



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE AGRONOMIA

JOÃO FELIPE GONÇALVES DA SILVA

ANÁLISE FITOQUÍMICA EXPERIMENTAL EM MICROVERDES DE COENTRO
PRODUZIDAS EM LUZ BRANCA E PROPORÇÕES DE LUZ VERMELHA E AZUL

FORTALEZA

2025

JOÃO FELIPE GONÇALVES DA SILVA

**ANÁLISE FITOQUÍMICA EXPERIMENTAL EM MICROVERDES DE COENTRO
PRODUZIDAS EM LUZ BRANCA E PROPORÇÕES DE LUZ VERMELHA E AZUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida
Guimarães

Coorientadora: Dra. Caris dos Santos Viana

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58a Silva, Koão Felipe Gonçalves da.
Análise fitoquímica experimental em microverdes de coentro produzidas em luz branca e proporções de luz vermelha e azul / Koão Felipe Gonçalves da Silva. – 2025.
43 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães.
Coorientação: Profa. Dra. Caris dos Santos Viana.
1. Análise qualitativa. 2. Compostos bioativos. 3. Coriandrum sativum. 4. Proporção de luz. I. Título.
CDD 630
-

JOÃO FELIPE GONÇALVES DA SILVA

**ANÁLISE FITOQUÍMICA EXPERIMENTAL EM MICROVERDES DE COENTRO
PRODUZIDAS EM LUZ BRANCA E PROPORÇÕES DE VERMELHA E AZUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 24/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Caris dos Santos Viana (Coorientadora)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Ma. Andreza de Melo Mendonça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Chiara Sanches Lisboa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Delmiro e Dora.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não foi um projeto solo, mas sim um conjunto de ideias que floresceram e receberam a ajuda de muitas pessoas. Sendo assim, alguns agradecimentos são necessários.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Delmiro e Dora, por sempre terem lutado tão arduamente para que nada faltasse a nenhum dos filhos. E que sempre fizeram tudo para nos dar uma vida confortável.

Aos meus animais. Billy e Leviaatã, meu querido gato, que infelizmente não se encontra mais neste plano. Esse trabalho também é por você.

A minha irmã, Larissa Karen, por ser uma ótima irmã. Uma hora será a sua vez de passar por esse ritual também e, espero, estarei lá para te apoiar.

Aos meus amigos Wesller Batista, Louanne Santos, Sabrina Maria e Meyari, Magalhães, por terem sido meu porto seguro durante a graduação e estarem sempre presentes nos meus melhores e piores momentos. Eu definitivamente não estaria aqui sem vocês.

Aos meus amigos Vitória Oliveira e Vitor Teodósio. Guardei esse lugar especial pois vocês também são especiais. Nos conhecemos desde o ensino médio e já compartilhamos tantas risadas, ansiedades e lágrimas que só tenho a agradecer pelo privilégio que depois de tantos anos de amizade eu ainda possa estar por aqui celebrando as conquistas de vocês.

Ao meu amigo botânico e amante de pokémons Bruno Leal, por toda a paciência com meus surtos sobre TCC e demais assuntos aleatórios com o qual eu te bombardeio diariamente. Lidar comigo não é fácil, mas sou grato por você fazer isso

A todos os membros do Laboratório de Cultura de Tecidos. Profa. Gabriellen, por sempre ter sido tão gentil comigo. A Evilane e Aniely, por todas as risadas e fofocas trocadas durante esse semestre.

Aos membros do Laboratório de Produtos Naturais e Laboratório de Frutas Tropicais, por sempre terem me apoiado e contribuído com sugestões sobre a melhor maneira de conduzir este experimento.

A Andreza e Ana Lara, por terem me dado todo o suporte na aplicação do experimento, sempre me dando suporte quando precisei. Sou eternamente grato.

Por último, ao Prof. Marcelo e a Caris, que sem dúvidas foram duas peças fundamentais para a existência deste trabalho e da minha formação. Agradeço infinitamente por terem me dado a oportunidade de aprender com vocês e de me ensinarem que é possível fazer ciência de forma leve e prazerosa.

RESUMO

Microverdes são plantas com cotilédones presentes e até um par de folhas desenvolvidas, sendo colhidas no início de seu desenvolvimento. As microverdes são consideradas superalimentos por possuírem uma maior concentração de metabólitos, vitaminas e minerais, o que as tornam ideais para alimentação humana. Neste contexto, o coentro (*Coriandrum sativum*) desponta como uma espécie viável para o cultivo nessa nova forma de produção, devido a seu tamanho compacto, curto período de colheita e benefícios a saúde. O objetivo deste estudo foi fazer uma análise fitoquímica experimental em microverdes de coentro sob diferentes proporções de luz, a fim de identificar a presença dos principais grupos de metabólitos bioativos. O estudo foi realizado no Núcleo de Estudos em Olericultura do Nordeste (NEON) da Universidade Federal do Ceará em Fortaleza, estado do Ceará. As bandejas de polipropileno foram preenchidas com pó de coco lavado e vermiculita na proporção de 5:1. A semeadura foi em sistema SSS (substrato – semente – substrato), com 17g de sementes de coentro, cultivar Verdão, distribuídas por bandeja. Essas foram irrigadas com água destilada até a capacidade de campo, condição repetida até o 4º dia após a semeadura (DAS). As bandejas foram colocadas em prateleiras de estantes de metal com três fitas LED para iluminação das plantas. Os tratamentos foram diferentes qualidades de luz no cultivo das microverdes de coentro, com luz branca como controle e três proporções de luz vermelha (R) e azul (B), 3R:1B, 4R:1B e 5R:1B. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cada estante representando um bloco com 4 repetições, em cada bloco havia 3 bandejas por tratamento. Fatores como fotoperíodo e temperatura foram controlados, e a partir do 4º DAS, as bandejas foram irrigadas com solução de Hoagland e Arnon (1950) a ¼ de força. A colheita foi feita no 15º DAS e três bandejas de cada tratamento foram escolhidas ao acaso para determinação de peso fresco, análises fitoquímicas e físico-químicas. Testes para detectar a presença dos metabólitos esteroides e triterpenos, antraquinonas, saponinas, taninos, açúcares redutores, flavonoides, antocianinas, heterosídeos digitálicos, cumarinas, alcaloides e amidas foram realizados. Nas análises físico-químicas foi determinada a acidez titulável. Varáveis quantitativas como peso fresco e acidez titulável foram submetidas a ANOVA e comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. O espectro luminoso teve influência sobre o ganho de biomassa, com os melhores resultados nos tratamentos 4R:1B e 5R:1B. A análise qualitativa possibilitou observar a presença de compostos bioativos, independentemente da qualidade de luz estudada, o que possibilita inferir pouca ou nenhuma influência dos tratamentos sobre os metabólitos detectados.

Palavras-chave: Análise qualitativa; compostos bioativos; *Coriandrum sativum*; metabólitos secundários; proporção de luz.

ABSTRACT

Microgreens are plants with present cotyledons and up to one pair of developed leaves, being harvested early in their development. Microgreens are considered superfoods due to their higher concentration of metabolites, vitamins and minerals, making them ideal for human consumption. In this context, coriander (*Coriandrum sativum*) emerges as a viable species for cultivation in this new production method, owing to its compact size, short harvest period and health benefits. The objective of this study was to conduct an experimental phytochemical analysis of coriander microgreens under different light ratios to identify the presence of major bioactive metabolite groups. The study was conducted at the Northeast Olericulture Studies Center (NEON) of the Federal University of Ceará in Fortaleza, Ceará state. Polypropylene trays were filled with washed coconut coir and vermiculite in a 5:1 ratio. Sowing was done using the SSS system (substrate - seed - substrate), with 17g of coriander seeds, Verdão cultivar, distributed per tray. These were irrigated with distilled water to field capacity, a condition maintained until the 4th day after sowing (DAS). The trays were placed on metal shelf racks with three LED strips for plant lighting. The treatments consisted of different light qualities for coriander microgreen cultivation, with white light as control and three red (R) to blue (B) light ratios: 3R:1B, 4R:1B and 5R:1B. The experimental design was randomized blocks, with each shelf representing a block with 4 replicates, each block containing 3 trays per treatment. Factors such as photoperiod and temperature were controlled, and from the 4th DAS onward, the trays were irrigated with ¼-strength Hoagland and Arnon (1950) solution. Harvest was performed on the 15th DAS and three trays from each treatment were randomly selected for fresh weight determination, phytochemical and physicochemical analyses. Tests were conducted to detect the presence of the following metabolites: steroids and triterpenes, anthraquinones, saponins, tannins, reducing sugars, flavonoids, anthocyanins, cardiac glycosides, coumarins, alkaloids and amides. In the physicochemical analyses, titratable acidity was determined. Quantitative variables such as fresh weight and titratable acidity were subjected to ANOVA and compared by Tukey's test at 5% significance. The light spectrum influenced biomass gain, with the best results in the 4R:1B and 5R:1B treatments. The qualitative analysis revealed the presence of bioactive compounds regardless of the light quality studied, suggesting little or no influence of the treatments on the detected metabolites.

