



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

Recredenciada pela Portaria – MEC n.º 747, de 10/09/2020 – D.O.U. 11/09/2020

Mantenedora: UNIPAR – SOCIEDADE EMPRESARIAL LTDA.

Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura

Agnes Guedes de Lívio Naves

**Potencial Bioestimulante do Extrato de Alga Marinha em *Ocimum basilicum* L.:
Influência da Forma de Aplicação no Desenvolvimento e Rendimento do Óleo
Essencial**

**Umuarama
2025**

Agnes Guedes de Lívio Naves

**Potencial Bioestimulante do Extrato de Alga Marinha em *Ocimum basilicum* L.:
Influência da Forma de Aplicação no Desenvolvimento e Rendimento do Óleo
Essencial**

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pela Universidade Paranaense - UNIPAR.

Orientadora: Silvia Graciele Hulse de Souza

Umuarama
2025

N323p Naves, Agnes Guedes de Lívio.

Potencial bioestimulante do extrato de alga marinha em *Ocimum basilicum* L.: influência da forma de aplicação no desenvolvimento e rendimento do óleo essencial / Agnes Guedes de Lívio Naves. – Umuarama : Universidade Paranaense – UNIPAR, 2025.

52 f.

Orientadora: Dr^a. Silvia Graciele Hulse de Souza.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Paranaense – UNIPAR.

1. Manjerição. 2. Crescimento vegetal. 3. Atividade antioxidante. I. Universidade Paranaense – UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 615.321

Potencial Bioestimulante do Extrato de Alga Marinha em *Ocimum basilicum* L.:
Influência da Forma de Aplicação no Desenvolvimento e no Rendimento do
Óleo Essencial

Dissertação aprovada como requisito obrigatório para obtenção do Grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

Dra Maiara Kawana Aparecida Rezende
Universidade Paranaense

Dra. Cristine Bonacinca Maier
Centro Universitário Dinâmica das
Cataratas

Dra. Sílvia Graciele Hulse de Souza (orientadora)
Universidade Paranaense

Universidade Paranaense – UNIPAR

Umuarama, 18/09/2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar forças e sabedoria ao longo de toda essa jornada. À minha família, pelo apoio incondicional, paciência e compreensão nos momentos de desafio. Agradeço especialmente às minhas filhas, pelo carinho e motivação, que sempre me lembraram do propósito maior desta caminhada. Ao meu esposo, que esteve ao meu lado em todos os momentos, me incentivando e proporcionando o equilíbrio necessário entre os estudos e a vida familiar.

À minha orientadora, por sua orientação, paciência e confiança em meu trabalho. Sua sabedoria e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores do programa de Mestrado, pelo conhecimento compartilhado e pela excelência no ensino, que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos meus colegas de pesquisa, que compartilharam seus conhecimentos, experiências e amizades, tornando este processo de aprendizagem ainda mais rico e enriquecedor.

Aos meus colegas de trabalho, pela colaboração e apoio contínuo, que fizeram toda a diferença na realização deste trabalho.

Por fim, agradeço imensamente à banca examinadora, pela disponibilidade, pelas valiosas contribuições e pela análise crítica deste trabalho. Suas observações foram essenciais para o aprimoramento da pesquisa.

A todos, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract.....	8

Capítulo I – Bioestimulante em plantas medicinais e aromáticas: algas marinhas no cultivo de *Ocimum basilicum* L.

1.- Introdução	9
2.- O manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i> l.).....	12
3.- Óleos essenciais em plantas aromáticas	14
4.- Composição química do óleo essencial de manjeriço	17
5.- Bioestimulantes vegetais: conceito e aplicação	19
6.- Extratos de algas marinhas como bioestimulantes.....	20
7.- Efeitos do extrato de alga marinha sobre plantas aromáticas	22
8.- Conclusão	26
9.- Referências	27

Capítulo II – Formas de aplicação do extrato de alga marinha (*Ascophyllum nodosum*): implicações no enraizamento, na eficiência fotossintética e rendimento do óleo essencial em *Ocimum basilicum*

1.- Introdução	30
2.- Materiais e métodos	33
3.- Resultados e discussão	37
4.- Conclusão	46
5.- Agradecimentos.....	47
6.- Referências	48

Agnes Guedes de Lívio Naves

**Potencial Bioestimulante do Extrato de Alga Marinha em *Ocimum basilicum* L.:
Influência da Forma de Aplicação no Desenvolvimento e no Rendimento do Óleo
Essencial**

RESUMO

A crescente demanda por práticas sustentáveis no cultivo de plantas medicinais e aromáticas tem impulsionado o uso de bioestimulantes naturais, como os extratos de algas marinhas. Esta dissertação investigou o potencial bioestimulante do extrato da alga marinha *Ascophyllum nodosum* na cultura do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), integrando uma revisão aprofundada da literatura (Capítulo I) e um experimento aplicado (Capítulo II). O primeiro capítulo discutiu os aspectos agronômicos, fitoquímicos e fisiológicos do manjeriço, com destaque para a composição e funções ecológicas de seu óleo essencial, além da relevância dos bioestimulantes vegetais, especialmente os derivados de algas, no estímulo ao crescimento e a produção de metabólitos secundários. A revisão evidenciou que os extratos de *A. nodosum* são ricos em fitormônios, polissacarídeos sulfatados e minerais quelatados, promovendo o desenvolvimento vegetal e a tolerância a estresses ambientais. No segundo capítulo, avaliou-se, em condições controladas, o efeito de diferentes formas de aplicação do extrato (imersão de estacas e pulverização pré-plantio) sobre variáveis morfofisiológicas de estacas de manjeriço e no rendimento do óleo essencial. A imersão promoveu maior crescimento radicular, acúmulo de clorofila e antocianinas, além do aumento do índice de balanço de nitrogênio. Já a pulverização destacou-se por melhorar a eficiência fotoquímica do fotossistema II, com aumentos significativos em variáveis como rendimento quântico efetivo e taxa de transporte de elétrons e no rendimento do óleo essencial. Esses resultados demonstram que os efeitos do extrato são específicos à forma de aplicação e à resposta fisiológica desejada, oferecendo subsídios técnicos para o uso estratégico de bioestimulantes em cultivos comerciais. Esse trabalho reforça a viabilidade do uso de insumos naturais como alternativa sustentável na agricultura, contribuindo para a produção de mudas mais vigorosas e de alta qualidade funcional.

Palavras-chave: Manjeriço, crescimento vegetal, atividade antioxidante.

Agnes Guedes de Lívio Naves

Bio stimulant Potential of Seaweed Extract in *Ocimum basilicum* L.: Influence of Application Method on Growth and Essential Oil Yield

ABSTRACT

The growing demand for sustainable practices in the cultivation of medicinal and aromatic plants has driven the use of natural biostimulants, such as seaweed extracts. This dissertation investigated the biostimulant potential of the seaweed extract *Ascophyllum nodosum* in basil (*Ocimum basilicum* L.), integrating an in-depth literature review (Chapter I) and an applied experiment (Chapter II). The first chapter discussed the agronomic, phytochemical, and physiological aspects of basil, emphasizing the composition and ecological functions of its essential oil, as well as the relevance of plant biostimulants—particularly those derived from seaweeds—in promoting growth and the synthesis of secondary metabolites. The review highlighted that *A. nodosum* extracts are rich in phytohormones, sulfated polysaccharides, and chelated minerals, which enhance plant development and tolerance to environmental stress. In the second chapter, under controlled conditions, the effects of different application methods of the extract (stem cutting immersion and pre-planting foliar spray) were evaluated on the morphophysiological variables of basil cuttings and on essential oil yield. Immersion treatment promoted greater root growth, chlorophyll and anthocyanin accumulation, as well as an increase in the nitrogen balance index. In turn, foliar spraying improved the photochemical efficiency of photosystem II, with significant increases in parameters such as effective quantum yield, electron transport rate, and essential oil yield. These findings demonstrate that the effects of the extract are specific to the mode of application and the targeted physiological response, providing technical insights for the strategic use of biostimulants in commercial cultivation. This work reinforces the feasibility of using natural inputs as sustainable alternatives in agriculture, contributing to the production of more vigorous seedlings with enhanced functional quality.

Keywords: Basil, plant growth, antioxidant activity.

CAPÍTULO I: Bioestimulante em Plantas Aromáticas: Algas Marinhas no Cultivo de *Ocimum basilicum* L.

Resumo

As plantas aromáticas e medicinais, como o manjericão (*Ocimum basilicum* L.), destacam-se pela importância econômica e pelo valor agregado dos seus óleos essenciais. A composição química desses óleos varia em função de fatores genéticos, ambientais e agronômicos, sendo constituídos principalmente por monoterpenos e fenóis, que possuem propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias. Desta forma, essa revisão de literatura aborda os aspectos agronômicos, fisiológicos e bioquímicos relacionados ao manjericão, seu óleo essencial e o uso de bioestimulantes vegetais, com ênfase nos extratos de algas marinhas. O manjericão destaca-se como uma planta aromática de grande relevância econômica, valorizada pela diversidade de compostos bioativos presentes em seu óleo essencial, cuja composição varia conforme o quimiotipo, o manejo e as condições ambientais. Os óleos essenciais, constituídos principalmente por monoterpenos e fenóis, desempenham funções ecológicas e medicinais, sendo sua produção influenciada por fatores genéticos e ambientais. A aplicação de bioestimulantes vegetais, substâncias ou microrganismos que, sem suprir nutrientes diretamente, promovem o crescimento, o metabolismo e a tolerância das plantas ao estresse. Dentre os bioestimulantes, destacam-se os extratos de algas marinhas, ricos em fitormônios, polissacarídeos, aminoácidos e minerais, capazes de modular processos fisiológicos e bioquímicos. Os efeitos benéficos desses extratos incluem estímulo ao crescimento, à fotossíntese, à biossíntese de metabólitos secundários e à resistência contra estresses bióticos e abióticos. Plantas aromáticas como o manjericão e o uso de extrato de algas marinhas promove não apenas o incremento da biomassa e vigor, mas também alteram positivamente a qualidade e o perfil químico dos óleos essenciais, reforçando seu potencial como ferramenta mais produtiva e sustentável na agricultura.

Palavras-chave: fitormônios, metabólitos secundários, polissacarídeos sulfatados, sustentabilidade agrícola, resiliência vegetal.

1. Introdução

As plantas aromáticas e medicinais têm se destacado na agricultura e na indústria devido à ampla aplicação de seus compostos bioativos nas áreas alimentícia, farmacêutica, cosmética e fitoterápica (VIUDA-MARTOS et al., 2011). Entre essas espécies, o manjeriço (*O. basilicum* L.), pertencente à família Lamiaceae, é uma das mais relevantes, não apenas pelo valor agregado de seu óleo essencial, mas também por sua rusticidade e facilidade de cultivo em diferentes regiões (CAROVIĆ-STANKO et al., 2010).

Os óleos essenciais são metabólitos secundários de composição complexa, compostos principalmente por monoterpenos e fenóis. Essas substâncias desempenham funções ecológicas essenciais, como defesa contra herbívoros, atração de polinizadores e proteção contra estresses ambientais (GONÇALVES et al., 2017). Sua produção e composição química variam de acordo com fatores genéticos, condições ambientais e práticas de manejo agrícola (SANGWAN et al., 2001).

Nesse contexto, os bioestimulantes vegetais têm emergido como ferramentas sustentáveis para promover o crescimento das plantas e otimizar a produção agrícola.

Essas substâncias atuam na modulação de processos fisiológicos e metabólicos, sem substituir a adubação ou exercer ação direta sobre pragas e doenças (DU JARDIN, 2015).

Dentre os bioestimulantes vegetais, os extratos de algas marinhas destacam-se não apenas pela riqueza em compostos bioativos, mas também por sua composição diversificada, que inclui fitormônios, aminoácidos, polissacarídeos sulfatados, minerais quelatados, entre outros componentes. Esses elementos desempenham papéis cruciais na modulação do crescimento e desenvolvimento vegetal (CRAIGIE, 2011).

