



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS
DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

BIOTECNOLOGIA

**BIOESTIMULANTES À BASE DE EXTRATO DE ALGAS MARINHAS NA
AGRICULTURA: ESTADO DA ARTE E POTENCIAL DE USO**

NATALIA LANDSKRON SACCOMORI

Foz do Iguaçu

2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS
DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)
BIOTECNOLOGIA**

**BIOESTIMULANTES À BASE DE EXTRATO DE ALGAS MARINHAS NA
AGRICULTURA: ESTADO DA ARTE E POTENCIAL DE USO**

NATALIA LANDSKRON SACCOMORI

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Instituto de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres.

Foz do Iguaçu

2021

NATALIA LANDSKRON SACCOMORI

**BIOESTIMULANTES À BASE DE EXTRATO DE ALGAS MARINHAS NA
AGRICULTURA: ESTADO DA ARTE E POTENCIAL DE USO**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Instituto de Ciências da Vida e
da Natureza da Universidade Federal da
Integração Latino-Americana, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Biotecnologia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres
UNILA

Prof. Dr. Marcos Barboza
UNICENTRO

Profa. Dra. Tathianne Pastana de Sousa Poltronieri
UNILA

Foz do Iguaçu, 09 de junho de 2021.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Natalia Landskron Saccomori

Curso: Biotecnologia

Tipo de Documento

(....) graduação

(.....) artigo

(.....) especialização

(X) trabalho de conclusão de curso

(.....) mestrado

(.....) monografia

(.....) doutorado

(.....) dissertação

(.....) tese

(.....) CD/DVD – obras audiovisuais

(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: Bioestimulantes à base de extratos de algas marinhas na agricultura: estado da arte e potencial de uso

Nome do orientador(a): Cleto Kaveski Peres

Data da Defesa: 09/06/2021

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino- Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, 09 de Junho de 2021.

Natalia L. Saccomori

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres pela orientação, tempo, paciência e solicitude para a realização deste trabalho sugerindo caminhos viáveis à realização deste em meio à pandemia e por todo conhecimento transmitido.

Aos professores Dra. Tathianne Pastana de Sousa Poltronieri e Dr. Marcos Barboza por terem feito parte da banca avaliadora, pelo seu tempo e sugestões para aprimoramento da pesquisa.

Minha gratidão também aos demais professores do curso de Biotecnologia, sejam efetivos ou visitantes, pela dedicação e contribuição direta à construção do conhecimento.

Agradeço aos meus pais, Lucila Landskron e Osmar Saccomori, e a minha irmã, Amanda Saccomori, que mesmo à distância na maior parte da graduação, me forneceram amor, compreensão e suporte e que, por acreditarem em mim, me motivaram a continuar.

Aos meus amigos, Ana Leticia Fernandes e Felipe Justiniano, pelo companheirismo e parceria, por terem sido grandes alicerces dentro e fora da universidade, ora provendo momentos de estudo e incentivo, ora momentos de riso e descontração. À Andressa Mayara, Samuel Chagas e Giovana Zanette por terem trilhado partes deste caminho comigo e me inspirado, cada um a sua maneira, a querer sempre melhorar. Sou grata a cada um de vocês, pela amizade, pelas trocas de conhecimento e de experiências, pelo crescimento que tivemos juntos durante estes anos, um pedaço de cada um sempre estará comigo.

A minha amiga de longa distância, Kadhidja Gurgel, pelo incentivo, solicitude e apoio emocional que foram imprescindíveis durante o período de desenvolvimento desta pesquisa.

Aos demais colegas que, de alguma forma, estiveram presentes durante a graduação compartilhando experiências e fazendo parte da minha formação, indireta ou diretamente, muito obrigada!