Keywords: Bioactive compounds; *Coriandrum sativum*; light ratio; secondary metabolites; qualitative analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	Microverdes e benefícios à saúde.....	11
2.2	Cultivo de microverdes.....	12
2.3	Análises fitoquímicas e metabólitos vegetais.....	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1	Cultivo das microverdes e coleta das amostras.....	15
3.2	Análises fitoquímicas.....	17
3.2.1	Teste para esteroides e triterpenos.....	18
3.2.2	Teste para antraquinonas.....	18
3.2.3	Teste para saponinas.....	18
3.2.4	Teste para taninos.....	19
3.2.5	Teste para açúcares redutores.....	19
3.2.6	Teste para flavonoides.....	19
3.2.7	Teste para antocianina.....	19
3.2.8	Teste para heterosídeos digitálicos.....	20
3.2.9	Teste para cumarinas.....	20
3.2.10	Teste para alcaloides	20
3.2.11	Teste para amidas.....	20
3.3	Acidez titulável.....	20
3.4	Análise estatística.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1	Peso fresco de plantas.....	22
4.2	Análise fitoquímica experimental.....	22
4.2.1	Esteroides e triterpenos.....	24
4.2.2	Antraquinonas.....	24
4.2.3	Saponinas.....	25
4.2.4	Taninos.....	26
4.2.5	Açúcares redutores.....	26
4.2.6	Flavonoides.....	27

4.2.7	Antocianinas.....	27
4.2.8	Heterosídeos digitálicos.....	28
4.2.9	Cumarinas.....	28
4.2.10	Alcaloides.....	29
4.2.11	Amida.....	30
4.3	Acidez titulável.....	31
5	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.; Apiaceae), é uma planta herbácea anual amplamente utilizada na culinária árabe, indiana e brasileira (MACEDO *et al.*, 2025). No Brasil, é cultivado, principalmente, nas regiões Norte e Nordeste, com destaque para os estados do Ceará, Pernambuco e Bahia (BRASIL, 2017). O Ceará é o estado que desponta como maior produtor, devido ao clima mais quente (SANTANA *et al.*, 2023).

As folhas do coentro são usadas como condimento, sendo apreciadas por sua versatilidade culinária (LINHARES *et al.*, 2012). O centro é uma planta de ciclo curto, 30 a 40 dias até a colheita para consumo como hortaliça aromática. O ciclo de produção de suas sementes pode ser antecipado, para isso é necessário a realização de adubação adequada e o cultivo em locais com maior luminosidade (BELFORT *et al.*, 2023). O coentro também pode ser cultivado como microverde (RASMI *et al.*, 2025).

Microverdes são plantas jovens, com cotilédones e até duas folhas completamente desenvolvidas (ZHANG *et al.*, 2020). Distingue-se dos brotos e baby leaf pelo tamanho das plantas e pelo tempo necessário de crescimento e colheita (TREADWELL *et al.*, 2020). Brotos são consumidos juntamente com suas raízes, além de não requererem substrato e luz para o seu crescimento (ARRIFANO, 2024). Baby leaf são colhidas com, aproximadamente, 20 dias a depender da espécie (NASCIMENTO, 2024). No entanto, apesar das diferenças, em todas essas formas de cultivo, a colheita é feita antes do ponto de comercialização tradicional das plantas.

A produção com qualidade, segurança e uniformidade das microverdes ocorre, preferencialmente, em ambientes controlados, como câmaras de cultivo, estufas climatizadas ou sistemas de cultivo vertical (*vertical farming*) (KUMAR *et al.*, 2025), onde temperatura, umidade e, sobretudo luz, são rigorosamente monitoradas e ajustadas para otimizar o crescimento das plantas (JÚNIOR *et al.*, 2025).

A luz é um dos fatores mais determinantes no cultivo de microverdes, influenciando em intensidade, fotoperíodo e qualidade espectral (VIANA, 2023). A qualidade da luz refere-se à composição espectral da radiação luminosa, ou seja, às proporções de diferentes comprimentos de onda (cores) presentes na fonte luminosa (TAIZ *et al.*, 2017). A combinação de luz vermelha e azul por LEDs é amplamente usada no cultivo de microverdes por favorecer processos como fotossíntese, fotomorfogênese e produção de compostos bioativos (SHUIHUAN *et al.*, 2025).

Do ponto de vista comercial, as microverdes têm perspectivas promissoras em termos econômicos. Pesquisas de opinião realizadas com consumidores em potencial, indicam

elevados índices de aceitação para seu consumo (LORENTE-MENTO, 2022). Além disso, as microverdes vêm despertando o interesse de grandes investidores, especialmente em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, em razão do seu curto ciclo de cultivo e do alto valor agregado no segmento da alta gastronomia (XIAO *et al.*, 2015). A crescente demanda por esse tipo de produto está fortemente ligada a seu aspecto visual, sendo muito utilizado na culinária gourmet, e aos seus potenciais benefícios à saúde (SINGH *et al.*, 2024).

Os benefícios das microverdes para a saúde humana têm sido amplamente estudados, comprovados por seus efeitos anti-hiperglicêmicos, anticancerígenos e anti-inflamatórios (RASMI *et al.*, 2025). Além disso, pode ser utilizado no tratamento da obesidade (GARCIA, 2023). Todos esses efeitos benéficos estão diretamente associados à presença de compostos bioativos presentes nessas plantas (BEZERRA, *et al.* 2022).

De modo geral, as plantas produzem dois grandes grupos de compostos químicos: os metabólitos primários e os secundários. Os primários, como aminoácidos, açúcares e lipídeos, são essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, e os secundários são altamente específicos e, frequentemente, associados à defesa da planta e à interação com o ambiente (BORGES, 2020). No coentro, os metabólitos secundários mais investigados são os flavonoides (GARCIA, 2023; RIBEIRO *et al.*, 2024) e os compostos fenólicos, já amplamente reconhecidos por sua aplicabilidade nas indústrias farmacêutica e cosmética (YANG *et al.*, 2024). Além desses, outras classes de compostos bioativos, como as saponinas (SANTOS *et al.*, 2023) e os triterpenos (SANTOS *et al.*, 2023), também têm sido identificadas, com eficácia comprovada para a saúde humana. Tais achados reforçam o interesse científico e comercial por essa espécie, dada sua potencialidade funcional, nutricional e terapêutica. No entanto, a maioria dos estudos foca em plantas colhidas na forma tradicional de comercialização, ou seja, pouco antes de sua maturidade fisiológica, havendo pouco conhecimento sobre a presença e atividade de metabólitos bioativos em estádios iniciais, como as microverdes.

Considerando que o perfil metabólico das plantas varia ao longo de seu ciclo de vida, investigar se essas substâncias já estão presentes nas fases iniciais de desenvolvimento, pode auxiliar na tomada de decisões referentes ao ciclo de produção mais adequado para essa espécie quando o objetivo for a produção de alimentos com maiores propriedades nutraceuticas. Assim, este estudo tem por objetivo realizar uma análise fitoquímica experimental de microverdes de coentro cultivadas sob diferentes proporções espectrais de luz, visando identificar a presença dos principais grupos de metabólitos bioativos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Microverdes e benefícios à saúde

Projeções indicam que, até 2050, a população mundial ultrapassará 9,7 bilhões de pessoas, o que aumentará a demanda por alimentos e exigirá um aumento de até 70% na produção agrícola (SILVA, 2024). Esse cenário evidencia a importância e a urgência do estudo e aprimoramento das cadeias produtivas, especialmente aquelas voltadas à oferta de alimentos sustentáveis e nutritivos. Tal premissa torna-se ainda mais crítica no contexto atual, considerando que cerca de 820 milhões de pessoas enfrentam insegurança alimentar grave em diferentes regiões do planeta (TKEMALADZE, 2025). A gravidade dessa situação se intensifica quando se observa que mais de 2 bilhões de pessoas sofrem com deficiências crônicas de vitaminas e minerais, resultantes da ingestão insuficiente de micronutrientes, condição conhecida como “fome oculta”. Essa forma de desnutrição é particularmente prevalente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, onde o acesso a alimentos diversificados e nutritivos é limitado (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009 apud BHATT, 2018).

As microverdes emergem como uma alternativa promissora para o enfrentamento das duas faces da fome: a crônica, relacionada à escassez calórica, e a oculta, associada à carência de micronutrientes (SINGH *et al.*, 2024). Devido à sua elevada densidade nutricional, curto ciclo de produção e adaptabilidade ao cultivo em ambientes controlados, a produção de microverdes pode ser considerada uma estratégia viável para diversificar a alimentação, especialmente em regiões urbanas e com baixa disponibilidade de recursos (SINGH *et al.*, 2024).

Diversos estudos têm indicado benefícios à saúde humana proporcionados pelo consumo regular de microverdes devido ao seu alto valor nutritivo e fácil acesso econômico (BALIK *et al.*, 2025; SETH *et al.*, 2025; RIZVI *et al.*, 2025). A ingestão sistemática de microverdes pode ajudar na prevenção de doenças cardiovasculares, prevenção ao câncer, regulação glicêmica e, ainda, melhoria das funções digestivas (TALLEI *et al.*, 2024). Assim, microverdes têm sido chamadas de superalimentos, principalmente pelos benefícios que trazem à saúde humana quando incorporados à alimentação diária (ÁVILA *et al.*, 2024; BABY *et al.*, 2024; RIZVI *et al.*, 2025). Em estudos científicos já foi observado que microverdes de coentro possuem ação benéfica no controle de diabetes tipo 2 mellitus e obesidade. Seu consumo contribui para a modulação do metabolismo de lipídios e carboidratos (ZHONG *et al.*, 2025).

2.2 Cultivo de microverdes

Dentre os fatores agronômicos determinantes para o sucesso do cultivo de microverdes, a escolha do substrato pode ser considerada uma etapa essencial que influencia diretamente no crescimento e acúmulo de biomassa das plântulas (HENRIQUE *et al.*, 2024). A seleção do substrato ideal pode variar conforme a espécie vegetal cultivada, sendo que os mais frequentemente utilizados são húmus de minhoca, casca de arroz carbonizada, fibra de coco e compostagem orgânica, sendo também possível adaptar sua formulação às exigências fisiológicas específicas das espécies e às condições ambientais (SANTOS, 2019).