Os fitormônios presentes nos extratos de algas, como auxinas, giberelinas e citocininas, atuam regulando processos fisiológicos fundamentais, incluindo a divisão celular, alongamento de tecidos, formação de raízes, floração e frutificação. Além disso, os aminoácidos contribuem como precursores para várias biossínteses metabólicas e também podem atuar como agentes que estimulam a resistência da planta a estresses ambientais (ELANSARY et al., 2016).

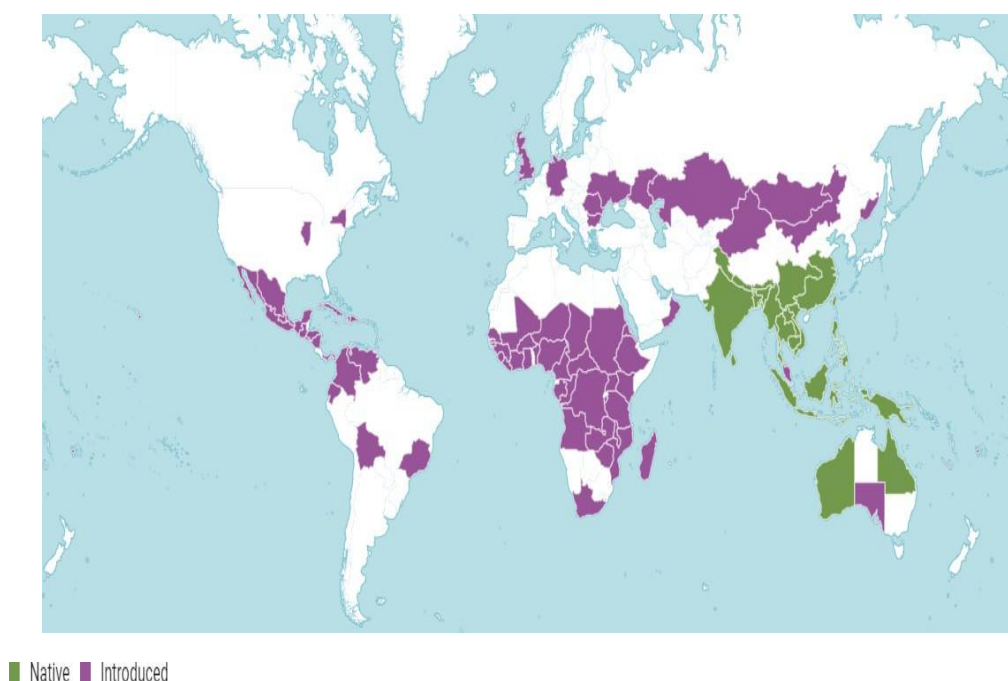
Os polissacarídeos sulfatados presentes nesses extratos possuem propriedades bioestimulantes, atuando na ativação de vias de defesa e na modulação do metabolismo vegetal, além de promoverem maior absorção de nutrientes pelo sistema radicular (CRAIGIE, 2011). Os minerais quelatados, por sua vez, facilitam a disponibilidade de nutrientes essenciais, promovendo um crescimento mais vigoroso e saudável das plantas. O papel fisiológico dos bioestimulantes na planta está relacionado à sua capacidade de melhorar a eficiência do uso de nutrientes, estimular a biossíntese de compostos de defesa, aumentar a resistência a condições adversas, como seca, altas temperaturas e estresse salino, além de promover um crescimento mais uniforme e vigoroso (DU JARDIN, 2015). Assim, esses produtos oferecem uma alternativa sustentável para o manejo agrícola, potencializando a produção e a qualidade das culturas sem a necessidade de fertilizantes ou defensivos químicos tradicionais.

Desta forma, essa revisão de literatura tem como objetivo discutir os aspectos botânicos e agrônômicos do manjeriço, a importância e a variabilidade dos óleos essenciais, o conceito e as aplicações dos bioestimulantes vegetais, bem como os efeitos específicos dos extratos de algas marinhas no Manjeriço.

2. O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)

O manjeriço (*O. basilicum* L.), pertencente à família Lamiaceae, é uma planta herbácea anual amplamente cultivada em diversas regiões do mundo, com destaque para áreas de clima tropical e subtropical (CAROVIĆ-STANKO et al., 2010). De origem asiática, provavelmente da Índia, a espécie apresenta notável diversidade genética, refletida em dezenas de cultivares e variedades que diferem quanto à coloração, morfologia foliar, aroma e composição fitoquímica (PATON; HARLEY; HARLEY, 1999). Essa ampla variabilidade fenotípica e química confere ao manjeriço elevada relevância entre as plantas aromáticas, sendo amplamente utilizado tanto na gastronomia quanto na medicina tradicional.

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) é uma espécie originária do Sul e Sudeste Asiático, com ocorrência também em áreas da Oceania (Figura 1). Sua distribuição foi posteriormente ampliada por introduções em regiões tropicais e subtropicais de outros continentes, sendo atualmente cultivado em diferentes países da África, América, Europa e em ilhas oceânicas (Simon et al., 1999; Paton et al., 1999).



Fonte: Royal Botanic Gardens

Figura 1. Distribuição do manjeriço no mundo.

Do ponto de vista botânico, o manjeriço é caracterizado por apresentar caule quadrangular, folhas opostas, simples, geralmente ovadas e com margens levemente serrilhadas (Figura 2). Suas inflorescências do tipo racemo terminal são compostas por pequenas flores bilabiadas, predominantemente brancas ou arroxeadas, que abrigam glândulas secretoras responsáveis pela síntese e armazenamento do óleo essencial. Trata-se de uma espécie de ciclo curto, com florescimento geralmente entre 60 e 90 dias após a semeadura, variando de acordo com as condições edafoclimáticas. (SIMON; QUINN; MURPHY, 1990).



Fonte: Royal Botanic Gardens

Figura 2. Planta de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) com sistema radicular e parte aérea em desenvolvimento, evidenciando folhas opostas e inflorescências terminais.

Sob o ponto de vista agrônomo, o manjeriço destaca-se por sua rusticidade e facilidade de cultivo, apresentando boa adaptação a solos férteis, bem drenados, ricos em matéria orgânica e com pH levemente ácido a neutro. Embora possua exigência hídrica moderada, o déficit hídrico pode comprometer o crescimento vegetativo e a produção de óleo essencial (RODRIGUES et al., 2013). A propagação é predominantemente realizada por sementes, embora algumas cultivares possam ser multiplicadas por estaquia, especialmente em sistemas de produção mais tecnificados.

O interesse comercial por essa espécie tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionado pela crescente demanda dos setores gastronômico, farmacêutico, cosmético e de aromaterapia. Na culinária, suas folhas, frescas ou secas, são amplamente utilizadas como condimento em diversas preparações. No campo da fitoterapia, o manjeriço é valorizado por suas reconhecidas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias e digestivas, atribuídas à presença de compostos bioativos presentes no óleo essencial (VIUDA-MARTOS et al., 2011).

A versatilidade de uso, aliada ao ciclo curto, à elevada produtividade e ao alto valor agregado do produto final, torna o manjeriço uma espécie estratégica para pequenos e médios produtores, sobretudo em sistemas de base agroecológica. Nesse contexto, seu cultivo representa uma alternativa promissora de diversificação de renda, especialmente para a agricultura familiar.

3. Óleos essenciais em plantas aromáticas

Os óleos essenciais (OEs) são misturas complexas de compostos orgânicos voláteis, majoritariamente lipofílicos, sintetizados como metabólitos secundários por diversas espécies vegetais, especialmente dentro das famílias Lamiaceae, Rutaceae, Myrtaceae e Apiaceae (BASER; BUCHBAUER, 2015). Esses compostos são produzidos por rotas metabólicas específicas como as vias do mevalonato (MVA) e do metileritritol

fosfato (MEP) e são armazenados em estruturas anatômicas especializadas, tais como tricomas glandulares, cavidades esquizógenas e lisígenas ou glândulas epidérmicas (GONÇALVES et al., 2017).

A principal função ecológica dos óleos essenciais está relacionada à interação da planta com o ambiente. Esses compostos desempenham papéis defensivos contra herbívoros e fitopatógenos, atuam como agentes alelopáticos na competição interespecífica, além de estarem envolvidos na atração de polinizadores e na sinalização intra e interespecífica (ISHIMOTO et al., 2014). Além disso, evidências sugerem que os óleos essenciais (OEs) também participam da regulação de processos fisiológicos internos, como o fechamento estomático, a resposta ao estresse oxidativo e a adaptação a variações térmicas (SANGWAN et al., 2001).

Do ponto de vista químico, os óleos essenciais são compostos principalmente por monoterpenos (C10) e sesquiterpenos (C15), hidrocarbonetos ou oxigenados (álcoois, cetonas, ésteres, óxidos), além de compostos fenólicos, aldeídos, lactonas e compostos nitrogenados ou sulfurados em menores proporções (VIUDA-MARTOS et al., 2011). A diversidade estrutural dessas moléculas confere aos óleos essenciais (OEs) propriedades sensoriais e biológicas únicas, como aroma, sabor, além de atividades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias, antiespasmódicas e até inseticidas (BASER; BUCHBAUER, 2015).

A produção de óleo essencial em plantas aromáticas é altamente influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Entre os fatores intrínsecos, destacam-se o genótipo (cultivar ou quimiotipo), o estágio fenológico, o metabolismo primário associado e a arquitetura anatômica da planta (BARBOSA et al., 2008). Já entre os fatores extrínsecos, destacam-se as condições edafoclimáticas (temperatura, luminosidade, tipo de solo, disponibilidade hídrica), o manejo agrônomico (adubação, irrigação, podas) e a exposição a estresses bióticos ou abióticos, os quais podem alterar significativamente tanto o rendimento quanto a composição química dos óleos essenciais (SANGWAN et al., 2001).

Estudos demonstram que alterações ambientais, como variações na radiação solar, déficit hídrico e temperatura, modulam a expressão de genes-chave envolvidos nas rotas biossintéticas dos terpenoides e fenóis voláteis, promovendo mudanças qualitativas e quantitativas no perfil químico dos óleos essenciais (OEs) (ZULFIQAR et al., 2020). Além disso, de acordo com as práticas sustentáveis como a adubação orgânica, o uso de bioestimulantes vegetais e o cultivo sob ambientes protegidos têm sido investigadas como estratégias eficazes para otimizar a produção de óleos essenciais com maior concentração de compostos bioativos e maior valor funcional (RAHIMI et al., 2020).

A extração dos óleos essenciais é comumente realizada por hidrodestilação, utilizando-se alambiques convencionais ou aparelhos de Clevenger, embora métodos modernos como destilação por arraste de vapor, micro-ondas e extração com CO₂ supercrítico também estejam sendo empregados, visando maior eficiência e preservação dos compostos voláteis (PESSARAKLI, 2016). Para a análise da composição química dos óleos, a técnica padrão é a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), que permite a identificação e quantificação dos constituintes com alta sensibilidade e especificidade.

O interesse crescente nos óleos essenciais decorre de sua ampla aplicabilidade nos setores farmacêutico, cosmético, alimentício e agrícola. Produtos naturais com propriedades terapêuticas e baixo impacto ambiental têm sido priorizados pela indústria e pelo consumidor, impulsionando a busca por métodos de cultivo e extração que aumentem o rendimento e a qualidade desses compostos (BASER; BUCHBAUER, 2015).

Portanto, o aprofundamento no entendimento dos mecanismos biossintéticos, das interações planta-ambiente e das práticas de manejo que influenciam a produção de óleos essenciais é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de cultivo mais eficientes e sustentáveis, especialmente para espécies como o manjeriço, cujo valor econômico e funcional está intrinsecamente relacionado à qualidade de seu óleo essencial.