SACCOMORI, Natalia Landskron. **BIOESTIMULANTES À BASE DE EXTRATO DE ALGAS MARINHAS NA AGRICULTURA: ESTADO DA ARTE E POTENCIAL DE USO.** 2021. 49 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

RESUMO

A prática agrícola, desde os primórdios de seu surgimento, tem como objetivo ofertar alimentos e matéria-prima para os setores urbanos. Mesmo com os importantes avanços ocorridos durante a primeira Revolução Verde, estima-se que o cenário da produção de alimentos precise ser alavancado para atender às demandas da crescente populacional prevista para o ano 2050, onde a população passará a ser de cerca de 9,7 bilhões. A conversão de sistemas naturais em agricultura e o uso exacerbado de insumos químicos no solo vêm provocando uma expectativa de mudança ao entendermos que tais recursos são finitos, bem como o mal causado ao meio ambiente e à saúde humana. Deste modo, a agricultura sustentável e orgânica passa a ser discutida para reduzir danos, utilizando de estratégias alternativas, como os bioestimulantes. Os bioestimulantes produzidos a partir de extratos das algas marinhas atuam modulando os processos fisiológicos das plantas através de fitohormônios, vitaminas, oligossacarídeos, entre outras moléculas contidas nos extratos, promovendo crescimento, rendimento e auxiliando na absorção de nutrientes. Com o objetivo de levantar dados sobre tais parâmetros, o trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa descritiva, com base nos resultados mais recorrentes obtidos do uso de bioestimulantes de extratos de algas. Este estudo identificou as principais contribuições dos compostos das espécies de algas mais utilizadas com fins agrícolas, suas atribuições como potencializadores metabólicos, elicitores e suas competências e limitações frente ao mercado.

Palavras-chave: bioestimulantes; algas pardas; agricultura sustentável; biotecnologia.

SACCOMORI, Natalia Landskron. **BIOESTIMULANTES À BASE DE EXTRATO DE ALGAS MARINHAS NA AGRICULTURA: ESTADO DA ARTE E POTENCIAL DE USO.** 2021. 49 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

ABSTRACT

Agricultural practice, ever since its emergence, aims to provide food and raw material for urban sectors. Even with the important advances occurred during the first Green Revolution, it is estimated that food production scenario needs to be leveraged to meet the growing population demands forecast for 2050, whereas is expected to increase from 7,8 billion to 9,7 billion. Modifying natural systems into agriculturable lands along with the exacerbated use of chemicals inputs on the soil has been causing an expectation of change when we realised the finitude of those resources, as well as the damage caused to the environment and also to human health, thus sustainable and organic agriculture standards rise up as an alternative way for reducing damages. Seaweed extract-based biostimulants perform as metabolic enhancers which are capable of modulate plant's physiological processes through phytohormones, vitamins and oligosaccharides, among other molecules contained in extracts, which promotes better growth, higher yields and also nutrient absorption. In order to discover more information about those parameters, the present work was developed through a descriptive research, based on the most frequent results obtained by the application of seaweed based biostimulants. This study, through the application of main compounds of the most used seaweed species for agricultural purposes, identified their contributions and attributions as metabolic enhancers, elicitors, as well as their competences and limitations based on this market.

Key-words: biostimulants; brown seaweed; sustainable agriculture; biotechnology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulações comerciais de bioestimulantes à base de extratos de algas, presentes no mercado brasileiro e mundial.....	17
Tabela 2. Descritores e combinações de palavras-chave utilizados na busca de publicações.....	25
Tabela 3. Efeitos do tratamento com bioestimulantes comerciais derivados de extratos de algas aplicados na agricultura e horticultura.....	29
Tabela 4. Exemplos de proteção aos estresses bióticos e abióticos encontrados em formulações comerciais de bioestimulantes à base de extratos de algas.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	Contexto histórico da agricultura e justificativa.....	13
3.2	Bioestimulantes vegetais	15
3.3	Algas	18
3.3.1	Polissacarídeos das algas marinhas: valores industriais e agrícolas.....	20
3.4	Métodos de extração para produção de bioestimulantes	22
4	METODOLOGIA	25
4.1	Tipo de estudo	25
5	RESULTADOS.....	28
5.1	Sobre as propriedades e efeitos dos extratos de algas	28
5.2	Proteção contra estresses e defesa contra microrganismos patogênicos	34
5.3	Observações finais, limitações e perspectivas futuras.....	38
6	CONCLUSÃO	42
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido a principal e maior fonte financeira da civilização desde o surgimento dos primeiros povos. Cerca de 7 bilhões de pessoas habitam o planeta e destas pelo menos 1,3 bilhões são diretamente dependentes da prática agrícola, com um aumento da taxa populacional de quase 79 milhões todos os anos, vivemos uma contínua demanda pelo aumento da produção de alimentos e uma simultânea escassez em fornecê-los (GOUDA et al., 2018). O uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas químicos a partir da primeira Revolução Verde provoca desbalanço no conteúdo de nitrogênio e fósforo, fator que ocasiona uma diminuição do pH do solo, indisponibilidade destes nutrientes e perda de produtividade (GUPTA et al., 2015).