Em estudos recentes também tem sido observado que substratos convencionais e alternativos podem ser utilizados em cultivos de biofortificação de microverdes, como, por exemplo, na produção de microverdes de alface, beterraba, manjerição e repolho roxo, em que a adição de zinco, em substratos tradicionais, na mistura de casca de arroz carbonizada com Carolina Soil®-mudas, em materiais alternativos como fibra têxtil e tecido de juta, tiveram resultados satisfatórios em termos de crescimento e acúmulo do micronutriente (DIAS, 2022). Formulações orgânicas, à base de resíduos agroindustriais, também tem grande potencial como substratos sustentáveis. Compostos desenvolvidos a partir da combinação de resíduos de poda de grama, com casca de banana e vermiculita, tiveram eficácia no cultivo de microverdes de alface e mostarda, sendo uma alternativa de baixo custo e alta viabilidade agrônômica (RUELLA *et al.*, 2021).

Abordagens biotecnológicas também vêm sendo exploradas para potencializar o desenvolvimento das microverdes. O uso de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e microrganismos endofíticos, especialmente dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, tem se mostrado promissores na melhoria da produtividade e no enriquecimento nutricional das plântulas, além de contribuir para a resiliência das culturas em ambientes controlados (ZHOU *et al.*, 2025).

Quanto a iluminação, apesar das espécies vegetais terem respostas distintas a esse fator (SARRA *et al.*, 2021), ele pode ser considerado crucial na produção de microverdes. Isso acontece porque o cultivo desse grupo de plantas ocorre majoritariamente em ambientes fechados e controlados, sendo o uso de diodos emissores de luz (LEDs) as principais fontes luminosas utilizadas (FREITAS, 2024). O uso de LEDs vermelhos (R) e azuis (B), em conjunto e na proporção 5:1, possibilitaram a obtenção do melhor perfil nutricional de microverdes de coentro em estudos realizados (VIANA, 2023; FREITAS, 2020). O uso desses dois tipos de LEDs, vermelho e azul, se deve ao fato desses comprimentos de onda serem considerados os mais eficientes para o processo fotossintético na faixa de luz considerada absorvível pelas plantas (REZAEI *et al.*, 2025). Em estudos, já foi observado que luz vermelha exerce influência

significativa no aumento da quantidade de diversos metabólitos secundários importantes, tais como compostos fenólicos, α -Tocoferol e ácido ascórbico (SAMUOLIENÉ *et al.*, 2016). Além desses benefícios, observa-se que esse espectro luminoso também promove incremento no aumento da biomassa vegetal e altura das plantas, bem como nos teores de clorofila e antocianina (WONG *et al.*, 2020). O uso de luzes azuis também teve efeitos positivos no acúmulo de ácido ascórbico, na síntese de β -caroteno e na produção de glucosinatos, sendo estes últimos considerados compostos bioativos com reconhecidas propriedades nutraceuticas (KOPSELL, 2013).

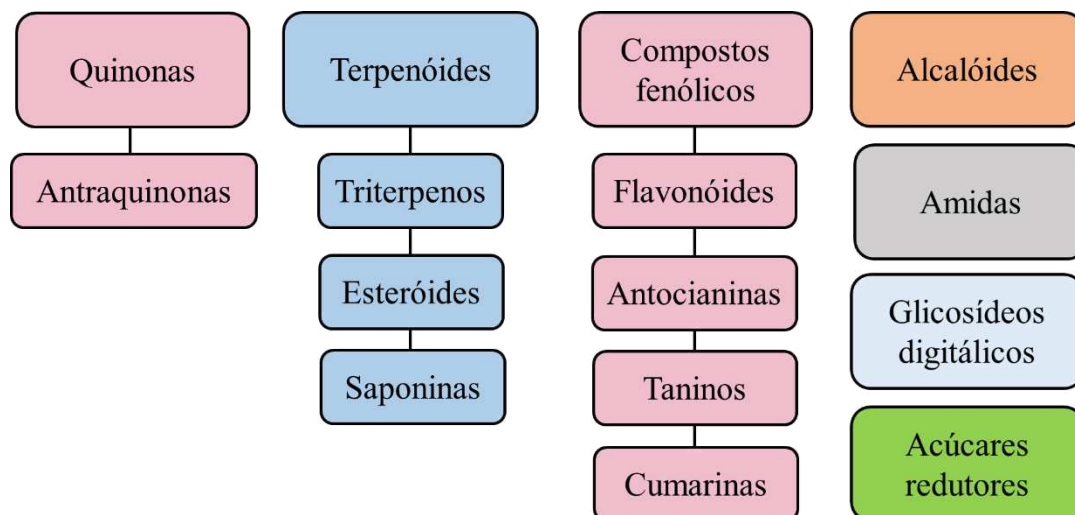
2.3. Análises fitoquímicas e metabólitos vegetais

Análises fitoquímicas têm sido realizadas em microverdes com o objetivo de se identificar e extrair compostos bioativos com potencial para aplicação na promoção da saúde humana ou em setores estratégicos, como as indústrias cosmética, farmacêutica e alimentícia (MAMUROVA *et al.*, 2025; HEENA *et al.*, 2025; VUČETIĆ *et al.*, 2025; BALIK *et al.*, 2025). Tais compostos tem elevada relevância biológica e industrial, e são geralmente classificados em dois grandes grupos: 1. metabólitos primários, que são indispensáveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, e 2. secundários, que desempenham funções especializadas, como defesa contra patógenos, sinalização química e adaptação ao ambiente (FERREIRA *et al.*, 2024).

A identificação e a caracterização desses compostos podem ser realizadas por meio de análises fitoquímicas experimentais, que consistem em métodos laboratoriais aplicados para detectar qualitativamente e, em alguns casos, quantificar, a presença desses metabólitos nas plântulas. Essas análises são essenciais para compreender o perfil químico das plantas e prever seu potencial funcional, orientando sua aplicação em diferentes segmentos industriais (MATOS, 2009).

Diversos grupos de metabólitos têm despertado interesse por sua relevância biológica e potencial para aplicação industrial, como as quinonas (como antraquinonas), os terpenoides (como esteroides, triterpenos e saponinas), os compostos fenólicos (como flavonoides, taninos, antocianinas e cumarinas), além de alcaloides, amidas, glicosídeos digitálicos e açúcares redutores (Figura 1).

Figura 1. Classificação dos principais grupos de metabólitos produzidos em plantas.



Elaborado pelo autor.

Antraquinonas são metabolitos secundários do grupo das quinonas, muito estudados devido as suas propriedades utilizadas na indústria farmacêutica e de agroquímicos (SHARMA *et al.*, 2025). Os triterpenos, esteroides e as saponinas, são do grupo dos terpenóides, conhecidos pela variedade de compostos farmacêuticos aplicáveis (KUETE *et al.*, 2025). Flavonoides e taninos são compostos fenólicos, porém de grupos estruturalmente distintos e com comprovada eficácia de atividade antioxidante (KANMANI BHARATHI *et al.*, 2025; ÇİFTCI *et al.*, 2025). Além disso, antocianinas são um subgrupo de metabólitos dentro dos flavonoides (OLIVEIRA *et al.*, 2025), e as cumarinas também são compostos fenólicos do grupo das lactonas (SÁ, 2025). Os alcaloides são compostos nitrogenados com elevada bioatividade, o que também os tornam úteis como agentes antibacterianos (ALVES, 2025). As amidas são do grupo funcional dos metabólitos nitrogenados por possuírem nitrogênio em sua estrutura química (CASTRO, 2025). Os heterídeos digitálicos são um grupo de metabólitos secundários também conhecidos como glicosídeos digitálicos (RAMOS, 2021). Os heterídeos podem ser utilizados em tratamentos cardíacos, porém possuem grande potencial de toxicidade em altas quantidades (SBF, 2021). Os açúcares redutores não são metabólitos secundários, pois se trata de carboidratos, sendo assim, indispensáveis ao desenvolvimento das plantas, sendo classificados como metabólitos primários (BUBA *et al.*, 2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Cultivo das microverdes e coleta das amostras

O cultivo das microverdes foi conduzido em sala de crescimento do Núcleo de Estudos em Olericultura do Nordeste (NEON), situado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus Professor Prisco Bezerra, em Fortaleza – CE, Brasil.

Bandejas de polipropileno, com dimensões de 18 x 10 x 4,5 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), foram preenchidas com substrato composto de pó de coco lavado e vermiculita na proporção de 5:1 para o cultivo das microverdes. Cada bandeja foi preenchida com, aproximadamente, 180 cm³ de substrato, correspondendo a 60g de peso seco.

Sementes de coentro da cultivar Verdão, com 99% de pureza (informação do fabricante), foram distribuídas sobre o substrato de preenchimento com densidade de 17g por bandeja. A semeadura ocorreu no sistema de cobertura SSS (substrato – semente – substrato). Neste sistema, uma camada de substrato foi colocada seguida por uma camada de sementes, que foram então acomodadas de maneira uniforme ao longo da bandeja, sendo então cobertas com outra camada de substrato. Posteriormente, as bandejas foram irrigadas com água destilada até atingirem a capacidade de campo, prática que foi repetida até o 4º dia após a semeadura (DAS).

As bandejas foram dispostas em estantes de metal, divididas em compartimentos separados por placas de isopor de 1,5 cm de espessura, com o objetivo de evitar interferência luminosa entre os tratamentos em análise. Cada compartimento foi dimensionado em 50 x 40 x 30 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente) e em cada um foram instaladas três fitas LEDs em painéis luminosos, com uma distância de 10 cm entre cada fita e 30 cm de distância da fonte luminosa para a área superficial do substrato nas bandejas.

Os tratamentos consistiram em diferentes qualidades de luz aplicadas durante o cultivo das microverdes, sendo a luz branca o controle (fita LED branca, modelo 2835 com 60 LEDS m⁻¹) e três proporções de luz vermelha (600-780 nm) e azul (400–500 nm), “R” e “B”, respectivamente, ao longo da fita LED (modelo 5050 com 60 LEDS m⁻¹), descritos como 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, considerando-se cada estante como um bloco, com quatro repetições, e em cada bloco foram alocadas três bandejas de cultivo de cada tratamento (Figura 2).