4. Composição química do óleo essencial de manjeriço

O óleo essencial de manjeriço é amplamente estudado devido à sua complexa composição química e às diversas propriedades biológicas e industriais que dele derivam. A composição do óleo pode variar significativamente em função do cultivar, da origem geográfica, do estágio de desenvolvimento da planta, das condições ambientais e das práticas de cultivo (KIFLE; LAKEW, 2020).

Os constituintes majoritários do óleo essencial de *O. basilicum* L. pertencem principalmente às classes dos monoterpenos e dos fenilpropanóides. Entre os compostos mais frequentemente encontrados destacam-se o linalol, predominante em quimiotipos europeus e com teores que variam entre 43 % e 69 %, conferindo propriedades sedativas, antimicrobianas e antioxidantes (VIUDA-MARTOS et al., 2011; RAHIMI et al., 2020); o metil chavicol (estragol), típico de variedades asiáticas e tropicais, podendo atingir 50 % de concentração, associado ao aroma anisado e ao uso como flavorizante (GRAYNER et al., 1996; HOLMES et al., 2020); o eugenol, mais comum em manjeriços cultivados em regiões tropicais, como Índia e Brasil, com reconhecidas propriedades analgésicas, anti-inflamatórias e antissépticas (MARTINS et al., 2014); o 1,8-cineol, um monoterpene oxigenado presente em teores variáveis (6–11 %), que contribui para notas aromáticas frescas e atividade antimicrobiana (GONÇALVES et al., 2017); e o metil cinamato, encontrado em alguns quimiotipos tropicais, com potencial antioxidante (SIMON; QUINN; MURPHY, 1990).

Com base no composto predominante, os OEs de manjeriço são classificados em diferentes quimiotipos. O quimiotipo linalol, típico de cultivares europeus, é amplamente utilizado pela indústria de perfumes e cosméticos (VIUDA-MARTOS et al., 2011); o quimiotipo metil chavicol, de aroma doce e anisado, é comum em variedades do Sudeste Asiático e muito valorizado como flavorizante (KIFLE; LAKEW, 2020); o

quimiotipo eugenol é característico de regiões tropicais, sendo relevante por seu potencial terapêutico (GRAYER et al., 1996); enquanto os quimiotipos metil eugenol e metil cinamato representam variantes menos frequentes, mas de importância regional (RAHIMI et al., 2020).

Além dos compostos majoritários, o óleo essencial de manjeriço pode conter diversos constituintes em menores proporções, como geraniol, borneol, β -cariofileno, α -terpineol, α -bergamoteno e β -elemene, os quais contribuem para o perfil aromático e para as propriedades bioativas do óleo (MARTINS et al., 2014; RAHIMI et al., 2020). Embora presentes em concentrações inferiores, esses componentes conferem complexidade sensorial e funcional ao produto final, ampliando suas possibilidades de aplicação na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia.

A composição química do óleo essencial não depende exclusivamente do genótipo. Práticas agrônomicas, como o manejo da adubação, a irrigação, o uso de bioestimulantes e a exposição a estresses abióticos, podem influenciar significativamente tanto o rendimento quanto a qualidade química do óleo (RODRIGUES et al., 2013; RAHIMI et al., 2020), possibilitando sua modulação para diferentes fins comerciais e terapêuticos.

5. Bioestimulantes vegetais: conceito e aplicação

Os bioestimulantes vegetais são definidos como substâncias que, quando aplicados às plantas, têm como finalidade melhorar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas, sem que atuem diretamente como fontes de nutrientes essenciais (DU JARDIN, 2015). Diferentemente dos fertilizantes convencionais, os bioestimulantes modulam processos fisiológicos por meio da ativação de rotas metabólicas específicas, favorecendo a absorção e a assimilação de nutrientes, o aumento da atividade fotossintética, o estímulo à divisão celular, o fortalecimento das respostas

adaptativas frente a estresses bióticos e abióticos, e a intensificação da biossíntese de compostos secundários, como os óleos essenciais (YAKOUBI et al., 2021).

Apesar de sua crescente utilização, a definição e regulamentação dos bioestimulantes ainda estão em processo de consolidação em diversos países. Segundo a European Biostimulants Industry Council (EBIC), esses produtos devem ser considerados insumos agrícolas diferenciados, que atuam diretamente no metabolismo das plantas, mas que não se enquadram como fertilizantes minerais ou defensivos químicos (EBIC, 2021). No Brasil, a Instrução Normativa nº 61/2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) reconhece os bioestimulantes como fertilizantes especiais que promovem a eficiência fisiológica das plantas, sem exercer ação fitossanitária direta.

Os principais grupos de bioestimulantes atualmente utilizados na agricultura incluem: (i) extratos de algas marinhas, ricos em fitormônios naturais, polissacarídeos, aminoácidos e minerais quelatados; (ii) aminoácidos livres e peptídeos obtidos por hidrólise de proteínas; (iii) ácidos húmicos e fúlvicos, derivados da matéria orgânica do solo; (iv) microrganismos promotores de crescimento vegetal, como rizobactérias e fungos micorrízicos; e (v) compostos derivados de quitina e quitosana, com ação elicitoras sobre vias de defesa e biossíntese de metabólitos secundários (DU JARDIN, 2015; CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014).

As formas de aplicação dos bioestimulantes variam conforme a cultura e o objetivo, podendo ser realizadas por via foliar, aplicação ao solo ou tratamento de sementes. A aplicação foliar é especialmente eficiente em culturas de ciclo curto, devido à rápida absorção e à resposta fisiológica imediata (COLLA et al., 2015). Dentre os efeitos agrônômicos mais recorrentes destacam-se o incremento da massa seca, o aumento da eficiência no uso da água, a melhoria na absorção e translocação de macro e micronutrientes, e a ativação de mecanismos de tolerância a estresses como seca, salinidade e variações térmicas (SANTANIELLO et al., 2017).

Em espécies aromáticas e medicinais, os bioestimulantes vêm se destacando como alternativas promissoras para intensificar a produção e a qualidade dos óleos

essenciais, tanto pelo aumento de rendimento quanto pela modulação do perfil fitoquímico (RAHIMI et al., 2020). A ação dos bioestimulantes sobre o metabolismo secundário está diretamente associada à ativação de vias biossintéticas como a do mevalonato (MVA) e a do metileritritol fosfato (MEP), envolvidas na formação de precursores de terpenoides e fenóis, principais classes químicas dos compostos voláteis com atividade biológica e valor comercial (ZULFIQAR et al., 2020).

6. Extratos de algas marinhas como bioestimulantes

Os extratos de algas marinhas têm emergido como uma das classes mais eficazes e sustentáveis de bioestimulantes naturais aplicados na agricultura moderna. A bioestimulação refere-se à capacidade de determinados compostos naturais de modular processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, promovendo o crescimento, aumentando a tolerância a estresses e otimizando a qualidade do produto final, sem que esses compostos exercem efeitos diretos sobre pragas ou patógenos (DU JARDIN, 2015). Nesse contexto, os extratos de algas se destacam por conterem uma diversidade de substâncias bioativas capazes de atuar em múltiplas vias metabólicas de maneira sinérgica.

Obtidos a partir de diferentes grupos de macroalgas – marrons (*Phaeophyceae*), verdes (*Chlorophyceae*) e vermelhas (*Rhodophyceae*) – os extratos concentram fitormônios naturais (auxinas, citocininas, ácido abscísico), aminoácidos, açúcares, polissacarídeos sulfatados (como alginato, fucoidana e laminarina), polifenóis, betainas, vitaminas e minerais quelatados (CRAIGIE, 2011; KHAN et al., 2009; BOKSZCZANIN et al., 2022). A composição química e o modo de ação desses bioestimulantes variam conforme a espécie de alga utilizada, o método de extração e a formulação final do produto.

Entre as algas marrons mais utilizadas comercialmente destacam-se *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima* e *Laminaria digitata*, amplamente estudadas

por sua capacidade de promover a germinação de sementes, estimular o crescimento radicular e foliar, aumentar a eficiência fotossintética e induzir resistência a estresses abióticos como seca, salinidade e calor (SHUKLA et al., 2019a ; EL MODAFAR et al., 2021). Essas respostas envolvem desde a ativação de rotas de sinalização hormonal (como ácido jasmônico e etileno) até o acúmulo de osmólitos e antioxidantes endógenos que protegem as células vegetais contra danos oxidativos.

A aplicação dos extratos de algas pode ser realizada via foliar, no solo ou por tratamento de sementes, e seus efeitos dependem do estágio fenológico da planta, da frequência de aplicação e da cultura-alvo (SPANN & LITTLE, 2011). Em plantas de alto valor agregado, como as espécies medicinais e aromáticas, os extratos têm demonstrado não apenas melhorias em produtividade e vigor, mas também efeitos diretos na biossíntese de metabólitos secundários, como terpenoides e fenóis, que compõem os óleos essenciais (ELANSARY et al., 2016; MOHAMED & ALI, 2020). Tais efeitos têm sido atribuídos à ação de citocininas e compostos fenólicos que modulam a expressão gênica de enzimas-chave das vias do ácido mevalônico e do MEP.

Além dos efeitos fisiológicos e metabólicos, os extratos de algas também são reconhecidos por sua capacidade de induzir respostas de defesa sistêmica em plantas, ativando mecanismos semelhantes à resistência sistêmica adquirida (SAR) e resistência sistêmica induzida (ISR), o que resulta na redução da incidência de doenças, mesmo sem efeito direto sobre os patógenos (DUARTE et al., 2020). Essa característica reforça o potencial dos extratos de algas como ferramentas estratégicas para o manejo integrado de culturas, sobretudo em sistemas orgânicos e agroecológicos.

O uso de extratos de algas marinhas como bioestimulantes representa, portanto, uma abordagem eficiente, ecológica e tecnicamente viável para o fortalecimento fisiológico das plantas, a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e a redução da dependência de insumos químicos sintéticos. Contudo, apesar dos avanços, ainda são necessários estudos que explorem a variabilidade de resposta entre espécies vegetais, a estabilidade dos compostos ativos nas formulações comerciais e a viabilidade econômica

do uso desses insumos em larga escala. A compreensão aprofundada dos mecanismos moleculares envolvidos na bioestimulação por extratos de algas pode contribuir para o desenvolvimento de produtos mais eficazes e adaptados a diferentes realidades agrícolas.

7. Efeitos do extrato de alga marinha em plantas medicinais e aromáticas

Os extratos de algas marinhas têm se mostrado altamente promissores no cultivo de plantas aromáticas e medicinais, sendo amplamente reconhecidos por sua capacidade de melhorar o crescimento, a qualidade e o rendimento dessas culturas. Os compostos bioativos presentes nesses extratos, como fitormônios, minerais, aminoácidos e polissacarídeos, atuam de forma sinérgica para promover respostas fisiológicas que favorecem a produção de metabólitos secundários, com destaque para os óleos essenciais (KHAN et al., 2009; SPANN; LITTLE, 2011).

Diversas pesquisas têm demonstrado que a aplicação de extratos de algas marinhas resulta em aumentos significativos na biomassa vegetal, refletindo-se em maior vigor, expansão foliar e desenvolvimento radicular — fatores diretamente associados à eficiência fotossintética e à capacidade biossintética das plantas (HAYASHI et al., 2020). Em espécies como manjerição (*Ocimum basilicum*), alecrim (*Rosmarinus officinalis*), hortelã (*Mentha* spp.) e orégano (*Origanum vulgare*), observou-se que a aplicação foliar de extratos de algas promoveu incrementos substanciais no teor e na qualidade dos óleos essenciais, estimulando rotas metabólicas associadas à produção de terpenoides e compostos fenólicos (ELANSARY et al., 2016; MOHAMED; ALI, 2020).

