul apresentaram os maiores teores de flavonoides totais, atividade antioxidante, carotenoides totais, sólidos solúveis e valores significativos de compostos fenólicos e vitamina C, evidenciando o potencial desse sistema de cultivo para a produção de alimentos com maior valor funcional. Embora o uso do substrato Carolina Soil tenha resultados em menores concentrações de compostos fenólicos, vitamina C e sólidos solúveis totais, foi observado um incremento no teor de flavonoides e cinzas, ainda que em níveis relativamente baixos. Assim, o cultivo em ambiente controlado, com Espuma Fenólica e iluminação vermelha em sinergia com a azul, mostrou-se a estratégia mais eficiente para otimizar a qualidade nutricional dos microverdes de rúcula, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis e voltados à obtenção de alimentos funcionais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSOLO. Substrato Carolina Soil para plantas classe LXXXVI 0,25H 0–7, 45 litros 8 kg. Disponível em: <https://www.agroso.com.br/produto/substrato-carolina-soil-para-plantas-classe-lxxxvi-025h-0-7-45-litros-8kg-79426>. Acesso em: 10 set. 2025.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official methods of analysis of AOAC International*. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 1996. 1141 p.

ARABBI, P. R. Determinação de flavonóides em alimentos vegetais consumidos no Brasil. 2003.

ARYA, K. S.; KUTTY, M. S.; PRADEEPKUMAR, T. Microgreens of tropical edible-seed species, an economical source of phytonutrients: insights into nutrient content, growth environment and shelf life. *Future Foods*, v. 8, p. 100262, 2023.

BANTIS, F. et al. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*, v. 235, p. 437–451, 2018.

BIAN, Z. H.; YANG, Q. C.; LIU, W. K. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 95, n. 5, p. 869–877, 2015.

BLASIUS, M. B. et al. Produção de brotos de girassol (*Helianthus annuus* L.) em diferentes substratos no contexto da agricultura urbana. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 24, de 8 de setembro de 2005. Oficializa métodos analíticos para controle de alimentos de origem vegetal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 set. 2005.

BONA, G. S de. *Avaliação do potencial nutricional e de compostos bioativos em plantas alimentícias não convencionais do Rio Grande do Sul*. Trabalho acadêmico — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BONATO, A. et al. Substratos e qualidade de luz na produção de microverdes. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 13, p. e239111335448-e239111335448, 2022.

BULGARI, R. et al. LED lighting in horticulture. *Horticulturae*, v. 3, n. 2, p. 45, 2017.

CAROLINA SOIL. Pindstrup. Disponível em: <https://carolinasoil.com.br/substratos-carolina-soil/>. Acesso em: 10 set. 2025.

COSTA, E. M. da. Potencial de variedades de feijão-caupi do BAG-UFC para uso na produção de microverdes. 2023.

CRUZ, J. M. P. Iluminação LED em câmaras de crescimento de plantas: influência na eficiência energética e desenvolvimento das plantas. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Évora, Portugal, 2021.

CULLINEY, P.; SCHMALENBERGER, A. Cultivation conditions of spinach and rocket influence epiphytic growth of *Listeria monocytogenes*. *Foods*, v. 11, n. 19, p. 3056, 2022.

DA COSTA, J. C. F. LED: tempos de exposição do tratamento em microverdes de rúcula e rabanete. Campus Piranhas, Curso Superior em Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2023.

DA CRUZ, E. A. et al. Effect of different times of exposure to LED treatment on microgreens of arugula (*Eruca sativa*) and radish (*Raphanus sativus*). *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 12, p. e11239-e11239, 2024.

DANTAS, T. et al. Effect of different substrates and protected environments on growth, chlorophyll, and carotenoid contents of kale microgreens and baby leaf. *International Journal of Agronomy*, London, v. 2024, n. 1, p. 8842753, 2024.