Figura 2. Exemplificação dos ambiente de cultivo das microverdes de coentro com luz branca (acima) e proporção de luz vermelha e azul (R:B) (abaixo).



Elaborado pelo autor

As bandejas de cultivo ficaram em condições de escuro até o 4º DAS, quando as luzes foram ligadas e, por meio de um temporizador analógico (Golden cabo®), o fotoperíodo foi automatizado em 8h de luz/4h de escuro, alternados, 2x ao dia, cobrindo assim o período de um dia ou 24h. A temperatura da sala de cultivo foi de 20 ± 4 °C, e umidade relativa entre 60 e 70%.

A partir do 4º DAS, as microverdes de coentro começaram a ser irrigadas diariamente com solução de Hoagland e Arnon (1950) a $\frac{1}{4}$ de força e condutividade elétrica de $0,7 \text{ Ds m}^{-1}$, com a irrigação por capilaridade. As microverdes permaneceram sob as condições experimentais até o 15º DAS, quando foi realizada a colheita da parte aérea (hipocótilo, cotilédones e folhas), com corte a cerca de 0,5cm acima do colo da planta, utilizando-se tesoura esterilizada com álcool 70% (XIAO *et al.*, 2012). As amostras foram lavadas em água corrente para retirar partículas de terra e secas em papel toalha. As microverdes das três bandejas de cada tratamento, referentes a cada bloco, foram homogeneizadas e selecionadas ao acaso para determinação do peso fresco, análises fitoquímicas e físico-químicas.

O peso fresco foi determinado a partir do agrupamento de 10 plantas, que foram pesadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais. A escolha desse número

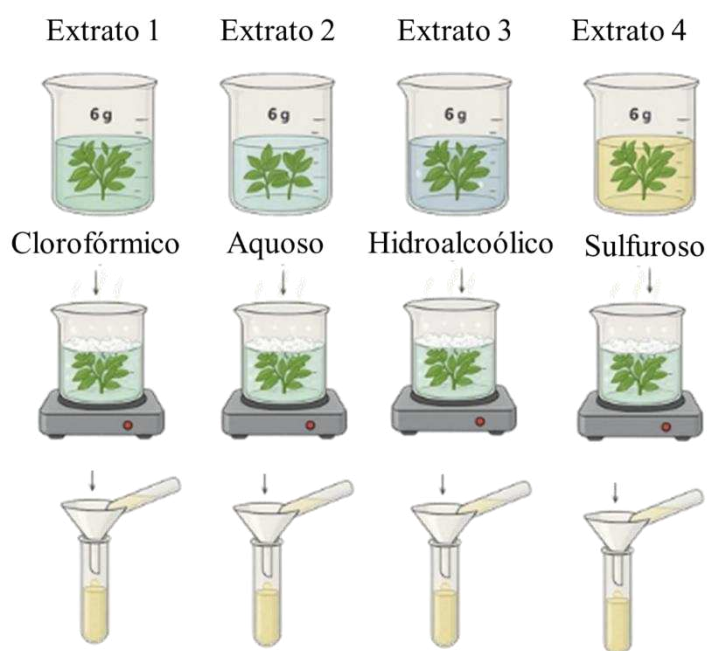
de unidades se justifica pelo reduzido peso individual das microverdes, o que torna necessário o agrupamento para obtenção de medidas mais precisas e representativas.

3.2 Análises fitoquímicas

As análises fitoquímicas foram realizadas em amostras de cada um dos tratamentos e repetições, no Laboratório de Produtos Naturais (LPN) da UFC de acordo com metodologia já estabelecida (MATOS, 2009). Quatro extratos diferentes foram preparados para os testes fitoquímicos, visando identificar a presença ou ausência de classes de metabólitos secundários nas microverdes de coentro.

Em cada extrato foram utilizadas 6g de amostras frescas de cada tratamento e repetição. No extrato 1 (clorofórmico) foi adicionado 50 ml de clorofórmio; no extrato 2 (aquoso) foi adicionado 50 ml de água destilada; no extrato 3 (hidroalcoólico) foi colocado 50ml de álcool 70% e no extrato 4 (sulfuroso) foram adicionados 49 ml de água destilada e 1 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Os beakers, com os extratos, foram levados para uma chapa aquecedora e mantidos até que atingissem o ponto de ebulição, tendo permanecido nesta última condição por três minutos. A solução foi filtrada em papel filtro e transferida para tubos de ensaio, onde foram utilizadas para análises (Figura 3).

Figura 3. Preparo dos extratos vegetais com diferentes solventes e suas análises.



Elaborado pelo autor.

3.2.1 Teste para esteroides e triterpenos

No teste para esteroides e triterpenos (em capela de exaustão), 3 ml do extrato clorofórmico, filtrado na etapa anterior da extração, foram adicionados em 4 tubos de ensaio, em seguida, foi adicionado 1 ml de anidrido acético $[(CH_3CO)_2O]$ em 3 dos 4 tubos. Posteriormente, foi adicionado 1 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) pela parede do tubo, de forma lenta e cuidadosa, buscando evitar agitação, uma vez que as duas substâncias são altamente reativas. Considerou-se como indicativo de reação a mudança de cor, com azul e verde representando o núcleo esteróide e as cores vermelha, rosa, púrpura, violeta ou castanha, um núcleo triterpeno.

3.2.2 Teste para antraquinonas

O teste para antraquinonas foi semelhante ao teste anterior, sendo utilizados 4 tubos de ensaio, sendo que em cada um deles foram adicionados 3 ml do extrato clorofórmico filtrado. No entanto, foram adicionados 2 ml de solução de hidróxido de amônio (NH_4OH) em cada tubo. Em seguida, os tubos foram agitados até que a reação fosse observada, sendo caracterizada por mudança de cor para um tom rosa ou avermelhada.

3.2.3 Teste para saponinas

No teste para saponinas, 3 ml do extrato aquoso foram adicionados em 4 tubos de ensaio. Em seguida, os tubos foram agitados manualmente durante 1 minuto. Após, os tubos foram deixados em repouso por 15 minutos até permitir a observação da reação, que é a permanência de espuma estável após o tempo de repouso.

3.2.4 Teste para taninos

No teste para taninos, 3 ml do extrato aquoso foram adicionados em 4 tubos de ensaio. Em seguida, adicionou-se 5 gotas de solução de cloreto férrico ($FeCl_3$) a 3 dos tubos, com o objetivo de observar a reação, caracterizada por mudança de cor para cores azuis, verdes ou cinza escuro.

3.2.5 Teste para açúcares redutores

No teste para açúcares redutores, 3 ml do extrato aquoso foram adicionados em 4 tubos de ensaio. Em seguida, 2 ml do reativo de Benedict foram adicionados a 3 dos tubos de ensaio, que receberam mais 1 ml do extrato aquoso em seguida. Posteriormente, os tubos foram levados até o bico de Bunsen, e foram aquecidos sob chama controlada até o ponto de ebulição e retiradas

imediatamente. Neste teste, a evidência do metabólito é confirmada pela mudança de cor para uma tonalidade vermelho tijolo.

3.2.6 Teste para flavonoides

No teste para flavonoides, 3 ml do extrato hidroalcoólico foram adicionados em 4 tubos de ensaio, sendo um deles destinado ao controle e os demais às triplicatas do procedimento. Em seguida, 10 gotas de ácido clorídrico (HCl) foram adicionadas a 3 dos tubos, os quais receberam posteriormente uma fita de magnésio, que reage com o ácido da solução, evidenciado por mudança de cor, enquanto o quarto tubo serviu como testemunha.

3.2.7 Teste para antocianina

No teste para antocianinas, 3 ml do extrato hidroalcoólico foram adicionados em 4 tubos de ensaio, sendo um deles destinado ao controle e os demais às triplicatas do procedimento. Em seguida, foram adicionadas fitas de pH em todos os tubos, com o objetivo de determinar o pH do extrato, para determinar se há correlação entre os tratamentos com a acidez da solução com o extrato das microverdes. Neste teste, a evidência de reação é dada por mudança drástica na coloração, como por exemplo azul em $\text{pH} > 12$ ou vermelho em $\text{pH} < 4$.

3.2.8 Teste para heterosídeos digitálicos

No teste para heterosídeos digitálicos, 3 ml do extrato hidroalcoólico foram adicionados em 4 tubos de ensaio, sendo um deles destinado ao controle e os demais às triplicatas do procedimento. Em seguida, adicionou-se 3 ml de solução de 3,5-dinitrobenzoico, seguido por 2 ml de hidróxido de potássio (KOH) e foi observado se a reação evidenciava a presença da substância. Neste caso, sendo indicada pela mudança de cor para um castanho avermelhado à um vermelho violeta.

3.2.9 Teste para cumarinas

No teste para cumarinas, utilizou-se a técnica da cromatografia em camada delgada (CCD). O procedimento é feito em placa de vidro revestida de sílica, que é manchada com o extrato hidroalcoólico filtrado com a ajuda de um conta gotas. Em seguida, foi acrescentado três gotas de hidróxido de potássio (KOH) à 10% com o objetivo de revelar o resultado. A placa foi então colocada em equipamento com iluminação filtrada para observação da reação, caracterizado por fluorescência em ambiente escuro.

3.2.10 Teste para alcalóides

No teste para alcalóides, 3ml do extrato aquoso foram adicionados em 7 tubos de ensaio, sendo o primeiro como controle, e aos demais foram adicionadas 5 gotas de reagente geral para alcalóides (RGA), sendo estes: 1. Dragendorff: solução de K(Bil4) em ácido diluído; 2. Berrand; 3. Mayer; e, 4. Bouchardat.

Após o teste, observou-se a reação, cuja resposta positiva é caracterizada pela formação de precipitados no fundo do tubo.