Além de favorecer o rendimento, os extratos de algas também podem influenciar qualitativamente a composição dos óleos essenciais. Estudos indicam que há modulação no perfil de compostos voláteis, como linalol, metil chavicol (estragol) e eugenol, o que é atribuído à ativação de enzimas envolvidas na biossíntese de terpenoides, como a geranylgeranyl pirofosfato sintase (GGPP sintase) e a acetil-CoA sintase (ASTORGA et al., 2019). Essas alterações podem conferir aos óleos características

químicas e funcionais diferenciadas, ampliando seu potencial de uso nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia.

Outro efeito relevante dos extratos de algas é a indução de resistência a estresses bióticos e abióticos, como seca, salinidade e infecções por patógenos. Esses efeitos são mediados pela ativação de mecanismos de defesa nas plantas, incluindo a síntese de compostos antioxidantes, proteínas de choque térmico (HSPs) e fitoalexinas, que promovem a resiliência das plantas ao mesmo tempo em que mantêm ou elevam a produção de metabólitos secundários (ZULFIQAR et al., 2020; DUARTE et al., 2020). Em espécies aromáticas, essas respostas são particularmente vantajosas, pois contribuem tanto para a qualidade do produto final quanto para a estabilidade da produção sob condições ambientais adversas.

Os extratos de algas também têm sido associados à melhoria da nutrição vegetal, especialmente pela liberação de compostos que aumentam a solubilização e disponibilidade de nutrientes essenciais, como magnésio, ferro e zinco. Além disso, esses bioestimulantes favorecem a atividade de microrganismos benéficos no solo, contribuindo para a saúde do sistema radicular e para o crescimento equilibrado das plantas (COLLA et al., 2015). Tais benefícios são particularmente relevantes em sistemas agrícolas com solos de baixa fertilidade ou em ambientes sujeitos a estresses edafoclimáticos.

No contexto do cultivo de plantas aromáticas, *O. basilicum* L., destaca-se como uma das espécies mais amplamente cultivadas e valorizadas mundialmente, tanto pelo uso culinário quanto pelas propriedades medicinais e cosméticas de seu óleo essencial. Estudos recentes têm evidenciado que a aplicação de extratos de algas marinhas constitui uma estratégia promissora para o aumento da biomassa e a melhoria da qualidade fitoquímica do óleo essencial dessa espécie.

Elansary et al. (2016) demonstraram que aplicações de extrato da alga marrom *Ascophyllum nodosum*, tanto via foliar quanto por irrigação do substrato (drench), resultaram em incrementos expressivos no número de folhas, área foliar, peso

seco e altura das plantas de manjeriço. Além do estímulo ao crescimento vegetativo, foi observada uma alteração positiva na composição do óleo essencial, com aumento significativo nas concentrações de linalol, chavicol metil éter e cineol, compostos com reconhecida ação antioxidante, antimicrobiana e sedativa, amplamente utilizados nas indústrias farmacêutica e cosmética.

Complementarmente, Nunes et al. (2025) relataram os efeitos benéficos do extrato da alga vermelha *Kappaphycus alvarezii* sobre plantas de manjeriço cultivadas em sistema hidropônico. Aplicações foliares semanais, especialmente nas concentrações de 3% a 7%, promoveram aumentos significativos na altura das plantas (até 17,1%), no comprimento das raízes (até 54,8%) e no número de nós (até 120,2%). Além disso, foram observados aumentos nos teores de clorofilas, carotenóides, açúcares solúveis, amido e aminoácidos, indicando uma ampliação da atividade metabólica e fotossintética, com potencial impacto na produção de metabólitos secundários.

Resultados similares foram obtidos por Santini et al. (2022), que avaliaram hidrolisados de cianobactérias aplicados foliarmente em manjeriço. Os tratamentos proporcionaram aumentos de até 32% na biomassa total e 24% no número de folhas, superando inclusive os efeitos de bioestimulantes comerciais à base de *A. nodosum*. A atividade biológica observada foi atribuída ao elevado teor de carboidratos presentes nos hidrolisados, além da presença de compostos bioativos como fitohormônios, aminoácidos e antioxidantes naturais.

Adicionalmente, a aplicação de extratos de algas tem sido associada à indução de tolerância a estresses abióticos, como seca e altas temperaturas. Jamwal et al. (2025) relataram que o uso foliar de extrato da alga vermelha *Solieria chordalis* (7,5 mL L⁻¹) aumentou em 63,4% a biomassa e em 71,4% o teor de óleo essencial de manjeriço, além de elevar os teores de compostos bioativos como eugenol, metil eugenol e metil cinamato — componentes com alto valor terapêutico e comercial. Esses resultados reforçam o papel dos bioestimulantes de algas na promoção do desempenho produtivo e na resiliência de plantas aromáticas cultivadas sob condições adversas.

Assim, a aplicação de extratos de algas marinhas representa uma ferramenta agronômica estratégica para o aumento sustentável da produtividade e da qualidade de plantas aromáticas. A combinação entre efeito bioestimulante, indução de resistência e melhoria na síntese de metabólitos secundários confere a esses extratos um papel fundamental em sistemas agrícolas que buscam reduzir o uso de insumos sintéticos e agregar valor ao produto final.

8. Conclusão

O manjeriço é uma planta aromática de grande importância agronômica e econômica, amplamente valorizada por seu óleo essencial. Entre as estratégias sustentáveis para melhorar sua produtividade e qualidade, destaca-se o uso de extratos de algas marinhas como bioestimulantes naturais.

Esses extratos têm demonstrado resultados consistentes no estímulo ao crescimento vegetal, no aumento do rendimento e na modulação da composição química do óleo essencial, elevando os teores de compostos como linalol, eugenol e metil chavicol. Além disso, favorecem a tolerância da planta a estresses ambientais, como seca e altas temperaturas, o que contribui para maior estabilidade produtiva.

Dessa forma, o uso de extratos de algas representa uma alternativa promissora e viável no cultivo do manjeriço, especialmente em sistemas de base agroecológica. Ainda assim, estudos complementares são necessários para aprofundar o conhecimento sobre seus mecanismos de ação e para definir protocolos de aplicação mais eficientes e adaptados às diferentes condições de cultivo.

9. Referências

- BOKSZCZANIN, K. L. et al. Seaweed Extracts (*Ascophyllum nodosum*) as Biostimulants in Horticulture. **Plants**, v. 11, n. 1, p. 4, 2022.
- CAROVIĆ-STANKO, K. et al. Genetic diversity of basil (*Ocimum basilicum* L.) and related species revealed by AFLP markers. **Plant Systematics and Evolution**, v. 285, p. 13–22, 2010.
- CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 371–393, 2011.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015.
- DUARTE, M. E. M. et al. Seaweed extracts as elicitors of plant defense responses: An overview. **Journal of Applied Phycology**, v. 32, p. 3775–3795, 2020.
- EL MODAFAR, C. et al. Seaweed extracts: A promising biostimulant for improving plant growth and resistance to biotic and abiotic stresses. **Plants**, v. 10, p. 1239, 2021.
- ELANSARY, H. O. et al. Bioactivity, volatile and phytochemical analyses of essential oils from aromatic plants. **Food Chemistry**, v. 210, p. 570–577, 2016.
- ELANSARY, H. O. et al. Enhancing mint and basil oil composition and antibacterial activity using seaweed extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 92, p. 50–56, 2016. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.07.048.
- GONÇALVES, S. et al. Essential oils as bioactive compounds: A review. **Natural Product Communications**, v. 12, n. 8, p. 1357–1370, 2017.
- GRAYER, R. J. et al. Chemotaxonomy of sweet basil (*Ocimum basilicum*) cultivars. **Phytochemistry**, v. 43, p. 1033–1039, 1996.
- HOLMES, E. et al. Essential oil variability in *Ocimum basilicum* L. grown under controlled environments. **Industrial Crops and Products**, v. 158, 112985, 2020.
- JAMWAL, S. et al. Enhancing growth, yield, essential oil content, and composition of holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.) using red algae-based biostimulant under acidic conditions of the Western Himalayas. **BMC Plant Biology**, v. 25, p. 84, 2025. DOI: 10.1186/s12870-025-06064-1.
- KHAN, W. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, p. 386–399, 2009.
- KIFLE, D.; LAKEW, B. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil of *Ocimum basilicum* L. grown in Ethiopia. **African Journal of Plant Science**, v. 14, n. 4, p. 152–158, 2020.
- MARTINS, A. P. et al. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Ocimum basilicum* cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 51, p. 1–7, 2014.

MOHAMED, A. A.; ALI, S. I. Seaweed extract improves growth, yield and essential oil productivity of *Thymus vulgaris* L. **Acta Ecologica Sinica**, v. 40, n. 4, p. 290–296, 2020.

NUNES, A. et al. A biostimulant from *Kappaphycus alvarezii* enhances the growth and development of basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. **Horticulturae**, v. 11, p. 424, 2025. DOI: 10.3390/horticulturae11040424.

PATON, A.; HARLEY, R. M.; HARLEY, M. M. *Ocimum*: an overview of classification and relationships. In: HOREMANS, S. (ed.). *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*. London: Harwood Academic Publishers, 1999. p. 1–38.

RAHIMI, A. et al. Impact of biostimulants on the essential oil yield and composition in aromatic plants: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 154, 112731, 2020.

RODRIGUES, E. T. et al. Cultivo de manjeriço em diferentes regimes de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 286–290, 2013.

SANTINI, G. et al. Effects of cyanobacterial-based biostimulants on plant growth and development: a case study on basil (*Ocimum basilicum* L.). **Journal of Applied Phycology**, v. 34, p. 2063–2073, 2022. DOI: 10.1007/s10811-022-02781-4.

SANGWAN, N. S. et al. Regulation of essential oil production in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 34, p. 3–21, 2001.

SHUKLA, P. S. et al. Application of seaweed extract improves drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* by modulating physiological and biochemical responses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, p. 1230–1240, 2019.

SIMON, J. E.; QUINN, J.; MURPHY, R. Basil: A source of essential oils. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Ed.). *Advances in New Crops*. Portland: Timber Press, 1990. p. 484–489.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increase growth and stress tolerance in container-grown citrus. **HortTechnology**, v. 21, p. 525–528, 2011.

VIUDA-MARTOS, M. et al. Chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory activity of essential oils from *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum majorana*. **Food Science and Technology International**, v. 17, p. 551–560, 2011.

CAPÍTULO II: Formas de aplicação do extrato de alga marinha (*Ascophyllum nodosum*): implicações no enraizamento, na eficiência fotossintética e rendimento do óleo essencial em *Ocimum basilicum*

Resumo

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta aromática de alta relevância agrônômica e funcional, amplamente utilizada nas indústrias alimentícia, cosmética e fitoterápica. Diante da crescente demanda por práticas sustentáveis no cultivo de plantas medicinais, os extratos de algas marinhas, como os derivados de *Ascophyllum nodosum*, têm sido explorados por seus efeitos bioestimulantes. Este estudo avaliou o impacto de diferentes formas de aplicação de extrato de *A. nodosum* (imersão das estacas por 24 h e pulverização pré-plantio) sobre o crescimento, os parâmetros bioquímicos e a eficiência fotoquímica de estacas de manjeriço. A imersão das estacas promoveu maior comprimento radicular, acúmulo de clorofila total, índice de balanço de nitrogênio e antocianinas, indicando ativação de rotas metabólicas ligadas ao crescimento e defesa antioxidante. Por outro lado, a pulverização das estacas antes do plantio elevou significativamente os valores de Y(PSII), Transporte de Eletron (ETR) e Uso da luz na fotossíntese (qP), além de reduzir a Dissipação da luz em forma de calor (NPQ), refletindo maior eficiência no uso da luz e menor necessidade de dissipação térmica. Os parâmetros estruturais Fv/Fm e Fv/Fo não foram afetados, indicando ausência de estresse fotossintético. Conclui-se que o extrato de *A. nodosum* é um promissor bioestimulante para o cultivo de manjeriço, com efeitos específicos conforme a via de aplicação. A imersão mostrou-se mais eficiente para promover respostas morfofisiológicas e bioquímicas, enquanto a pulverização estimulou a eficiência fotoquímica do fotossistema II. Esses resultados contribuem para definir estratégias de aplicação do extrato visando à produção de mudas mais vigorosas e eficientes, com potencial para uso em cultivos comerciais de manjeriço.