DA SILVA, J. K. M. et al. Efeito da salinidade e adubos orgânicos no desenvolvimento da rúcula. *Revista Caatinga*, v. 21, n. 5, 2008.

DA SILVA, L. P. et al. Uso de substratos alternativos na produção de mudas de pimenta e pimentão. In: *Colloquium Agrariae*, p. 104-115, 2019.

DE LIMA VASCONCELOS, R.; FREITAS, M. P. N.; BRUNINI, M. A. Características físico-químicas da rúcula cv. cultivada produzida no sistema convencional e no baby leaf. *Nucleus*, v. 8, n. 2, p. 24, 2011.

DEREJE, B. et al. Biofortification of arugula microgreens through supplemental blue light. *ACS Food Science & Technology*, 2023.

DEREJE, B. et al. Brassicaceae microgreens: phytochemical compositions, influences of growing practices, postharvest technology, health, and food applications. *ACS Food Science & Technology*, v. 3, n. 6, p. 981-998, 2023.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K. K.; LIU, R. H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 10, p. 3010–3014, 2002.

DIAS, J. S. Nutritional quality and health benefits of vegetables: a review. *Food and Nutrition Sciences*, v. 10, n. 11, p. 369–402, 2019.

DIAS, L. O. F. Efeito de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agrônômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, 2022.

DI GIOIA, F.; SANTAMARIA, P. Microgreens: novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. In: *Proceedings of the International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis*, v. 1092, p. 253–264, 2015.

DRYGAS, B. et al. The eliciting effect of aqueous extracts from *Ascophyllum nodosum* algae on the cultivation of arugula (*Eruca sativa* Mill.) microgreens. *Sustainability*, v. 16, n. 17, p. 7436, 2024.

DOUGLAS, J. S. *Hidroponia: cultura sem terra*. NBL Editora, 1987.

DUBEY, S. et al. Produção de microverdes: explorando fatores ambientais e culturais para benefícios agrônômicos aprimorados. *Plants*, v. 13, n. 18, p. 2631, 2024.

DOS SANTOS, F. L.; DA COSTA, E. S.; LIMA, C. S. M. Diferentes substratos no desenvolvimento e na pós-colheita de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, v. 21, n. 2, 2020.

EMBRAPA. Método de DPPH adaptado: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos da erva-mate de forma rápida e reprodutível. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101294/1/CT4211642final.pdf>>. Acesso em: 27/11/2025.

FERREIRA, I. L. L.; LUZ, H. O. Avaliação do cultivo de microverdes em ambiente indoor utilizando substrato em espuma fenólica e substrato Carolina Soil. In: *Anais da 3ª Semana Atualizando*, Manaus, AM: INPA, 2023. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/3-semana-atualizando/726702-AVALIACAO-DO-CULTIVO-DE-MICROVERDES-EM-AMBIENTE-INDOOR-UTILIZANDO-SUBSTRATO-EM-ESPUMA-FENOLICA-E-SUBSTRATO-CAROLI>>. Acesso em: 07 abr. 2025.

FERRAREZI, R. S. et al. Multi-season evaluation of substrates for optimized arugula and lettuce production in hydroponics. *HortScience*, v. 59, n. 3, p. 403–411, 2024.

FERREIRA, M. F. Uso de iluminação artificial para o aumento de substâncias antioxidantes em microverdes de beterraba e repolho roxo. 2022.

GAMA, N.; LEMOS, J. Phenolic foams: properties and applications. *Journal of Polymer Research*, v. 24, n. 6, p. 118, 2017.

GARCÍA-PÉREZ, P. et al. Exploring the bioaccessibility of polyphenols and glucosinolates from Brassicaceae microgreens by combining metabolomics profiling and computational chemometrics. *Food Chemistry*, p. 139565, 2024.

GOINS, G. D. et al. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 7, p. 1407-1413, 1997.

GOMES, L. M. et al. Vegetables and their by-products: total phenolic compound content, total flavonoids, and antioxidant activity. *Horticultura Brasileira*, v. 41, p. e2572, 2023.