3.2.11 Teste para amida

No teste para amida, 3ml do extrato aquoso foram adicionados em 1 tubo de ensaio por tratamento e repetição, e adicionadas de 4 a 5 gotas de lugol ao tubo, onde em seguida observou-se a reação, caracterizada por mudança de coloração para azul escuro ou preto.

3.3 Acidez titulável

As análises de acidez titulável foram realizadas no Laboratório de Frutas Tropicais (LAFRUTH), localizado no Departamento de Alimentos (DEAL) do Centro de Ciências Agrárias da UFC. A metodologia aplicada é recomendada pela Agência de Vigilância Sanitária, aprovado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2005).

Na avaliação de acidez titulável, 1g de amostra foi pesada dentro de um Erlenmeyer de 125 ml. Após, foram adicionadas 50 ml de água destilada nos Erlenmeyers e cerca de 2 a 4 gotas de fenoftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$). A solução foi titulada com NaOH a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ até que houvesse mudança de cor permanente para uma coloração rosácea, anotando o volume gasto em cada amostra para que a reação ocorresse e o cálculo, para quantificação, seguiu a seguinte fórmula:

$$Acidez (\%) = \frac{V_{NaOH} \cdot M_{NaOH} \cdot F_{NaOH} \cdot M_{ácido}}{10 \cdot N_h \cdot M_{amostra}}$$

Onde:

V_{NaOH} = volume (em ml) da solução de NaOH gasto na titulação.

M_{NaOH} = molaridade do NaOH usado na titulação (neste caso $0,1 \text{ mol L}^{-1}$).

F_{NaOH} = fator da solução de NaOH 0,1 N.

$M_{ácido}$ = massa molar do ácido.

N_h = número de hidrogênios titulados.

$M_{amostra}$ = massa (em gramas) de amostra usada na titulação.

3.4 Análise de dados e estatística

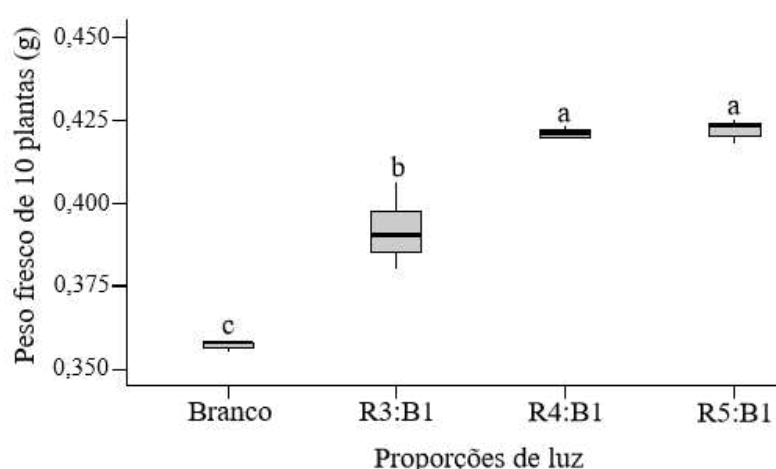
As análises fitoquímicas foram conduzidas de forma qualitativa, com a avaliação da presença dos grupos de metabólitos nas amostras. As variáveis quantitativas, como peso fresco e acidez titulável, foram avaliadas a partir dos pressupostos da análise de variância (ANOVA), incluindo a verificação da normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software R (R Core Team, 2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Peso fresco de plantas

O peso fresco das microverdes de coentro foi diferente entre os tratamentos ($p < 0,001$) (Figura 4).

Figura 4. Peso fresco de microverdes (g) de coentro cultivados sob luz branca e diferentes proporções de luz vermelha e azul (B:R).



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

As microverdes cultivadas sob R4:B1 (0,4220 g) e R5:B1 (0,4211 g) tiveram os maiores valores de peso fresco, não diferindo entre si. As cultivadas sob R3:B1 (0,3920 g), tiveram peso intermediário, enquanto aquelas sob luz branca (0,3572 g), obtiveram o menor acúmulo de biomassa fresca (Figura 4).

Os maiores pesos sob iluminação R4:B1 e R5:B1, com maiores proporções de luz vermelha, ocorreram pela influência dessa luz na formação do aparato fotossintético, ajudando no ganho de biomassa (REHMAN *et al.*, 2017). A escolha do espectro luminoso possui uma grande importância na otimização da eficiência fotossintética das plantas em diferentes estádios de desenvolvimento dos vegetais (BOUCHER *et al.*, 2023).

4.2 Análise fitoquímica experimental

A análise fitoquímica qualitativa das microverdes de coentro possibilitou observar um padrão de presença ou ausência, semelhante entre os tratamentos com luz branca e com diferentes proporções de luz vermelha e azul (Figura 5).

Figura 5. Resultados dos testes para presença e ausência de metabólitos em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor.

A semelhança verificada entre os padrões de presença e ausência dos fitoquímicos estudados, sugere que a composição metabólica global pode não ser influenciada pelas variações espectrais, indicando uma possível predominância do fator genético na regulação dos metabólitos secundários. Apesar disso, as variações visuais observadas na intensidade de coloração para os testes de açúcares redutores, esteroides e triterpenos, indica possivelmente, alterações qualitativas ou semiquantitativas na produção desses compostos entre os tratamentos. Embora essas diferenças não tenham sido mensuradas quantitativamente, os resultados sugerem que a qualidade da luz pode exercer um efeito modulador sobre a expressão desses metabólitos. Assim, por se tratar de uma análise qualitativa, baseada na presença ou ausência dos compostos, não foi possível descartar a ocorrência de variações quantitativas nos níveis dos metabólitos encontrados nos tratamentos. Dessa forma, análises complementares com métodos quantitativos, como cromatografia ou espectrofotometria, podem elucidar diferenças sutis na concentração dos compostos bioativos presentes e não detectáveis pela abordagem utilizada. Em estudo com microverdes de 13 espécies distintas, foram identificados 28 compostos fenólicos em espécies da família Apiaceae, incluindo o coentro, utilizando o método de Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas (Orbitrap LC-MS) (KYRIACOU, 2019).

4.2.1 Esteroides e triterpenos

Os testes para esteroides e triterpenos tiveram reação negativa, representada pela cor transparente nos extratos (Figura 6).

Figura 6. Análise qualitativa de esteroides e triterpenos em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor.

A possível ausência visual de esteroides e triterpenos nas microverdes de coentro difere dos observados em outras pesquisas. A presença de terpenos em plantas da família Apiaceae, já foram observadas em outros trabalhos (SMITH, 2023). Cerca de 17 terpenos, como β -linalol, α -pineno, γ -terpinenos, entre outros, foram identificados em amostras de óleos essenciais do coentro, sendo extraídos através do método de sorvente assistida a vácuo (JÉLEN, 2023). Estes terpenos são responsáveis pelo odor característico presente no óleo essencial do coentro.

4.2.2 Antraquinonas

O teste realizado teve resultado visual negativo, sendo os extratos incolores, o que indica a ausência de antraquinonas (Figura 7).

Figura 7. Análise qualitativa de antraquinonas em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor

O resultado visual negativo quanto a presença de antraquinonas difere do observado por outros pesquisadores que identificaram a presença desta substância tanto no coentro como em outras espécies da família Apiaceae (RATHOD *et al.*, 2018). No entanto, ainda há poucos trabalhos que tenham avaliado a composição e concentração de antraquinonas em coentro, tanto em microverdes quanto em outros estágios de desenvolvimento das plantas.

4.2.3 Saponinas

As saponinas foram visualmente observadas nas amostras, sendo caracterizadas pela permanência da espuma nos tubos de ensaio após o tempo estimado (Figura 8).

Figura 8. Análise qualitativa de saponinas em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor.

A presença visual de saponinas em plantas de coentro já havia sido citada anteriormente em outro estudo (ALNADE *et al.*, 2023). Microverdes de coentro tratadas com regimes de luz vermelha (R) e azul (B) obtiveram maiores concentrações deste metabólito (KRUPA *et al.*, 2025).

4.2.4 Taninos

A presença visual de taninos nos tratamentos também não foi observada. A coloração amarronzada verificada evidenciou reação negativa o que denota a ausência deste metabólito nos extratos (Figura 9).

Figura 9. Análise qualitativa de taninos em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



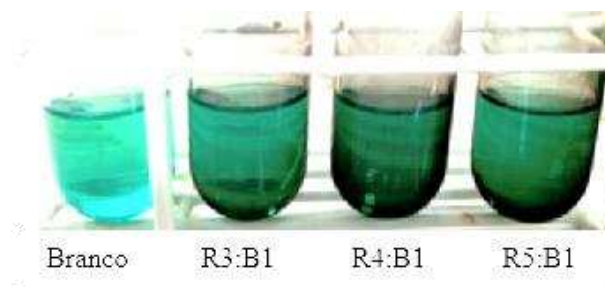
Fonte: elaborado pelo autor

A presença de taninos parece ser mais frequente nas sementes do coentro do que em suas folhas (HUSSAIN *et al.*, 2024). No entanto, há pesquisas que indicam que o espectro luminoso, pode estar relacionado ao acúmulo de taninos, oxalatos e nitratos em espinafres (QI *et al.*, 2007).

4.2.5 Açúcares redutores

Os açúcares redutores não foram visualmente observados nos tratamentos, o que ficou evidente a partir da formação de coloração verde nas amostras (Figura 10).

Figura 10. Análise qualitativa de açúcares redutores em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor.