Palavras-chave: Estacas vegetativas, variáveis bioquímicas, bioestimulantes, reguladores fisiológicos, tecnologias sustentáveis na propagação.

1. INTRODUÇÃO

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta aromática de ampla importância econômica e cultural, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais devido à sua adaptabilidade e ao alto teor de compostos bioativos com propriedades medicinais e funcionais (CAROVIĆ-STANKO et al., 2010; SILVESTRE; PAULETTI, 2021). Por sua rápida taxa de crescimento, rusticidade e uso diversificado nas indústrias alimentícia, cosmética e fitoterápica, trata-se de uma espécie promissora para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis no cultivo de plantas aromáticas e medicinais.

Nos últimos anos, os extratos de algas marinhas têm se consolidado como uma alternativa viável e ecologicamente segura para o manejo sustentável das culturas, destacando-se pelo potencial de promover o crescimento vegetal, otimizar a fotossíntese e aumentar a tolerância das plantas a estresses abióticos (KHAN et al., 2009; EL MOKHTARI et al., 2019). Dentre esses bioestimulantes, o extrato de *Ascophyllum nodosum* uma alga parcialmente distribuída no Atlântico Norte tem ganhado destaque devido à sua composição química complexa e à eficácia fisiológica comprovada em diversas culturas.

Esse extrato é particularmente rico em substâncias bioativas como ácido algínico, laminarina, fucanos sulfatados, manitol, além de aminoácidos, vitaminas, minerais quelatados e fitormônios naturais, como auxinas, citocininas e ácido abscísico (KHAN et al., 2009; CRAIGIE, 2011). Tais compostos exercem efeitos moduladores sobre processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, estimulando a síntese de metabólitos secundários e compostos antioxidantes, o que pode resultar em melhorias na

qualidade funcional de plantas medicinais e aromáticas (SPANN; LITTLE, 2011; ELIA et al., 2021).

Diversos estudos relatam que a aplicação de extrato de *A. nodosum* promove o crescimento radicular e da parte aérea, eleva a eficiência fotoquímica do fotossistema II, induz mecanismos de defesa e regula a expressão gênica, contribuindo para maior resiliência e valor agrônômico das culturas (SHUKLA et al., 2019a).

A fluorescência da clorofila tem sido amplamente utilizada como uma técnica sensível e eficiente para monitorar a atividade fotossintética e detectar respostas das plantas a diferentes tratamentos agrônômicos e condições de estresse. Em especial, o parâmetro F_v/F_m , que expressa a eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII), é um dos mais confiáveis para identificar alterações precoces na fotoinibição e no funcionamento do aparato fotossintético (MAXWELL; JOHNSON, 2000).

Em estudos com culturas medicinais, como *Mentha piperita* e *Rosmarinus officinalis*, a aplicação de extratos de algas marinhas resultou em melhorias nos parâmetros de fluorescência, indicando maior estabilidade do PSII e maior eficiência na captação e utilização da energia luminosa (KARABULUT et al., 2020; VERNERI et al., 2021). Em *O. basilicum*, Iannelli et al. (2023) observaram aumento significativo nos valores de F_v/F_m e $Y(II)$ após aplicação de extrato de *A. nodosum*, refletindo em maior eficiência fotoquímica sob condições de cultivo protegido. Esses estudos sugerem que bioestimulantes à base de algas podem mitigar efeitos de estresses leves e otimizar a performance fotossintética da planta.

Diversos estudos destacam que o uso de extratos de algas marinhas pode induzir a síntese de compostos bioativos associados à defesa redox, como fenóis, flavonóides e carotenóides. Estudos com hortaliças folhosas e plantas aromáticas indicam que aplicações de extrato de *A. nodosum* aumentaram os valores de FRAP e DPPH,

sugerindo uma ativação do metabolismo secundário antioxidante (SIVAKUMAR et al., 2021; ELIA et al., 2021). Em manjeriço, González-González et al. (2022) relataram que tratamentos com bioestimulantes à base de algas resultaram em incremento nos teores de β -caroteno, além de elevação na atividade antioxidante, evidenciando uma resposta positiva na modulação do metabolismo de defesa da planta. Tais compostos não apenas atuam na proteção contra espécies reativas de oxigênio (EROs), mas também estão associados à qualidade funcional da biomassa vegetal.

O manjeriço destaca-se pelo alto teor e diversidade de óleo essencial, cujos rendimentos e composição podem ser modulados por práticas de cultivo e manejo (SIMÕES; SPITZER, 2016; KHAN et al., 2019). Nesse contexto, a aplicação de extratos de algas surge como alternativa promissora para potencializar a produção de óleo essencial em manjeriço (BOKHTIAR, 2020; PARAJULI et al., 2021). Jamwal et al. (2025) relataram que o uso do extrato da alga vermelha *Solieria chordalis* promoveu o aumento do teor de óleo essencial de manjeriço alterando os teores de compostos bioativos como eugenol, metil eugenol e metil cinamato.

Diante das evidências de que os extratos de algas marinhas podem influenciar positivamente parâmetros fisiológicos e bioquímicos em diversas espécies vegetais, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de extrato de alga marinha sobre o desempenho agrônômico, a eficiência fotoquímica da fotossíntese e a atividade antioxidante não enzimática em plantas de manjeriço.

2. MATERIAL E MÉTODOS

1. Material vegetal

O experimento foi instalado na Universidade Paranaense – UNIPAR, localizado em Umuarama-Pr. Estacas de 20 cm de manjeriço cultivar Manjeriço Grecco a Palla (Isla®) foram transplantadas em vasos plásticos de policloreto de vinila (PVC) com capacidade de 5 litros, contendo uma mistura de solo:vermiculita:areia (2:1:1v). As características químicas do substrato foram: pH de 6,2; matéria orgânica a 68,5 g dm⁻³; P (resina) a 305 mg dm⁻³; K trocável, Ca e Mg trocáveis a 10,6, 193 e 45,8 mmolc dm⁻³, respectivamente; acidez total em pH 7,0 (H+Al) de 17,2 mmolc dm⁻³; a, capacidade total de troca catiônica de 267,5 mmolc dm⁻³; e saturação por bases de 93%. Os vasos receberam irrigação diária durante todo o período experimental, para manter o solo úmido na capacidade de campo. Foram aplicados três tratamentos de acordo com a descrição na tabela 1. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e 8 repetições. As avaliações foram conduzidas decorridos 45 dias após o plantio.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos aplicados nas estacas de manjeriço.

Có dig o	Tratamento	Descrição
-------------------------	-------------------	------------------

T1	Testemunha (estacas de manjerição)	Estacas estacas de manjerição imersas em água destilada
T2	Extrato de Algas (4%) (estacas de manjerição imersas em extrato algas por 24h antes do plantio)	Produto comercial Superfifty®: BioAtlantis Nature Working Naturaly® da Irlanda
T3	Extrato Algas (4%) (estacas pulverizadas antes do plantio)	Produto comercial Superfifty®: BioAtlantis Nature Working Naturaly® da Irlanda

2. Análise Morfológica de crescimento

Foram medidas a comprimento da parte aérea (CPA) (cm) e do comprimento da raiz (CRA) (cm), com o auxílio de uma fita métrica. A massa fresca da parte aérea (MFPA) (g) e da raiz (MFRA) (g), foram pesados em balança analítica.

3. Análises bioquímicas

O teor de clorofila,  ndice de balanço de nitrogênio, flavonoides e antocianinas, foram determinados no terço médio das folhas em oito repetições de cada tratamento a partir do equipamento Dualex   Scientific (Force A, Orsay - França). A utilização do equipamento seguiu as recomendações descritas pela fabricante. O teor de clorofila, flavonoides e antocianinas foram expressos em $\mu\text{g cm}^2$.

4. Determinação de clorofila *a*, *b*, totais e carotenóides

A determinação de clorofilas *a*, *b*, totais e carotenóides das folhas frescas da cúrcuma foi realizado conforme a metodologia de Lichtenthaler (1987). A leitura das amostras foi realizada no aparelho Elisa Espectra Max Plus 384 (Molecular Devices[®], San Jose, USA) em microplacas de Elisa (96 poços), com três repetições biológicas em triplicata. Os resultados foram expressos em mg.gMF^{-1} .

5. Análises Fisiológicas

As avaliações fisiológicas foram conduzidas aos 45 dias após o plantio. A fluorescência da clorofila foi determinada utilizando um fluorômetro (Plant Kit Stress – Marconi[®]). As leituras da fase escura foram realizadas em folhas adaptadas ao escuro por 30 minutos. As variáveis avaliadas foram:

- Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m): expressa a eficiência potencial do PSII em folhas adaptadas ao escuro, calculada por $(F_m - F_o)/F_m$. Valores próximos de 0,83 indicam fotossistemas íntegros (BJORKMAN & DEMMIG, 1987).
- Rendimento quântico efetivo do PSII (Y/Φ_{PSII}): obtido por $(F_m' - F_t)/F_m'$, indica a fração da luz absorvida utilizada em reações fotoquímicas (GENTY et al., 1989).
- Taxa de transporte de elétrons (ETR): estimada com base em Φ_{PSII} , intensidade de luz e coeficientes específicos, refletindo a eficiência da fotossíntese (GEEL et al., 1997).
- Extinção fotoquímica (qP): $(F_m' - F_t)/(F_m' - F_o')$, indica a proporção de centros de reação PSII abertos (MAXWELL & JOHNSON, 2000).
- Extinção não fotoquímica (NPQ): $(F_m^o - F_m')/F_m'$, reflete a dissipação térmica da energia excedente como mecanismo fotoprotetor (WALTERS & HORTON, 1991).
- Eficiência inicial do fotossistema (F_v/F_o): razão entre fluorescência variável e mínima ($F_v/F_o = (F_m - F_o)/F_o$), identifica danos fotoquímicos e integridade do aparato fotossintético (BAKER & ROSENQVIST, 2004).

- Relação entre fluorescência mínima e máxima (F_0/F_m): proporção inversa da eficiência do fotossistema, sensível a estresses ambientais (YAMANE et al., 1997).

6. Extração e rendimento do óleo essencial

A obtenção do óleo essencial - OE de faz folhas de manjeriço foi realizada conforme metodologia de Ribeiro et al. (2010). O processo de extração foi realizado a partir do método de hidrodestilação, em que 100 g.L⁻¹ de folhas secas naturalmente e permaneceram durante um período de três horas em aparelho Clevenger modificado. O óleo obtido foi retirado do equipamento utilizando solvente *n*-hexano, e em seguida foi filtrado em sulfato de sódio anidro (Na₂SO₄) e mantido sob refrigeração até total evaporação do solvente (-4 °C) (Brasil, 2010). O rendimento do óleo essencial (base seca) foi calculado em triplicata pela massa do extrato bruto obtido (g) dividido pela massa da matéria vegetal (rizomas) (g), multiplicado por 100 e expresso em percentual (BRASIL, 2010).

7. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e para comparação das médias dos tratamentos o teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas no ambiente R (R Studio), utilizando os pacotes stats e ggplot2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes formas de aplicação do extrato de algas *A. nodosum* influenciaram significativamente o crescimento das estacas de manjeriço, dependendo do método empregado (Figura 1).