HENRIQUE, V. A.; FERREIRA, L. P.; DOS REIS NUNES, C. Análise físico-química e antioxidante de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) orgânico. *Revista Interdisciplinar Pensamento Científico*, v. 3, n. 2, 2017.

HENZ, G. P. H.; MATTOS, L. M. Manuseio pós-colheita de rúcula. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008.

HERNÁNDEZ, R.; KUBOTA, C. Physiological responses of cucumber seedlings under different qualities of supplemental LED lighting. *Scientia Horticulturae*, v. 198, p. 299–307, 2016.

HOGEWONING, S. W. et al. Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, v. 61, n. 11, p. 3107–3117, 2010.

HUO, S. et al. The influence of microalgae on vegetable production and nutrient removal in greenhouse hydroponics. *Journal of Cleaner Production*, v. 243, p. 118563, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JAIN, S.; GUPTA, S. Recent advances in phenolic foam composites: synthesis, properties, and applications. *Materials Today: Proceedings*, v. 33, p. 314–321, 2020.

JOHNSON, E. J. et al. Nutritional composition of microgreens compared to mature greens. *International Journal of Food Science*, 2021.

JÚNIOR, E. S. D. et al. Uso de LEDs na horticultura como estratégia para agricultura sustentável: uma revisão bibliográfica. *Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 9, p. e17953, 2025.

JUSTI, K. C. et al. Flavonoid content in foods commonly consumed in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, n. 8, p. 1124–1131, 2004.

KATHI, S. et al. Light quality impacts phytochemical accumulation in microgreens. *Scientific Reports*, v. 12, p. 17030, 2022.

KATHI, S. et al. Simultaneous biofortification of vitamin C and mineral nutrients in arugula microgreens. *Food Chemistry*, v. 440, p. 138180, 2024.

KEUTGEN, N. et al. Nutritional and sensory quality of two types of cress microgreens depending on the mineral nutrition. *Agronomy*, v. 11, n. 6, p. 1110, 2021.

KOMEROSKI, M. R. et al. Qualidade nutricional e compostos bioativos de brotos e microverdes de rúcula (*Eruca sativa* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 10, p. 5089-5096, 2023.

KOMEROSKI, M. R. et al. Nutritional potential of microgreens from *Brassicaceae* family. *International Journal of Food Science*, 2023.

KOMEROSKI, M. R. Qualidade nutricional, bioativa, microbiológica e sensorial de microgreens de rúcula (*Eruca sativa*) frescos e submetidos à diferentes embalagens e dias de armazenamento. 2024.

KOPSELL, D. A. et al. LED spectral effects on phytochemical concentrations in microgreens. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 123, 2020.

KOPSELL, D. A. et al. Biomass, carbohydrates, pigments, and mineral elements in kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) microgreens respond to LED blue-light wavelength. *Scientia Horticulturae*, v. 328, p. 112929, 2024.

KURINA, A. B.; ERMOLENKO, K. A.; SOLOVYEVA, A. E. Comparative study of antioxidant activity of VIR *Eruca sativa* Mill. and *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC. collections. *Technology in Horticulture*, v. 5, n. 1, 2024.

KYRIACOU, M. C. et al. Microgreens as novel functional foods: mineral composition and bioactive compounds. *Food Chemistry*, v. 211, p. 505–510, 2016.

KYRIACOU, M. C.; ROUPHAEL, Y.; DI GIOIA, F.; KYRATZIS, A.; SERIO, F.; RENNA, M.; SANTAMARIA, P. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, v. 57, p. 103–115, 2016.

LAZZARINI, L. E. S. et al. Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas: revisão. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 16, n. 2, p. 137–144, 2017.

LERNER, B. L. Produção de microverdes de brássicas: densidades de semeadura, concentrações de solução nutritiva e épocas de cultivo. 2022.