Nessa perspectiva, diante dos problemas causados pela prática agrícola em si e pelo uso de insumos químicos, a agricultura sustentável ganha destaque, e dentro dela a biotecnologia tem um grande papel na produção de bioestimulantes, culturas geneticamente modificadas para melhorar a fixação de nitrogênio nas plantas, microrganismos geneticamente modificados para promover crescimento da planta, entre outros (GOUDA et al., 2018).

Os bioestimulantes são uma classe de potencializadores metabólicos, não considerados fertilizantes, utilizados para aumentar a resistência das culturas a diversos estresses e, por vezes, patógenos, ao mesmo tempo que melhora o crescimento e o desempenho das plantas (JANNIN et al., 2013). Os bioestimulantes produzidos a partir de extratos de algas contém moléculas bioativas complexas que apresentam funcionalidades variadas, de acordo com o método de extração e modo de aplicação (SHUKLA et al., 2019). Em baixas aplicações, os bioestimulantes à base de algas já demonstraram em inúmeras pesquisas seu potencial em estimular o crescimento das plantas, aumentar o número de flores, frutos e raízes, melhorando a tolerância das plantas à salinidade, à seca e ao calor (BATTACHARYYA et al., 2015).

As algas, como organismos fotossintetizantes, muitas vezes se encontram em locais de condições turbulentas e produzem moléculas diferenciais e muito interessantes do ponto de vista econômico, ideais para suprir os nutrientes do solo em períodos de estresse abiótico e atuar como eliciadoras contra agentes bióticos (JONES; DANGL, 2006; MCHUGH, 2003).

O presente trabalho busca integrar os principais achados científicos referentes aos resultados proporcionados pelos bioestimulantes algais na agricultura orgânica

e horticultura, bem como pontuar algumas das suas limitações e perspectivas de uso para o futuro, avaliando assim seu potencial de uso.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa bibliográfica tem por objetivo realizar um levantamento dos principais efeitos do uso de bioestimulantes à base de extratos de algas na agricultura orgânica e horticultura, revisando seus compostos bioativos e métodos de extração.

2.2 Objetivos específicos

- Levantamento dos resultados do uso de extratos de algas no crescimento e rendimento de plantas.
- Levantamento das principais limitações e perspectivas futuras para este mercado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Contexto histórico da agricultura e justificativa

Atualmente, a agricultura é um dos setores econômicos de grande influência no desenvolvimento de nações, ao gerar matéria-prima para as mais diversas atividades essenciais à vida moderna. Surgida há cerca de 10 mil anos no continente africano e asiático com o abandono progressivo das atividades de caça e coleta de alimentos e com o eminente cultivo da terra, a prática agrícola se espalhou mundialmente e, durante todo o período da Antiguidade, Idade Média e Renascença a produção de alimentos foi um dos maiores desafios da humanidade (EHLERS, 2009).

Segundo Ehlers (2009), apenas com a agricultura moderna na Europa Ocidental, no século XVIII, que a escassez de alimentos não era mais uma realidade, pois o homem passou a produzir alimentos em larga escala. Desde meados do século XX as inovações tecnológicas como os insumos químicos, tratores e sementes geneticamente modificadas aumentaram exponencialmente a produção de alimentos, padrões de modernidade que se espalharam por vários países até a década de 1970 (EHLERS, 2009; TEIXEIRA, 2005).