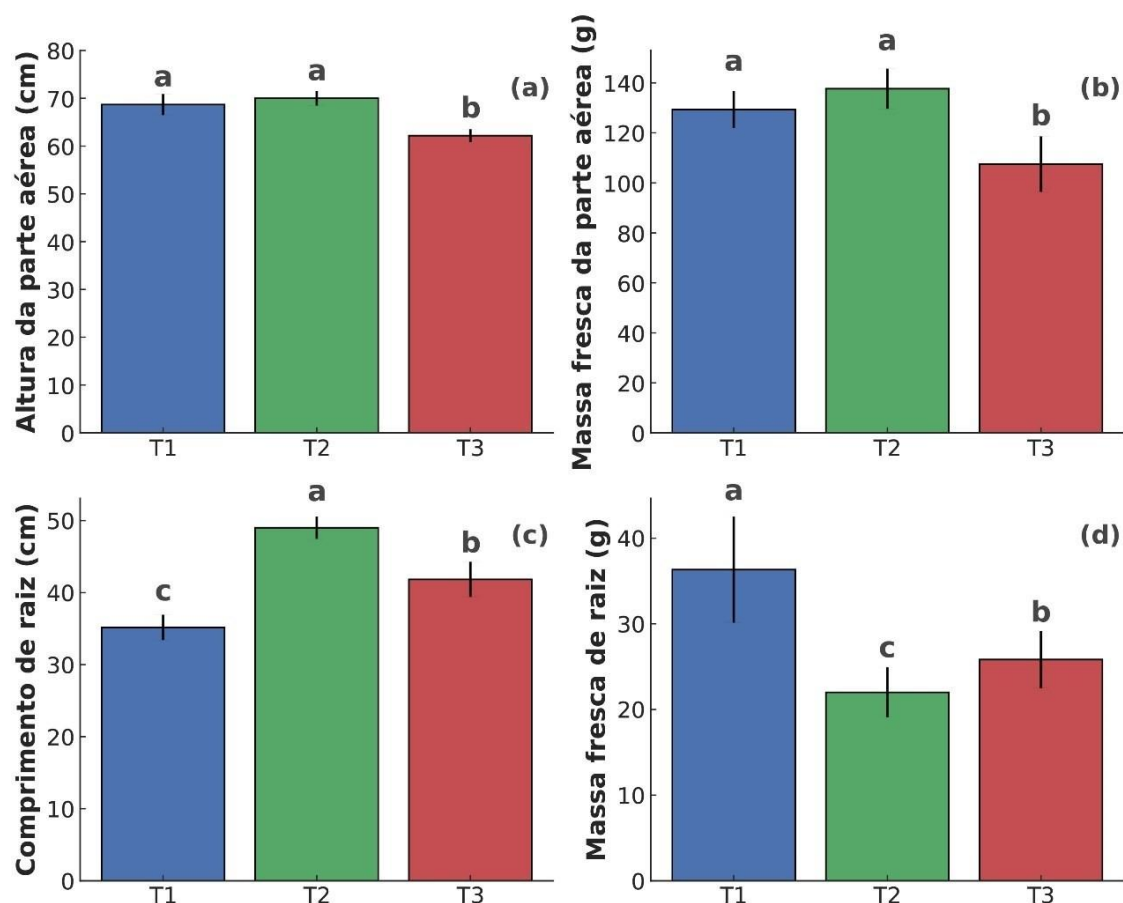


Figura 1. Efeito da aplicação de extrato de alga marinha sobre variáveis agrônômicas de estacas de manjerição. (a) Altura da parte aérea (cm), (b) Massa fresca da parte aérea (g), (c) Comprimento de raiz (cm) e (d) Massa fresca de raiz (g). As barras representam a média \pm desvio padrão ($n = 6$). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. T1 = testemunha; T2 = imersão das estacas por 24 horas em extrato de alga; T3 = pulverização das estacas 30 minutos antes do plantio.

Em relação à altura de plantas (Figura 1a), não foram detectadas diferenças significativas entre T1 e T2. Por outro lado, o tratamento T3 resultou em uma redução significativa da altura das plantas.

Para a massa fresca da parte aérea (Figura 1b), foi observado um padrão semelhante para os tratamentos T1 e T2, enquanto T3 apresentou menor acúmulo de biomassa. Essa resposta no tratamento T3, pode ser atribuída a uma fitotoxicidade temporária ou à baixa eficiência na absorção pelas estacas, comprometendo o equilíbrio hormonal necessário à brotação e ao desenvolvimento inicial (ALI et al., 2021).

A imersão das estacas por 24 horas (T2) favoreceu o comprimento das raízes (Figura 1c), o que pode estar relacionado à ação direta de fitormônios presentes no extrato, particularmente as auxinas, associadas ao estímulo e alongamento celular e o

desenvolvimento radicular (CALVO et al., 2014; ELANSARY et al., 2022). Contudo, o tratamento T2 não resultou em maior acúmulo de biomassa radicular (Figura 1d), indicando que, embora o crescimento em comprimento tenha sido estimulado, não houve um aumento proporcional no acúmulo da biomassa radicular. Resultados semelhantes foram relatados por Stirk e van Staden (2006), destacando que bioestimulantes à base de algas podem promover crescimento radicular inicial sem necessariamente refletir em aumento expressivo de massa fresca, devido possivelmente a uma priorização energética da alongação celular.

O tratamento controle (T1) apresentou maior biomassa radicular apesar do menor comprimento das raízes, sugerindo uma menor distribuição energética ao longo das raízes, resultando em raízes mais curtas, porém mais densas, que se acumulam na porção superficial do solo. Esses resultados são coerentes com os achados de Canellas e Olivares (2015), que reportaram maior concentração de biomassa em raízes não tratadas com estímulos externos em comparação às tratadas com bioestimulantes.

Por outro lado, o tratamento por pulverização (T3) resultou em desempenho inferior em todas as variáveis avaliadas, sugerindo uma possível inibição inicial do crescimento radicular e aéreo, talvez por baixa absorção do extrato pelas estacas ainda não enraizadas. Essas diferenças nos resultados podem ser explicadas pela capacidade diferencial dos tecidos vegetais em absorver e transportar compostos bioativos provenientes dos extratos de alga. Estacas em imersão prolongada tendem a absorver maiores quantidades de substâncias promotoras de crescimento, especialmente em regiões meristemáticas, o que pode explicar o estímulo inicial ao crescimento radicular observado no T2 (CALVO et al., 2014).

A aplicação de extrato de alga marinha *Ascophyllum nodosum* influenciou significativamente as variáveis bioquímicas avaliadas nas estacas de manjeriço, principalmente àquelas variáveis relacionadas ao metabolismo nitrogenado e à biossíntese de pigmentos fotossintéticos e secundários (Figura 2).

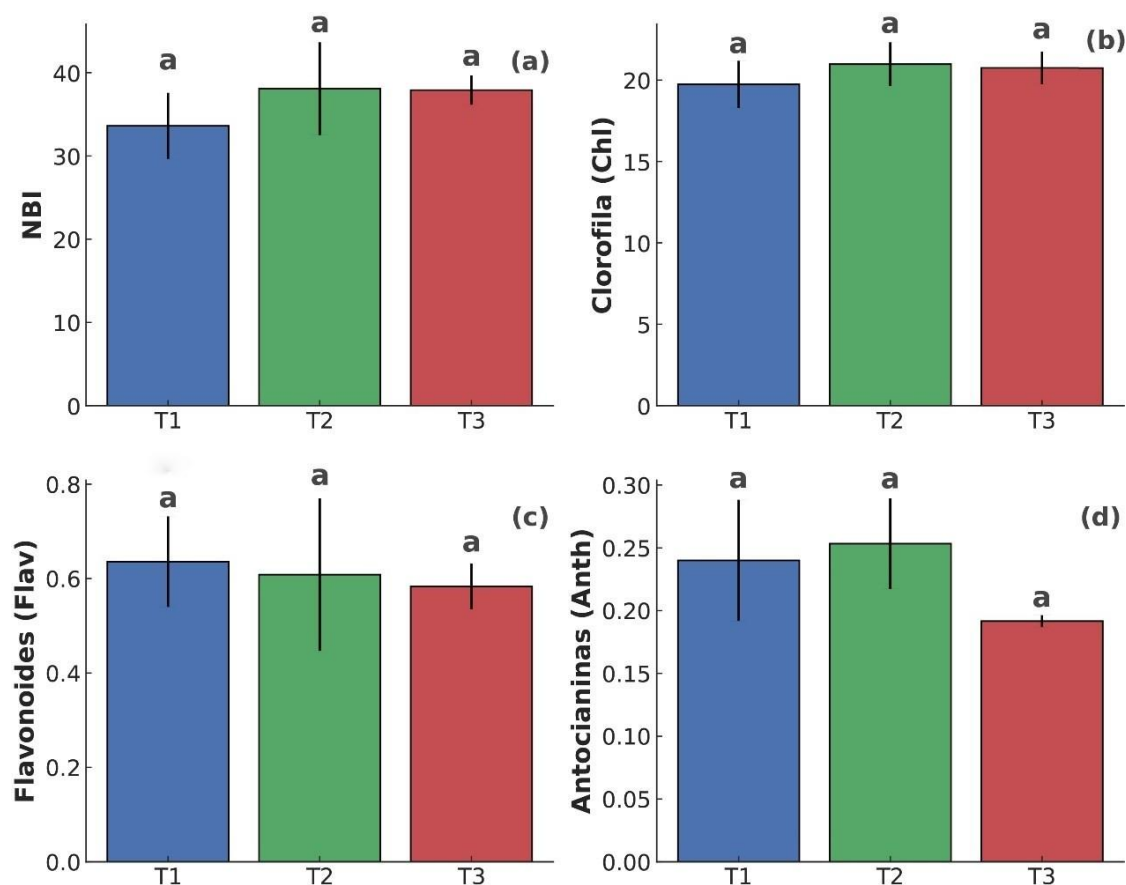


Figura 2. Efeito da aplicação de extrato de alga marinha sobre parâmetros bioquímicos de estacas de manjericão. (a) Índice de Balanço de Nitrogênio (NBI), (b) Clorofila total ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), (c) Flavonoides ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), e (d) Antocianinas ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). As barras representam a média \pm desvio padrão ($n = 6$). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. T1 = testemunha; T2 = imersão das estacas por 24 horas em extrato de alga; T3 = pulverização das estacas 30 minutos antes do plantio

O Índice de Balanço de Nitrogênio (NBI) foi significativamente maior no tratamento com imersão das estacas por 24 horas (T2) (Figura 2a). Esse aumento pode estar relacionado a uma maior eficiência na assimilação e utilização do nitrogênio, possivelmente devido à presença de compostos bioativos no extrato, como aminoácidos e oligossacarídeos, conhecidos por estimularem enzimas-chave no metabolismo nitrogenado e na síntese proteica (CALVO et al., 2014; ROUPHAEL et al., 2018).

Adicionalmente, o aumento significativo nos teores de clorofila total observado em T2 e T3 (Figura 2b) pode ser explicado pela presença de citocininas e polissacarídeos sulfatados no extrato de alga, compostos que favorecem a biossíntese e estabilização de pigmentos fotossintéticos, melhorando a eficiência do aparato fotossintético e potencializando o crescimento vegetal (ROUPHAEL et al., 2018; ELANSARY et al., 2022). Esses resultados corroboram com estudos prévios que relataram aumentos significativos nos níveis de clorofila após aplicação de bioestimulantes derivados de algas em outras espécies vegetais (SHARMA et al., 2019).

Em contrapartida, a redução acentuada no conteúdo de flavonoides observada nos tratamentos com extrato (T2 e T3) (Figura 2c) pode indicar uma diminuição da demanda por compostos antioxidantes secundários devido à mitigação do estresse oxidativo promovido pelo extrato (AGATI et al., 2012; SHARMA et al., 2019). Os flavonoides são reconhecidos por sua função antioxidante e costumam ser acumulados em maiores quantidades sob condições estressantes (SHARMA et al., 2019; AGATI et al., 2012).