LIANG, Y. et al. Phytochemicals and antioxidant activity in four varieties of head cabbages commonly consumed in China. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 1, n. 1, p. 3, 2019.

LIN, K.H. et al. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v.150, p.86-91, 2013.

LIU, R. H. Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, v. 4, n. 3, p. 384S–392S, 2013.

LONE, J. K. et al. Microgreens on the rise: expanding our horizons from farm to fork. *Heliyon*, 2024.

MALIKOSKY, M. et al. Quantificação de flavonoides totais da *Eruca sativa* (rúcula) cultivada de forma hidropônica na região oeste do Paraná. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

MARODIM, V. S. et al. Delineamento experimental e tamanho de amostra para alface cultivada em hidroponia. *Ciência Rural*, v. 30, p. 779–781, 2000.

MARTELLI, S. M. **Roteiro de aula prática: Espectrofotometria – Determinação de flavonoides.** Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, 2025. Roteiro de aula prática.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; GIL-IZQUIERDO, A.; GIL, M. I.; FERRERES, F. A comparative study of flavonoid compounds, vitamin C, and antioxidant properties of baby leaf Brassicaceae species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 56, n. 7, p. 2330–2340, 2008.

MEINERZ, M. J. A. et al. Qualidade química e físico-química de rúcula orgânica em função do período de colheita e armazenamento. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 3, p. 783–792, 2021.

MENDES, F. Q. et al. White light intensities for maximum yield and quality of arugula microgreens. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 54, p. e79951, 2024.

MORAES, F. A. et al. Perdas de vitamina C em hortaliças durante o armazenamento, preparo e distribuição em restaurantes. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 15, p. 51–62, 2010.

MASSA, G. D.; KIM, H. H.; WHEELER, R. M.; MITCHELL, C. A. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, v. 43, n. 7, p. 1951–1956, 2008.

NÁJERA, C. et al. Combined effect of an agro-industrial compost and light spectra composition on yield and phytochemical profile in mizuna and pak choi microgreens. *Heliyon*, v. 10, n. 4, p. 105839, 2024.

NICOLLE, C. et al. Characterization of carotenoids, flavonoids and vitamin C from different varieties of *Brassica oleracea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, n. 24, p. 7381–7388, 2004.

OLLE, M.; VIRŠILE, A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, v. 22, n. 2, p. 223–234, 2013.

OLIVEIRA, T. J. S. S. et al. Inoculation reduces nitrate accumulation and increases growth and nutrient accumulation in hydroponic arugula. *Scientia Horticulturae*, v. 320, p. 112213, 2023.

PANT, Y.; LINGWAN, M.; MASAKAPALLI, S. K. Metabolic, biochemical, mineral and fatty acid profiles of edible Brassicaceae microgreens establish them as promising functional food. *Food Chemistry Advances*, v. 3, p. 100461, 2023.

PARADISO, R.; PROIETTI, S. Light-emitting diodes (LEDs): a new era in horticulture. *Horticulturae*, v. 8, n. 6, p. 528, 2022.

PÉREZ-BALIBREA, S.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 88, p. 904–910, 2008.

PINTO, E. et al. Substrate effects on growth and phytochemical composition of microgreens. *Agronomy*, v. 10, p. 207, 2020.

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.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. *Phenolic Foam: Science and Technology*. CRC Press, 2012.

PURGATORIO, C. et al. *Thymbra capitata* L. hydrolate as a washing solution for controlling *Listeria monocytogenes* and spoilage microorganisms on rocket salad. *Food Control*, v. 159, p. 110285, 2024.

RADTKE WIETH, A.; DUTRA PINHEIRO, W.; DA SILVA DUARTE, T. Commercial substrates and nutrient concentrations in the production of arugula microgreens. *Agronomía Colombiana*, v. 39, n. 1, p. 5–11, 2021.

RUFINO, M. D. S. M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{o+}. 2007.

SALEH, R. et al. Growth and biochemical composition of microgreens grown in different formulated soilless media. *Plants*, v. 11, n. 24, p. 3546, 2022.