Desde a década de 1960, enfrenta-se uma preocupação sobre a capacidade do mundo de se alimentar. Grande parte do sucesso da primeira Revolução Verde se deu por meio de setores públicos e privados nacionais competentes, bem como o desenvolvimento de políticas apropriadas para implantar tais tecnologias e conseqüente modernização dos sistemas de cultura (KHUSH, 1999; PINGALI, 2012). Além disso, os altos investimentos em tecnologia e pesquisa de sementes geneticamente modificadas com alta resistência a patógenos, quando aliados à utilização de fertilizantes, alavancaram significativamente a produção agrícola (PINGALI, 2012). Khush (1999) observa que para atingir maiores números de produção como premeditado pela primeira Revolução Verde, o uso mundial de fertilizantes aumentou rapidamente de 14 milhões de toneladas em 1950 para 140 milhões de toneladas em 1990, um aumento de 10 vezes. Entre 1966 e 1990, a população dos países de baixa renda densamente povoada cresceu cerca de 80%, mas a produção de alimentos mais que dobrou, em contraste com os anos 90, onde a taxa de crescimento da produção de grãos foi menor que a taxa de crescimento da população (KHUSH, 1999).

Para ir de encontro às necessidades populacionais, Ray et al. (2013) sugerem que a segunda Revolução Verde deve tomar o caminho mais sustentável para atingir

a segurança alimentar, aumentando sua produção agrícola em vez de limpar mais terras para aumentar o cultivo. No mundo todo a agricultura já converteu 70% das pastagens, 50% das savanas, 45% das florestas decíduas temperadas e 27% dos biomas de florestas tropicais (FOLEY et al., 2011). Estima-se que a população mundial atinja o número de 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (GODFRAY et al., 2010), com isso a problemática agrícola para prover alimentos para toda a população continua. Numerosos estudos mostraram que para alimentar um mundo mais povoado será necessário a duplicação do que é produzido até 2050, traduzindo uma taxa de 2,4% de crescimento da produção agrícola ao ano (RAY et al., 2013).

Também é esperado que a segunda Revolução Verde tenha foco em melhorar a tolerância ao estresse, tanto climático quanto biótico, pois as variedades que foram aprimoradas de modo a tolerar a seca ou a imersão aumentam a produtividade de pequenos produtores, fornecendo ferramentas de adaptação às possíveis mudanças climáticas futuras (PINGALI, 2012). Uma nova maneira de manusear a terra, bem como o manejo correto das propriedades intrínsecas ao solo que estão sendo perdidas, tais como a riqueza e complexidade oferecida pela biodiversidade de microrganismos que o habitam, se fazem imprescindíveis (WALL; NIELSEN; SIX, 2015).

Os principais impactos ambientais da prática agrícola são gerados pela conversão de ecossistemas naturais em agricultura, e através da abundante aplicação de fertilizantes e pesticidas é liberada uma alta concentração de nutrientes agrícolas, causando danos a habitats terrestres e aquáticos (WALL; NIELSEN; SIX, 2015). Ademais, os efeitos das mudanças climáticas se manifestam negativamente na forma de desertificação, aumento de CO₂ e temperatura atmosférica, salinização do solo e desequilíbrios de nutrientes (por exemplo, toxicidade e deficiência de minerais) e causando efeitos dramáticos na produção agrícola (dos REIS et al., 2012). As más práticas de gestão de terras e mudanças ambientais afetam comunidades subterrâneas, diminuindo a biodiversidade e riqueza dos solos (WALL; NIELSEN; SIX, 2015).

Em face do exposto, somente por meio de transformações nos modos de manejo da agricultura os desafios da segurança alimentar e da sustentabilidade ambiental poderão tornar-se obsoletos (FOLEY et al., 2011). Alguns dos problemas ambientais causados pela agricultura intensiva vem sendo tratados pela engenharia genética e biotecnologia, através da difusão de culturas resistentes a doenças, insetos e secas (LYSON, 2002). Técnicas como o manejo integrado de pragas, gestão dos resíduos da pecuária e incorporação da agrossilvicultura são algumas das alternativas para uma redução líquida na emissão de alguns gases do efeito estufa (GODFRAY et al., 2010). De acordo com Lyson (2002) e Rockström et

al. (2017), a agricultura sustentável é a estratégia mais propensa a fornecer aprimoramentos em questão de produtividade para atender às crescentes necessidades alimentares de modo ecológico. A agricultura sustentável não se trata apenas de um pacote de métodos a serem seguidos, é uma mudança de mentalidade por meio da qual a agricultura reconhece sua dependência em uma base finita de recursos naturais (WALKER; HARRIGAN; LAWRENCE, 2002).