Foi observado um significativo aumento nos níveis de antocianinas no tratamento T2 (Figura 2d). As antocianinas desempenham múltiplas funções adaptativas, incluindo proteção contra danos oxidativos e regulação de respostas ao estresse abiótico e biótico (ZHANG et al., 2019). Esse acúmulo diferencial sugere que a imersão prolongada das

estacas no extrato de alga potencializa especificamente rotas metabólicas ligadas à síntese dessas moléculas, possivelmente devido à absorção mais eficiente e duradoura dos compostos bioativos do extrato pelas estacas (CALVO et al., 2014; ROUPHAEL et al., 2018).

Esses resultados destacam a importância da forma de aplicação dos bioestimulantes. A imersão prolongada permite uma interação mais intensa e eficaz entre os compostos ativos presentes no extrato e os tecidos vegetais, resultando em respostas bioquímicas benéficas ao desenvolvimento inicial das plantas.

Os resultados obtidos demonstram que a aplicação do extrato de *A. nodosum* não promoveu aumento no conteúdo de pigmentos fotossintéticos em estacas de manjeriço, sendo o tratamento por imersão (T2) o que apresentou os menores valores de clorofila *a*, clorofila total e carotenoides (Tabela 2). Esse padrão pode estar associado a um efeito da exposição prolongada ao extrato, levando a um desbalanço osmótico e metabólico que inibiu parcialmente a biossíntese de pigmentos.

Tabela 2. Conteúdo dos pigmentos fotossintetizantes, clorofila *a* (mg.gMF⁻¹), clorofila *b* (mg.gMF⁻¹), clorofila total (mg.gMF⁻¹) e carotenoides (mg.gMF⁻¹) em função dos tratamentos em estacas de manjeriço tratadas com extrato de *Ascophyllum nodosum*.

Trat	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Carotenoides
T1	0.573 ± 0.001 a*	0.364 ± 0.004 a	0.957 ± 0.003 a	0.278 ± 0.001 a
T2	0.505 ± 0.007 b	0.297 ± 0.016 a	0.891 ± 0.013 b	0.217 ± 0.014 b
T3	0.553 ± 0.003 a	0.296 ± 0.006 a	0.910 ± 0.007 b	0.238 ± 0.004 b

*Os valores indicam a média ±desvio padrão (n = 3). Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas entre os tratamentos (p < 0,05) pelo teste de Tukey e ns: não significativo na linha. T1 = testemunha; T2 = imersão das estacas por 24 horas em extrato de alga; T3 = pulverização das estacas 30 minutos antes do plantio.

Resultados semelhantes já foram relatadas, em que doses elevadas de bioestimulantes resultaram em efeito inibitório sobre a fotossíntese (SHUKLA et al., 2019b ; CARVALHO et al., 2021). A pulverização pré-plantio (T3) mostrou efeito menos drástico, mantendo níveis de clorofila *a* semelhantes ao controle, mas ainda com reduções em clorofila total e carotenoides, sugerindo que a rápida absorção foliar não foi suficiente para estimular a pigmentogênese nesse estágio inicial. Por outro lado, o controle (T1) apresentou os maiores valores, indicando que as estacas mantêm o metabolismo basal de pigmentos sem necessidade de estímulo externo. A ausência de diferenças na clorofila *b* reforça sua maior estabilidade metabólica, uma vez que está diretamente ligada à composição estrutural dos complexos antena do fotossistema II. Esses resultados sugerem que, nas condições avaliadas, o extrato de *A. nodosum* pode ter redirecionado o metabolismo das estacas para processos de enraizamento e defesa, em detrimento da síntese de pigmentos fotossintéticos, o que reforça a necessidade de ajustes de dose e modo de aplicação para explorar adequadamente os efeitos benéficos do extrato de alga (KHAN et al., 2009; SHUKLA et al., 2019; CARVALHO et al., 2021).

A análise das variáveis de fluorescência da clorofila evidencia que a pulverização do extrato de *A. nodosum* sobre as estacas antes do plantio influencia diretamente a eficiência fotoquímica e o balanço energético em estacas de manjeriço (Tabela 3).

Tabela 3. Variáveis de fluorescência da clorofila em estacas de manjeriço tratadas com extrato de *Ascophyllum nodosum*. Potencial de fotossistema II (Fv/Fo), Eficiência máxima da fotossíntese (Fv/Fm), Rendimento fotossintético efetivo (Y), Taxa de transferência de elétron (ETR), Coeficiente de quenching fotossintético (qp), Quenching não fotossintético (NPQ), Relação entre a fluorescência inicial e máxima (Fo/Fm)

Parâmetros	T1	T2	T3
Fv/Fo	4.64 ± 0.22 ns*	4.60 ± 0.21	4.89 ± 0.27
Fv/Fm	0.82 ± 0.01 ns	0.81 ± 0.01	0.82 ± 0.01
Y	0.17 ± 0.06 b	0.16 ± 0.05 b	0.33 ± 0.15 a
ETR	74.56 ± 2.61 a	65.60 ± 5.61 b	75.57 ± 4.85 a
qp	0.18 ± 0.06 b	0.15 ± 0.04 b	0.40 ± 0.11 a
NPQ	7.25 ± 1.66 a	7.87 ± 1.64 a	4.75 ± 0.94 b
Fo/Fm	0.18 ± 0.01 ns	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01

Os valores indicam a média ± desvio padrão (n = 6). Letras diferentes na linha indicam diferenças significativas entre os tratamentos (p < 0,05) pelo teste de Tukey e ns: não significativo na linha. T1 = testemunha; T2 = imersão das estacas por 24 horas em extrato de alga; T3 = pulverização das estacas 30 minutos antes do plantio.

Apesar da ausência de diferenças significativas nas variáveis Eficiência máxima da fotossíntese (Fv/Fm) e Potencial de fotossíntese II (Fv/Fo), o que indica preservação da integridade estrutural dos fotossistemas, alterações significativas foram observadas em parâmetros funcionais como Y(PSII), ETR, qp e NPQ.

O tratamento com pulverização do extrato (T3) promoveu os maiores valores de rendimento quântico efetivo do fotossistema II [Y(PSII)], taxa de transporte de elétrons (ETR) e coeficiente de dissipação fotoquímica (qp), sugerindo um aprimoramento na conversão de energia luminosa em energia química. Simultaneamente, o menor valor de Quenching não fotossintético (NPQ) em T3 indica menor necessidade de dissipação térmica da energia excedente, refletindo um sistema fotossintético mais

eficiente e menos suscetível ao estresse por excesso de luz. Essas respostas estão de acordo com Craigie (2011), que relata que os compostos bioativos do extrato de *A. nodosum*, como polissacarídeos, citocininas e betainas, podem modular a atividade do fotossistema II e otimizar a eficiência energética.

Esse padrão de resposta também foi observado por Santaniello et al. (2017), ao demonstrarem que a aplicação de extrato de *A. nodosum* em tomate promoveu maior eficiência fotoquímica e tolerância ao estresse. Elansary et al. (2022) reforçam que a ação de bioestimulantes marinhos está associada à ativação de vias fisiológicas que favorecem o desempenho fotossintético e o acúmulo de biomassa.

A ausência de alterações nos parâmetros estruturais da fluorescência (F_v/F_m e F_v/F_o) reforça a segurança fisiológica da aplicação do extrato, enquanto os ganhos funcionais observados em T3 destacam o potencial da pulverização sobre as estacas antes do plantio como estratégia eficiente para promover fotossíntese ativa em estágios iniciais de desenvolvimento. Esses resultados indicam que a pulverização do extrato de *A. nodosum* sobre as estacas antes do plantio pode ser uma ferramenta eficiente para otimizar o desempenho fotossintético de estacas de manjeriço, contribuindo para o vigor inicial e favorecendo o sucesso do enraizamento e estabelecimento das mudas.

O teor de óleo essencial variou de 1,25 a 2,68%, com médias de 2,08% (T1), 1,48% (T2) e 2,45% (T3) (Figura 3). Nesse sentido, verificou-se que a pulverização de extrato de alga antes do plantio (T3) promoveu um incremento no acúmulo de óleo essencial em comparação à imersão das estacas (T2). O tratamento controle (T1) apresentou resposta intermediária, sugerindo que os diferentes modos de aplicação do extrato de *A. nodosum* afetam de forma distinta a biossíntese e o acúmulo de metabólitos secundários no manjeriço.

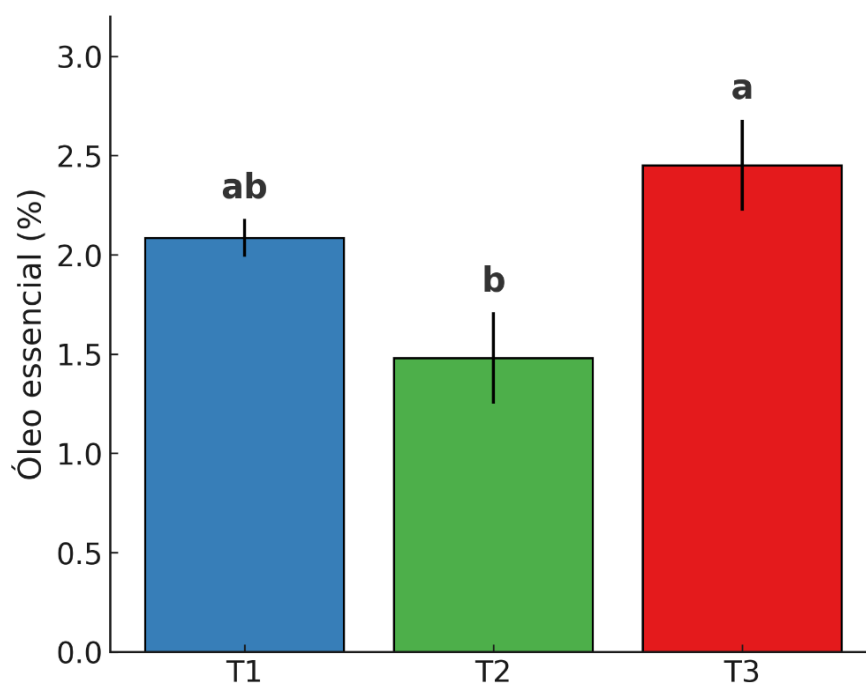


Figura 3. Efeito da aplicação de extrato de alga marinha no rendimento do óleo essencial (%). As barras representam a média \pm desvio padrão (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. T1 = testemunha; T2 = imersão das estacas por 24 horas em extrato de alga; T3 = pulverização das estacas 30 minutos antes do plantio

Resultados semelhantes foram encontrados em estudos prévios, no qual reportaram um efeito positivo do extrato de *A. nodosum* sobre a produção de óleo essencial em *O. basilicum* (ELANSARY et al., 2016). O aumento do teor de óleo essencial observado no tratamento pulverizado com extrato de *A. nodosum* (T3) pode estar associado à ação dos compostos bioativos presentes no extrato, como fitohormônios (auxinas, citocininas e giberelinas), aminoácidos, betainas e polissacarídeos sulfatados. Esses compostos atuam como moduladores do metabolismo secundário, estimulando vias de biossíntese relacionadas à produção de terpenoides, que constituem a maior parte dos óleos essenciais em *Ocimum spp.* (KHAN ET al., 2009; CRAIGIE, 2011; ELANSARY et al., 2016).

Além disso, o extrato de alga pode melhorar a eficiência fotossintética (Tabela 4) contribuindo para a assimilação de carbono, aumentando a disponibilidade de precursores (como piruvato e gliceraldeído-3-fosfato) para a via do metileritritol fosfato (MEP) e do mevalonato (MVA), fundamentais para a síntese de monoterpenos e sesquiterpenos (SHUKLA et al., 2019; SANTINI et al., 2022). Isso explicaria o maior acúmulo de óleo essencial no tratamento T3. No entanto, a resposta diferenciada entre os métodos de aplicação observada neste trabalho reforça que o modo de fornecimento do bioestimulante pode ser determinante para a magnitude da resposta fisiológica e bioquímica.