SANTOS, J. R. *Diferentes substratos no cultivo de microverdes de rúcula (Eruca sativa Miller)*. Trabalho acadêmico — Uninter, Laranjeiras do Sul, 2021.

SANTOS, V. N. dos. Qualidade de alface e rúcula comercializadas in natura no município de Petrolina-PE. 2017.

SCALBERT, A.; JOHNSON, I. T.; SALTMARSH, M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 81, n. 1, p. 215S–217S, 2005.

SEPAHPOUR, S. et al. Comparative analysis of chemical composition, antioxidant activity and quantitative characterization of some phenolic compounds in selected herbs and spices in different solvent extraction systems. *Molecules*, v. 23, n. 2, p. 402, 2018.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects – a review. *Journal of Functional Foods*, v. 18, p. 820–897, 2015.

SHARMA, R. et al. Thermal and mechanical characterization of phenolic foams. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 136, n. 45, p. 48234, 2019.

SHIBAEVA, T. G. et al. Continuous LED lighting enhances yield and nutritional value of four genotypes of Brassicaceae microgreens. *Plants*, Basel, v. 11, n. 2, p. 176, 2022.

SHUJUAN XING et al. Partial replacement of fish meal by cottonseed protein concentrate and the effects of preconditioning water content and die temperature on pellet physical quality of extruded floating fish feed. *Animal Feed Science and Technology*, v. 304, 2023.

SMITH, H. L. et al. Green light for photosynthesis: recent progress and future perspectives. *Plant, Cell & Environment*, v. 40, n. 11, p. 2257–2269, 2017.

SUN, J. et al. 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.

TABBERT, J. M.; SCHULZ, H.; KRÄHMER, A. Increased plant quality, greenhouse productivity and energy efficiency with broad-spectrum LED systems: a case study for thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Plants*, v. 10, n. 5, p. 960, 2021.

TAN, L. et al. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. *Food Science and Human Wellness*, v. 9, n. 1, p. 45–51, 2020.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Composição Química (Informação estatística). Rúcula, crua, Brasil, *Eruca sativa* L. Disponível em: < https://tbca.net.br/base-dados/en/int_statistical_composition.php?cod_produto=BRC0081B&utm_source=chatgpt.com >. Acesso em: 26/11/2025.

TOTH, N. et al. The effect of abiotic factors, sowing density and multiple harvest to arugula yield in floating hydroponic. *Glasnik Zaštite Bilja*, v. 35, n. 5, p. 24–34, 2012.

TRANDEL-HAYSE, M. et al. Light source and spectra influence the phytochemical profile of amaranth microgreens. *Food Bioscience*, v. 64, p. 105839, 2025.

VIANA, C. S. Microverdes de coentro com iluminação artificial: rendimento, eficiência energética, concentração mineral e atributos sensoriais. 2023.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; XIE, Z.; YU, L.; WANG, Q. Microgreens of Brassicaceae: mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 29, n. 2, p. 87–93, 2012.

XIAO, Z. et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, v. 110, p. 140–148, 2015.

XIAO, Z. et al. Microgreens of Brassicaceae: phytonutrient concentrations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 67, n. 38, p. 10884–10896, 2019.

YANG, T. et al. Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) ‘standard’ under different electrical conductivities of nutrient solution. *Agronomy*, v. 11, n. 7, p. 1340, 2021.

ZHANG, Y. et al. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*, v. 1, n. 1, p. 58–66, 2021.

ZHENG, R. et al. Chemical constituents from the leaves of *Eruca sativa* (rocket salad) exhibiting dual cardioprotective and antiplatelet activities. *ACS Omega*, v. 10, n. 31, p. 35241–35251, 2025.

ZIED, D. C. et al. Influence of the production environment on the cultivation of lettuce and arugula with spent mushroom substrate. *Journal of Environmental Management*, v. 281, p. 111799, 2021.