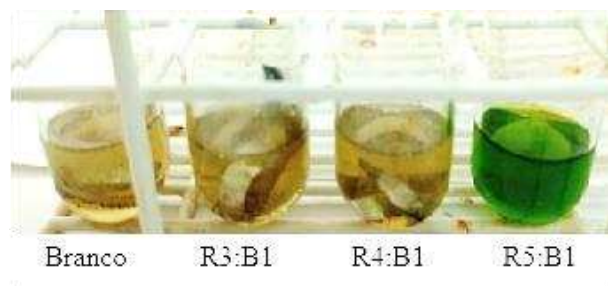
Do ponto de vista experimental, os procedimentos metodológicos adotados permitiram a formação de uma solução com tonalidade verde mais clara no tratamento sob luz branca. Já nos tratamentos com maior proporção de luz vermelha (R3:B1, R4:B1 e R5:B1), observou-se uma coloração verde mais intensa, possivelmente por maior acúmulo de outros tipos de metabólitos nos tecidos vegetais. Esses metabólitos, porém, não incluem açúcares redutores,

em vista do resultado negativo observado, o que indica sua ausência visual nos tratamentos estudados.

4.2.6 Flavonoides

Os flavonóides foram visualmente observados nos tratamentos de microverdes de coentro (Figura 11).

Figura 11. Análise qualitativa de flavonóides em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor.

A presença de flavonoides em coentro já havia sido observada por outros pesquisadores (CHELOTTI *et al.*, 2023). A presença de flavonoides em diversas espécies de microverdes, incluindo coentro, parece ter relação direta com a qualidade de luz oferecida, sendo as maiores concentrações observadas em combinações de luz vermelha (R) e azul (B) (MARU *et al.*, 2024).

4.2.7 Antocianinas

Com base nos resultados observados, não é possível afirmar visualmente a presença de antocianinas nos tratamentos com microverdes de coentro, no entanto é possível afirmar que há uma maior acidez dos meios avaliados (Figura 12).

Figura 12. Análise qualitativa de antocianinas em microverdes de coentro cultivados sob luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Legenda – Fitas de pH ácido e básico após serem mergulhadas no extrato hidroalcolico. De cima para baixo: fita de pH básico (A), fita de pH ácido (B), e fita no extrato com luz branca (C).

As antocianinas são pigmentos do grupo dos flavonóides, geralmente responsáveis por conferir coloração avermelhada ou azulada (MOTA, 2023). Embora existam plantas da família Apiaceae, mesma do coentro, que possuem grandes quantidades de antocianina, como cenoura roxa (KAEPPLER *et al.*, 2023), por exemplo, não foram encontrados trabalhos que indicassem sua presença em coentro, nem tampouco variedades com pigmentação que indicasse a presença de antocianinas. O controle da luz, porém, é um fator modulador para expressão de antocianina em outras espécies de microverdes, tais como repolho roxo (LEE *et al.*, 2024) e rabanete sango (VUČETIĆ *et al.*, 2025).

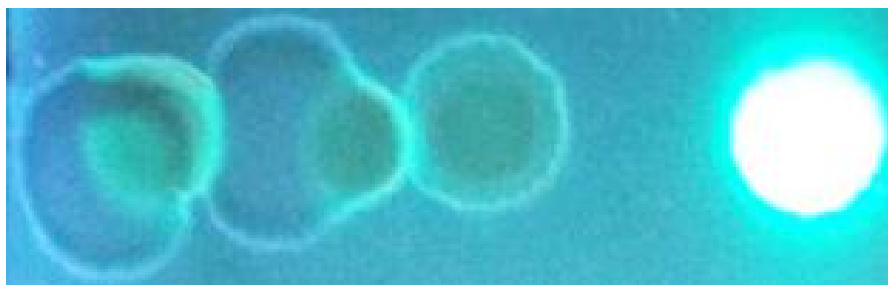
4.2.8 Heterosídeos digitálicos

Os heterosídeos digitálicos também não foram visualmente observados nos tratamentos com microverdes de coentro. Apesar deste metabólito ainda não ter sido citado como presente em coentro, sob iluminação vermelha (R) e azul (B) foi verificado um aumento de sua concentração (SILVA *et al.*, 2022). Espécies como a dedaleira (*Digitalis mariana*), por seu potencial cardiovascular, tem altas concentrações de heterosídeos digitálicos (SINGHAI *et al.*, 2024).

4.2.9 Cumarinas

A presença visual de cumarinas nos tratamentos de microverdes de coentro não pode ser confirmada e nem refutada, já que as amostras que estavam na placa tiveram fluorescência fraca, sendo um pouco mais evidente no tratamento 4:1 (R:B) (Figura 13).

Figura 13. Análise qualitativa de cumarinas em microverdes de coentro sob diferentes espectros de luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



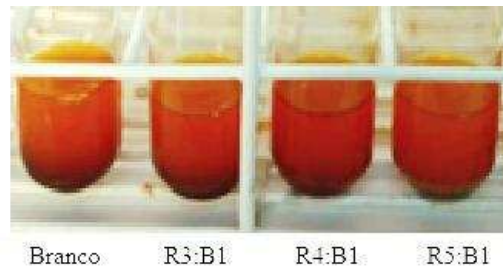
Legenda – da esquerda para a direita: 3R:1B, 4R:1B, 5R:1B e hidróxido de potássio (KOH).

A presença de cumarina já havia sido observada anteriormente em diversas espécies da família Apiaceae (KILICHBEK, 2023), como por exemplo na *Apium graveolens* L. (RHANJBAR *et al.*, 2019) e *Laserpitium siler* L. (MILESKI *et al.*, 2023). A salsinha (*Petroselinum crispum*), também da família Apiaceae, possui cumarina em sua composição de folhas e parte aérea, com as microverdes desta espécie produzindo mais metabólitos secundários sob iluminação vermelha (R) e azul (B). No entanto, não há estudos que indiquem uma correlação direta entre a qualidade de luz e a produção de cumarinas (CASANOVA *et al.*, 2024).

4.2.10 Alcaloides

Os alcaloides foram visualmente observados em todos os tratamentos de microverdes de coentro, sendo também verificada variação na intensidade de sua cor reacional entre os tratamentos de luz (Figura 14).

Figura 14. Análise qualitativa de cumarinas em microverdes de coentro sob diferentes espectros de luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



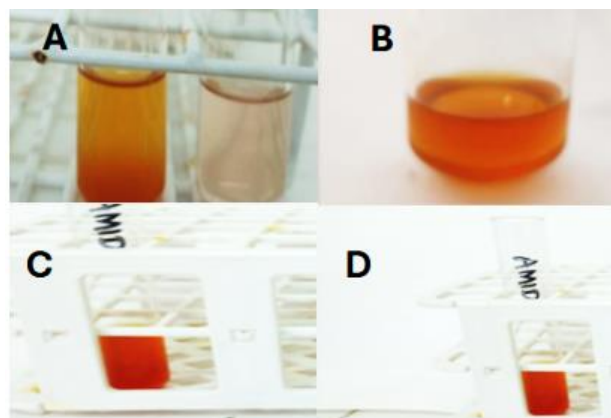
Legenda – Tubos apresentando precipitação, evidenciando a reação que indica presença de alcaloides.

A presença de alcaloides em raízes de coentro foi relatada anteriormente (Kumar et al., 2014). Diversas espécies da família Apiaceae produzem alcaloides pirrolizidínicos, que são compostos com reconhecida toxicidade e ampla distribuição (VILCHES SODI, 2023), o que levanta a hipótese sobre seu possível acúmulo também em coentro. Fotoperíodos mais longos influenciam na quantidade de alcaloides presentes em microverdes de feno-grego (*Trigonella foenum-graecum* L.) (KUMAR et al., 2024).

4.2.11 Amida

A amida não foi visualmente observada nos tratamentos de microverdes de coentro (Figura 15).

Figura 15. Análise qualitativa de amida em microverdes de coentro sob diferentes espectros de luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor

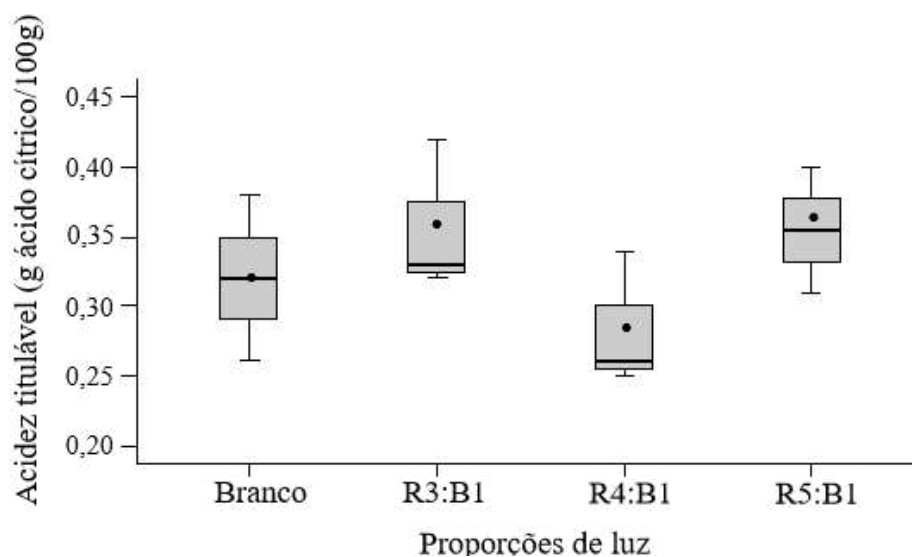
Legenda – extratos aquosos em tubos de ensaio. Extrato com luz branca (A), 3R:1B (B), 4R:1B (C) e 5R:1B (D).

A coloração amarronzada indica visualmente a ausência de amida em microverdes de coentro. Dos tratamentos avaliados, 4R:1B e 5R:1B tiveram uma coloração mais concentrada e escura do que no controle (luz branca) e 3R:1B. Embora amidas sejam encontradas em extratos de microverdes como beterraba, mostarda e rabanete, foi necessário o uso de técnicas espectroscópicas para tal (RIZVI *et al.*, 2024). Além disso, não foram encontrados trabalhos que correlacionassem a presença de amidas em microverdes de coentro, ou uma ligação direta entre a qualidade de luz e a quantidade de amidas em plantas que possuam amida em sua composição.