4. Conclusão

A aplicação de extrato de *A. nodosum* exerceu efeitos distintos sobre estacas de manjerição, dependendo do modo de aplicação. A imersão das estacas por 24 horas (T2) favoreceu o crescimento radicular e estimulou o acúmulo de clorofila total, índice de balanço de nitrogênio e antocianinas, indicando ativação de rotas metabólicas ligadas ao enraizamento e à defesa antioxidante. Em contrapartida, a pulverização pré-plantio (T3) não promoveu ganhos no crescimento inicial, mas resultou em melhorias significativas nos parâmetros fotoquímicos, como Y(PSII), ETR e qp, e ainda promoveu o aumento do rendimento de óleo essencial, mostrando uma maior eficiência no aproveitamento da energia luminosa e estímulo ao metabolismo secundário associado à produção de terpenoides.

Desta forma, a escolha da forma de aplicação deve considerar o objetivo agrônomico: a imersão é mais indicada para promover vigor radicular e qualidade fisiológica inicial, enquanto a pulverização favorece maior eficiência fotossintética e incremento na qualidade funcional, por meio do aumento do teor de óleo essencial.

Portanto, o uso de extrato de algas marinhas representa uma ferramenta sustentável e promissora para o cultivo de manjeriço, devendo ser explorado em protocolos específicos de manejo que maximizem tanto a produtividade quanto a qualidade funcional das plantas, contribuindo para o avanço de práticas agrícolas sustentáveis e de alto valor agregado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES e à UNIPAR pelo apoio financeiro e pelas bolsas concedidas, que possibilitaram a realização deste trabalho de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

AGATI, G.; AZZARELLO, E.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M. Flavonoids as

- antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Science*, v. 196, p. 67–76, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014>.
- ALI, O.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAMAN, J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, v. 10, n. 3, p. 531, 2021.
- ASTORGA, C. et al. Biochemical and physiological responses of basil (*Ocimum basilicum* L.) to seaweed extract treatment under drought stress. *Scientia Horticulturae*, v. 252, p. 147–153, 2019.
- BARBOSA, L. C. A. et al. Influence of the season on the composition of the essential oil from leaves and inflorescences of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown. *Journal of Essential Oil Research*, v. 20, n. 1, p. 61–65, 2008.
- BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. *Handbook of essential oils: science, technology, and applications*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.
- BEATOVIĆ, D. et al. Composição química, atividades antioxidante e antimicrobiana dos óleos essenciais de doze cultivares de *Ocimum basilicum* L. cultivados na Sérvia. *Records of Natural Products*, v. 9, n. 1, p. 62–75, 2015.
- BOKSZCZANIN, K. L. et al. Seaweed-derived biostimulants in agriculture: recent advances and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2022.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Farmacopeia Brasileira*. 5. ed. Brasília: Anvisa, 2010.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, v. 383, n. 1–2, p. 3–41, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 15–27, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>.
- CAMPOS, D. A. et al. *Marine algae* as a potential source for skin applications: a review. *Marine Drugs*, v. 18, n. 12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/md18120497>.
- CAROVIĆ-STANKO, K. et al. Composition and antibacterial activities of essential oils of seven *Ocimum* taxa. *Food Chemistry*, v. 119, n. 1, p. 196–201, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.021>.
- CAROVIĆ-STANKO, K. et al. Morphological and biochemical diversity of basil (*Ocimum basilicum* L.) germplasm from Croatia. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v. 57, n. 3, p. 443–454, 2010.
- CARVALHO, M. E. A. et al. Seaweed extracts in agriculture: From plant biostimulation to the development of bioproducts. *Agronomy*, v. 11, n. 7, p. 1448, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11071448>
- COLLA, G. et al. Biostimulant action of protein hydrolysates: unraveling their effects on plant physiology and root growth. *Acta Horticulturae*, v. 1100, p. 225–232, 2015.
- CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, n. 3, p. 371–393, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>.

DE FREITAS, W. A.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, Y. M. M. Photochemical efficiency and gas exchange in watermelon plants under irrigation strategies. *Scientia Agricola*, v. 78, n. 3, e20190234, 2021.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 3–14, 2015.

DUARTE, L. M. L. et al. Seaweed extract as elicitor of defense responses in plants. *Agronomy*, v. 10, n. 3, p. 452, 2020.

ELANSARY, H. O. et al. Seaweed extracts enhance primary and secondary metabolic compounds in *Mentha* species. *Industrial Crops and Products*, v. 92, p. 50–56, 2016.

ELANSARY, H. O. et al. Effects of cyanobacterial-based biostimulants on plant growth and bioactive compounds. *Journal of Applied Phycology*, v. 34, p. 1943–1954, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02781-4>

EL MODAFAR, C. et al. Plant defense mechanisms induced by seaweed extracts. *Plants*, v. 10, n. 2, p. 193, 2021.

EL MOKHTARI, K. et al. Extração e composição do óleo essencial de *Ocimum basilicum* coletado no Marrocos. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*, v. 1, n. 2, p. 189–194, 2019.

FITTON, J. H. Therapies from fucoidan: multifunctional marine polymers. *Marine Drugs*, v. 9, n. 10, p. 1731–1760, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/md9101731>.

GONÇALVES, S.; MOREIRA, J.; SANTOS, P. A. et al. Essential oils of aromatic and medicinal plants: quality and analytical challenges. *Current Pharmaceutical Analysis*, v. 13, n. 3, p. 231–244, 2017.

GRAYER, R. J. et al. Variation in the essential oil composition within and between populations of *Ocimum basilicum*. *Phytochemistry*, v. 43, n. 5, p. 1033–1039, 1996.

HAYASHI, S. et al. Effects of seaweed extract on the growth and essential oil composition of *Mentha piperita* under water stress. *Environmental and Experimental Botany*, v. 178, p. 104152, 2020.

HOLMES, M. et al. Chemotypic variation in *Ocimum basilicum* L. and implications for quality control of essential oils. *Industrial Crops and Products*, v. 144, 112068, 2020.

ILIĆ, A. S. et al. Composição química dos óleos essenciais de três cultivares de *Ocimum basilicum* L. da Sérvia. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 47, n. 1, p. 250–254, 2019.

ISHIMOTO, K. et al. The ecological roles of plant volatile compounds in interactions with herbivores and pathogens. *Plant Molecular Biology*, v. 86, p. 479–489, 2014.

JAMWAL, S. et al. Enhancing growth, yield, essential oil content, and composition of holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.) using red algae-based biostimulant under acidic conditions of the Western Himalayas. *BMC Plant Biology*, v. 25, p. 84, 2025. DOI: [10.1186/s12870-025-06064-1](https://doi.org/10.1186/s12870-025-06064-1).

KHAN, W. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 28, n. 4, p. 386–399, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>.

KIFLE, M. H.; LAKEW, B. B. Chemical composition and biological activities of essential oil of *Ocimum basilicum* L.: a review. *Journal of Essential Oil Research*, v. 32, n. 6, p. 507–520, 2020.

KOCIRA, A. et al. Effect of seaweed extracts on plant growth and stress tolerance. *Biological Research*, v. 51, p. 47, 2018.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In: DOUCE, R.; PACKER, L. (org.). *Methods in enzymology*. New York: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350-382.

MARTINS, A. P. R. et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from three *Ocimum* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 94, n. 8, p. 1687–1694, 2014.

MOHAMED, H. I.; ALI, E. F. Seaweed extract improves the growth, biochemical contents, antioxidant system and essential oil components of *Thymus vulgaris* under salt stress. *Industrial Crops and Products*, v. 124, p. 188–195, 2020.

PATON, A.; HARLEY, R. M.; HARLEY, M. M. *Ocimum*: an overview of classification and relationships. In: HLAWATI, E. et al. (Org.). *Medicinal and Aromatic Plants—Industrial Profiles: Basil: The Genus Ocimum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1999. p. 1–38.

PESSARAKLI, M. *Handbook of plant and crop physiology*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

RAHIMI, A. et al. Essential oil yield and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under organic and conventional fertilization regimes. *Industrial Crops and Products*, v. 150, 112407. 2020.

RENGASAMY, K. R. R.; KULKARNI, M. G.; VAN STADEN, J. Plant biostimulants: an overview on the roles, mechanisms and applications in sustainable agriculture. *South African Journal of Botany*, v. 100, p. 1–10, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.003>.

RIBEIRO, D. I. et al. Determinação da atividade antifúngica dos óleos essenciais de *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae) e de *Achillea millefolium* (Asteraceae) cultivadas no Noroeste do Paraná. *Arquivos de Ciência e Saúde da UNIPAR*, Umuarama, v. 14, p. 103-109, 2010.

ROUPHAEL, Y. et al. High-throughput plant phenotyping for developing novel biostimulants: From lab to field or from field to lab? *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1197, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01197>.

RODRIGUES, W. S. et al. Crescimento e produção de óleo essencial de manjeriço sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 15, n. 1, p. 123–128, 2013.

SANTANIELLO, A. et al. Application of plant biostimulants as a tool in mitigating the negative effects of abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, 2017.

SANTANIELLO, A. et al. *Ascophyllum nodosum* extract improves drought tolerance in *Arabidopsis* by activating antioxidant defense and enhancing photosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, 1362, 2017.

SANTINI, G. et al. Effects of cyanobacterial-based biostimulants on plant growth and development: a case study on basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, v. 34, n. 4, p. 2063–2073, 2022.

SHARMA, H. S. S. et al. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, n. 1, p. 465–490, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0101-9>.

SHARMA, H. S. S. et al. Plant biostimulants: seaweed extracts. In: *Biostimulants in Agriculture*. p. 59–92, 2014.

SHARMA, H. S. S. et al. Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p. 465–490, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0101-9>.

SHUKLA, P. S. et al. Seaweed-based biostimulants: sustainable crop production under abiotic stress conditions. *Plants*, v. 8, n. 11, p. 431, 2019.

SHUKLA, P. S. et al. Seaweed extract improves drought tolerance of soybean by regulating stress-responsive genes. *AoB Plants*, v. 11, n. 4, plz021, 2019.

SILVESTRE, W. P.; PAULETTI, G. F. Avaliação do rendimento de extração e composição química do óleo essencial de cinco variedades comerciais de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). *Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 6, n. 10, p. 44–50, 2021.

SIMON, J. E.; QUINN, J.; MURPHY, R. L. Basil: a source of essential oils. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Org.). *Advances in new crops*. Portland: Timber Press, 1990. p. 484–489.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of seaweed extract in agriculture. *University of Florida IFAS Extension Bulletin*, 2011.

STEYN, W. J. et al. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist*, v. 155, n. 3, p. 349–361, 2002.

STIRK, W. A.; VAN STADEN, J. Seaweed products as biostimulants in agriculture. *Journal of Applied Phycology*, v. 18, n. 3–5, p. 355–369, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9045-9>.

VIUDA-MARTOS, M. et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oils from oregano, thyme, and basil. *Food Control*, v. 22, n. 6, p. 898–904, 2011.

WIJESINGHE, W. A. J. P.; JEON, Y. J. Exploiting biological activities of brown seaweed *Ecklonia cava* for potential industrial applications: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 63, n. 2, p. 225–235, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.622605>.

YAKOUBI, K. et al. Biostimulants as innovative tools to mitigate the negative effects of climate change on crop yield and quality. *Plants*, v. 10, n. 7, p. 1302, 2021.

ZHANG, Y.; BUTELLI, E.; MARTIN, C. Engineering anthocyanin biosynthesis in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 19, p. 81–90, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.03.011>.

ZULFIQAR, F. et al. Role of plant biostimulants in enhancing abiotic stress tolerance in horticultural crops. *Plants*, v. 9, n. 6, p. 722, 2020.