4.3 Ácidez titulável

A acidez titulável não diferiu entre os tratamentos avaliados para as microverdes de coentro ($p = 0,238$) (Figura 16).

Figura 16. Acidez titulável de microverdes de coentro cultivados em luz branca (Branco) e diferentes proporções de luz vermelha e azul (R3:B1, R4:B1 e R5:B1).



Fonte: elaborado pelo autor

A ausência de diferença na acidez titulável, entre os tratamentos de luz, também foram observados em outros trabalhos com coentro produzido e colhido da forma tradicional (SOUZA *et al.*, 2017; BARROS *et al.*, 2010; FERREIRA *et al.*, 2024) e como microverde (DALAL, *et al.* 2025), sendo esse último com valores similares aos obtidos nesta pesquisa.

5 CONCLUSÃO

O espectro luminoso influencia no acúmulo de biomassa, com as maiores proporções R:B (R4:B1 e R5:B1), possibilitando os maiores ganhos.

A análise fitoquímica experimental possibilitou identificar a presença ou ausência visual de compostos bioativos que podem ser de interesse para os setores alimentício, farmacêutico e cosmético.

A análise fitoquímica qualitativa demonstrou um perfil visual de presença e ausência similar entre os tratamentos, possibilitando inferir que, sob as condições experimentais adotadas, o espectro luminoso teve pouca ou nenhuma influência sobre a presença dos metabólitos detectados.

Estudos futuros com abordagens qualitativas mais precisas combinadas com análises quantitativas dos compostos bioativos devem ser conduzidas para complementar a compreensão sobre os efeitos dos espectros luminosos na análise fitoquímica de microverdes de coentro.

REFERÊNCIAS

ALNADE, Hanan Soheal; AL-MABROOK, Selima Ali; MUSTAFA, Fatimh. Phytochemical Screening and Antibacterial Activity of Oil Extracted from the Seeds of the *Corandia savitam* Plant. **Acta Scientific Medical Sciences**, v. 7, n. 2, 2023.

ALVES, Antonio Ronald Damacena. **Triagem fitoquímica e avaliação da atividade antibacteriana dos extratos das cascas e entrecascas de *Plathymenia reticulata* Benth.(Fabaceae)**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais - Química) - Universidade Federal do Maranhão, 2025.

ARRIFANO, Janlylle Ruama Yankovich. **Tecnologia de produção de microverdes em ambiente protegido**. 2023. 120 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

ÁVILA, Maria Eduarda Costa; HUBER, Ana Cláudia Kalil. Avaliação sensorial de microverdes destinada aos acadêmicos da urcamp. **Anais Congrega Mic**, v. 18, p. 22-26, 2024.

BABY, Greeshma *et al.* Microgreens: The tiny superfoods revolutionizing healthy eating. **The Agricultural Magazine**, v. 3, n. 12, 2024.

BALIK, Sibel *et al.* Nutritional quality profiles of six microgreens. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 6213, 2025

BELFORT, Cristóvam Colombo *et al.* Respostas do coentro à aplicação do nitrogênio via foliar e no solo. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 5, p., 2023.

BEZERRA, Tayná Josefa *et al.* Importância das condições de armazenamento de microgreens: Análise bibliométrica e revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p., 2022.

BHATT, Pooja; SHARMA, Sonika. 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.

BORGES, L. P.; Amorim, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, 2020

BOUCHER, Laurent *et al.* Optimizing light use efficiency and quality of indoor organically grown leafy greens by using different lighting strategies. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 2582, 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005, 1018p.

BUBA, Matheus. **Teor de açúcares redutores do alho da Região do Planalto Catarinense e da Região dos Campos de Cima da Serra-RS**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2024.

CASTRO, Thayrine de Souza *et al.* **Análise do uso de plantas medicinais amazônicas como proposta didática regionalizada no ensino de funções orgânicas**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Instituto Federal do Amapá, 2025.

CASANOVA, Livia Marques; NASCIMENTO, Luana Beatriz dos Santos; COSTA, Sônia Soares. What is new about parsley, a potential source of cardioprotective therapeutic substances? **Nutraceuticals**, v. 4, n. 1, p. 104-126, 2024.

CHELOTTI, Maria Eduarda *et al.* Propriedade medicinais do Óleo de coentro *Coriandrum sativum* (L.). **Seven Editora**, p. 768-779, 2023.

ÇIFTCI, Gülay; ÇELEBI, İrem; ÜMIT, Furkan. Assessment of phenolic, flavonoid, total antioxidant, and anthocyanin contents of various colored hawthorn fruits for their potential as functional foods. **Chemical Papers**, v. 79, n. 1, p. 575-581, 2025.

DAS, Manika; DHAR, Arunima. Nutritional and functional quality of mustard and coriander

greens at different phases of development. **Current Research in Nutrition and Food Science Journal**, v. 11, n. 1, p. 153-163, 2023

OLIVEIRA, Karlla Karinne Gomes de *et al.* Identificação, quantificação e potencial antioxidante de antocianinas do resíduo agroindustrial de uva Isabel (*Vitis labrusca* L.). **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 5, p. e10069-e10069, 2025.

SANTANA, Marcos Vinícius Paulino de *et al.* Pós-colheita do coentro (*Coriandrum sativum* L.) sob diferentes períodos de armazenamento: postharvest of coriander (*Coriandrum sativum* L.) in different storage periods. **Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança**, v. 21, n. Esp2, p. 486-504, 2023.

DIAS, Luis Otavio da Fonseca. **Efeito de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agronômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes**. 2022. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

FERREIRA, Joubertth Vieira *et al.* Atividade larvicida de espécies vegetais da família Scrophulariaceae e seus principais constituintes químicos frente *Aedes aegypti* L.: uma revisão. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 1, p. 2397-2413, 2024.

FERREIRA, Rayanna C. *et al.* Efeitos de adubos de solo na forma de biomassa verde nos índices de qualidade de coentro. **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12418, 2024.

FREITAS, Isabela Scavacini de. **Suplementação luminosa com lâmpadas LED no cultivo de microverdes em ambiente protegido**. 2020. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

FREITAS, Isabela Scavacini de. **Qualidade e produtividade de microverdes cultivados sob diferentes composições espectrais de luminárias LED**. 2024. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

GARCIA, Izabella Cristinny Lacerda. **Flavonoides e a influência na perda de massa e na composição corporal: uma alternativa no tratamento da obesidade**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia Bioquímica) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2023.

HEENA, Jindal N.; RIAR, C. S. Evaluation of Physicochemical, Functional, and Phytochemical Composition of Fluidized Bed Dried Radish (*Raphanus sativus*) Microgreens by High-performance Liquid Chromatography and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. **Journal of Food Chemistry & Nanotechnology**, v. 11, n. 2, p. 59-66, 2025.

HENRIQUE, Euliene Pereira; BERILLI, Sávio da Silva. **Substrato desenvolvido para cultivo semihidropônico de morango, utilizando resíduos de palha de café, cama de frango e moinha de carvão**. 2024. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Instituto Federal do Espírito Santo, Alegre, 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Censo Agropecuário, 2017. Rio De Janeiro: IBGE, 2017. Acesso em 20/03/2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coentro/br>

HUSSAIN, Ashiq *et al.* Evaluation of leaves, flowers, and seeds of coriander (*Coriandrum sativum* L.) through microwave drying and ultrasonic-assisted extraction, for biologically active components. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2024, n. 1, p. 2378604, 2024.

JELEŃ, Henryk H.; MARCINKOWSKA, Monika A.; MAREK, Maria. Determination of volatile terpenes in coriander cold pressed oil by vacuum assisted sorbent extraction (VASE). **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 884, 2021.

JONES-BAUMGARDT, Chase; LLEWELLYN, David; ZHENG, Youbin. Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. **HortScience**, 1-8, 2020.

JÚNIOR, Eduardo Siqueira Dias *et al.* Uso de LEDs na horticultura como estratégia para

agricultura sustentável: uma revisão bibliográfica. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 9, p. 01-15, 2025

KAEPPLE, Mikayla S. *et al.* Anthocyanin and lycopene contents do not affect β -carotene bioefficacy from multicolored carrots (*Daucus carota* L.) in male Mongolian gerbils. **The Journal of Nutrition**, v. 153, n. 1, p. 76-87, 2023.

KANMANI BHARATHI, Jothi; PRAKASH, Muthu Arjuna Samy. Estimation of total flavonoids, phenols, alkaloids, tannins and in vitro antioxidant activity of *Costus pictus* D. Don. ex. Lindl. and *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. leaf extracts. **Chemical Papers**, v. 79, n. 1, p. 545-559, 2025.

KILICHBK, Shergoziyev. Coumarins: nature's versatile compounds with diverse pharmacological attributes. **Научный Фокус**, v. 1, n. 5, p. 1-3, 2023.

KOPSELL, Dean Adam.; SAMS, Carl E. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 138, n. 1, p. 31-37, 2013.

KRUPA, Sasidharan *et al.* Microgreens: A Novel Source of Functional Nutraceuticals. **Recent Trends and Applications of Leguminous Microgreens as Functional Foods**, p. 87-101, 2025.

KUETE, Jenifer RN *et al.* Terpenoids, steroids, and saponins from African medicinal plants as potential pharmaceuticals to fight cancers, and their refractory phenotypes. In: **Advances in Botanical Research**. Academic Press, v. 115, p. 1-53, 2025.

KUMAR, Ajay *et al.* Brassicaceae microgreens: Pioneering sustainable solutions for functional benefits in modern diets and food security. **South African Journal of Botany**, v. 182, p. 93-111, 2025.

KUMAR, Arun; SINGH, Narpinder; JOSHI, Robin. Deciphering the metabolic signatures of *Trigonella* microgreens as a function of photoperiod and temperature using targeted

compound analysis and non-targeted UHPLC-QTOF-IMS based approach. **Food Research International**, v. 176, p. 113834, 2024.

KUMAR, Ragu Sasi., *et al.* (2014). Preliminary studies on phytochemicals and antimicrobial activity of solvent extracts of *Coriandrum sativum* L. roots (Coriander). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 2(8):74-7

KYRIACOU, Marios *et al.* 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.

LEE, Sylvia *et al.* Controlled Environment Agriculture Increases Anthocyanin Content in Red Cabbage Microgreens. **Current Developments in Nutrition**, v. 8, 2024.

LINHARES, Paulo César Ferreira *et al.* Rendimento de coentro (*Coriandrum sativum* L.) em sistema de adubação verde com a planta jitrana (*Merremia aegyptia* L.). **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 14, p. 143-148, 2012.

LORENTE-MENTO, José Manuel. *et al.* Fresh-cut salads: Consumer acceptance and quality parameter evolution during storage in domestic refrigerators. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3473, 2022.

MACEDO, Ruben de Pinho Serra *et al.* Produtividade de massa verde do coentro na região de Nova Mutum-MT. **Práticas Agronômicas: Experiências da UNEMAT de Nova Mutum Volume**, p. 78.

MAMUROVA, A. *et al.* Análise fitoquímica e atividades antioxidante, antimicrobiana e citotóxica de diferentes extratos solventes de *Zygophyllum fabago* L. **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, p. e293666, 2025

MARU, Ruth Nyambura *et al.* Evaluation of growth, yield and bioactive compounds of Ethiopian kale (*Brassica carinata* A. Braun) microgreens under different LED light spectra and substrates. **Horticulturae**, v. 10, n. 5, p. 436, 2024.

MATOS, Francisco José de Abreu. **Introdução à Fitoquímica Experimental**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009.

MILESKI, Ksenija S. *et al.* Comparative Analyses on Chemical Constituents and Biological Activities of *Laserpitium siler* L. from Serbia. **Records of Natural Products**, v. 17, n. 3, 2023.

MOTA, Robson Nascimento da. **Mirepoix: extração e estruturação de aromáticos voláteis para uso gastronômico**. 2023. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2023.

NASCIMENTO, Luana Beatriz dos Santos *et al.* UVB treatments of packaged ready-to-eat salads: Induced enhancement of quercetin derivatives in baby-leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) and wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 207, p. 112606, 2024.

QI, Lian Dong *et al.* Effects of light qualities on accumulation of oxalate, tannin and nitrate in spinach. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 4, p. 201-205, 2007.

RAMOS, Gabriela Silva *et al.* **Planejamento racional por modelagem molecular e semissíntese de derivados cardenolídeos com potencial atividade citotóxica**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

RASMI, P. K. *et al.* A comprehensive review of herb microgreens as emerging functional foods: insights into their nutritional potential and health benefits. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, p. 1-13, 2025.

RATHOD, Mr Ranjit Vitthal; SUL, S. A. Coriander and its phytoconstituents for the beneficial effects. **Potential of essential oils**, p. 165, 2018.

REHMAN M, Ullah S, Bao Y, Wang B, Pen D, Liu L (2017) Light-Emitting Diodes: Whether an efficient source of light for indoor plants? **Environmental Science and Pollution**

Research. v.24, p. 24743-24752, 2017.

RIBEIRO, Dandara Leal dos Santos; FONSECA, Karina Zanoti. Benefícios do consumo de flavonoides para a microbiota intestinal: uma revisão. **Inova Saúde**, v. 14, n. 4, p. 164-174, 2024.

RIZVI, Anamta *et al.* Functional and antioxidant potential of beetroot, mustard and radish microgreens using spectroscopic techniques. **Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 53-71, 2024.

RIZVI, Anamta *et al.* Trailing the prospects of leguminous microgreens as rising functional and future foods. In: **Recent Trends and Applications of Leguminous Microgreens as Functional Foods**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 47-65.

RUELLA, Priscilla Rodrigues *et al.* **Produção de mudas de hortaliças orgânicas e de microverdes em substratos formulados com composto de casca de banana**. 2021.

Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2021.

SÁ, Jéssica Maróstica de. **Cumarinas e hesperetina como candidatas antivirais contra o vírus Sincicial Respiratório Humano**. 2025. Tese (Doutorado em Ciências Biomoleculares e Farmacológicas) - Instituto de Biociências, Letras e Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2025.

SAMUOLIENÉ, G. *et al.* Red light-dose or wavelength-dependent photoresponse of antioxidants in herb microgreens. **PLoS ONE**, v. 11, n. 9, p. 1–10, 2016.

SANTOS, Everlaine Leite Estavam dos *et al.* **Efeito antitumoral do triterpeno pentacíclico friedelina no modelo murino de carcinoma de ehrlich ascítico**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Estadual de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2023.

SANTOS, Fabio Lemes dos. **Diferentes substratos no desenvolvimento de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019.

SANTOS, Leandra Caline dos *et al.* CAPÍTULO 8 Efeito das saponinas sobre a microbiota intestinal de pacientes com síndrome metabólica. **Câmara Brasileira do Livro**, p. 80-93, 2023.

SARRA, Sheila Regina; PIRRÓ, Lúcia Fernanda de Souza; ROMÉRO, Marcelo de Andrade. Questões projetuais no emprego de leds para produção de alimentos mais nutritivos / Design issues in the use of led's for more nutritive food production. **Brazilian Journal of Development**. 2021, v.7, n.1, p. 7266–7278.

SBF. Sociedade Brasileira de Farmacognosia. Drogas cardioativas. Disciplina de Farmacognosia I, UFPR. SBFgnosia. 20201. Acesso em: 12/04/2025 Disponível em: <http://www.sbfgnosia.org.br/Ensino/alcaloides.html>.

SETH, Tania *et al.* Microgreens: Functional food for nutrition and dietary diversification. **Plants**, v. 14, n. 4, p. 526, 2025.

SHARMA, Pooja; KAUR, Amrit. An overview of chemistry and biosynthesis of anthraquinones. **Anthraquinones: Bioactive Multifaceted Therapeutic Agents**, p. 60-80, 2025.

SHUIHUAN, Guo *et al.* Research progress on the regulatory effect of light emitting diode on quality of microgreens. **Journal of Light Industry**, v. 40, n. 1, 2025.

SILVA, Giselly Mota da *et al.* Influence of the wavelength and intensity of LED lights and cytokinins on the growth rate and the concentration of total cardenolides in *Digitalis mariana* Boiss. ssp. *heywoodii* (P. Silva and M. Silva) Hinz cultivated in vitro. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 151, n. 1, p. 93-105, 2022.

SILVA, Luiza Máira Ribeiro. **Proteínas alternativas: o papel da biotecnologia e dos bioprocessos na produção de novos alimentos**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2024.

SINGH, Aishvina *et al.* Emergence of microgreens as a valuable food, current understanding of their market and consumer perception: A review. **Food Chemistry: X**, p. 101527, 2024

SINGH, Sudha; SINGH, Sakshi. Microgreens: A Nutrient-Dense Solution to Combat Malnutrition in an Expanding World. **Vigyan Varta** 5(4): 144-146. 2024.

SINGHAI, Harshita *et al.* The potential of natural products in the management of cardiovascular disease. **Current Pharmaceutical Design**, v. 30, n. 8, p. 624-638, 2024.

SMITH, Jallah C. **Evaluation of Phytochemical Composition in Selected Medicinal Plants and Potential Application as Antimicrobial Agent**. Delaware State University, 2019.

SOUZA, Mitally Tayane Alves *et al.* Eficiência do hidroresfriamento na conservação e qualidade pós-colheita de coentro. 2017. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 9, n. 01, 2017.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.

TALLEI, Trina Ekawati *et al.* A comprehensive review on the antioxidant activities and health benefits of microgreens: current insights and future perspectives. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 58-71, 2024.

TKEMALADZE, Jaba. Concept to the Food Security. **Longevity Horizons**, v. 10, 2025.

TREADWELL, Danielle *et al.* Microgreens: a new specialty crop: HS1164, rev. 9/2020. **Edis**, v. 2020, n. 5, 2020.

VIANA, CARIS DOS SANTOS. **Microverdes de coentro com iluminação artificial: rendimento, eficiência energética, concentração mineral e atributos sensoriais**. 2023. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2023.

VILCHES SODI, Celia. **Evaluación toxicológica de alcaloides de la pirrolizidina: riesgos**

para la salud. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) - Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 2023.

VUČETIĆ, Anja *et al.* A Comprehensive Antioxidant and Nutritional Profiling of Brassicaceae Microgreens. **Antioxidants**, v. 14, n. 2, p. 191, 2025.

WONG, Chui Eng *et al.* Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. **Trends in Food Science & Technology**, v. 106, p. 48-63, 2020.

XIAO, Zhenlei.; LESTER, Gene E.; LUO, Yaguang.; WANG, Qin. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 7644-7651, 2012.

XIAO, Zhenlei *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.

YANG, Ye *et al.* Exogenous silicon applied at appropriate concentrations is effective at improving tomato nutritional and flavor qualities. **Food Chemistry: X**, v. 22, p. 101306, 2024.

ZHANG, Yan *et al.* A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. **Trends in food science & technology**, v. 99, p. 203-216, 2020.

ZHONG, Yuan *et al.* Coriander microgreens and baby greens: Comparison of volatile and non-volatile metabolites and potential therapeutic effects on type 2 diabetes mellitus and obesity. **Food Research International**, p. 115759, 2025.

ZHOU, Qian *et al.* Harnessing beneficial microbes to boost sprout and microgreen production: current knowledge and future perspectives. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-19, 2025.