Nesse sentido, métodos como a rotação de culturas com diferentes padrões de enraizamento e a utilização de bioestimulantes vegetais são exemplos de ferramentas da agricultura sustentável que minimizam os impactos do plantio no solo. As rotações de culturas formam extensas redes de canais radiculares e macro poros no solo, que ajudam na infiltração da água em maiores profundidades e, às vezes, a rotação de culturas reduz a necessidade de reaplicação de fertilizantes uma vez que a cultura anterior provém nutrientes para a próxima, e os bioestimulantes são capazes de melhorar a eficiência do metabolismo das plantas proporcionando maiores rendimentos (HOBBS; SAYRE; GUPTA, 2008; WALKER; HARRIGAN; LAWRENCE, 2002).

É importante ressaltar que alguns agricultores se sentirão motivados a adotar a agricultura sustentável pelas preocupações ambientais, mas ainda precisam ser assegurados que os métodos sustentáveis são economicamente viáveis. Durante uma transição como esta, é imprescindível o incentivo de políticas públicas, exigindo a prevenção da poluição das fazendas industriais e que estas arquem com os custos de limpeza quando poluírem (WALKER; HARRIGAN; LAWRENCE, 2002).

3.2 Bioestimulantes vegetais

De acordo com a regulação 2019/1009 da União Europeia, bioestimulantes são produtos com o objetivo de estimular os processos de nutrição vegetal, de maneira a melhorar um ou mais dos seguintes fatores: (1) eficiência do uso de nutrientes, (2) resistência e tolerância aos estresses bióticos e abióticos, (3) características qualitativas, (4) disponibilizar nutrientes confinados no solo ou na rizosfera. Zhang & Schmidt (1997) definem os bioestimulantes como “materiais, que não fertilizantes químicos, capazes de promover o crescimento da planta quando aplicado em pequenas quantidades” e também refere-se a eles como “potencializadores metabólicos”. Podem ser utilizados preparados crus dos extratos ou então formulações comerciais, as principais formulações de bioestimulantes à base de extratos de algas comerciais são apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Formulações comerciais de bioestimulantes à base de extratos de algas, presentes no mercado brasileiro e mundial*

Nome comercial	Espécie da alga	Companhia
Acadian®	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Agritech
Actiwave	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Valagro Andina SAS
Agri-Gro Ultra	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Agri Gro Marketing Inc.
AgroKelp	<i>Macrocystis pyrifera</i>	Algas y Bioderivados Marinos, S.A. de C. V
Alg-A-Mic	<i>Ascophyllum nodosum</i>	BioBizz Worldwide N.V.
Algifol	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Neomed Pharma GmbH
AlgiPower	<i>Ascophyllum nodosum</i>	FertiPower
AlgaminoPlant	<i>Sargassum</i> spp.	Tianjin Agritech Bioindustry Co. Ltd
AlgaeGreen	<i>Ascophyllum nodosum</i>	SAPEC Agro
AZAL5	<i>Ascophyllum nodosum</i>	TIMAC Agro
Bio-Genesis™	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Green Air Products, Inc.
Biovita	<i>Ascophyllum nodosum</i>	PI Industries Ltd
Espoma	<i>Ascophyllum nodosum</i>	The Espoma Company
Kelpak	<i>Ecklonia maxima</i>	BASF
Kelpro	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Tecniprosos Biologicos, S.A. de C. V
Goemar BM 86	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Arysta LifeScience
Maxicrop	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Maxicrop USA, Inc.
Nitrozime	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Hydrodynamics International Inc.
Profert®	<i>Durvillea antarctica</i>	BASF

Seasol®	<i>Durvillea potatorum</i>	Seasol International Pty Ltd
Stimplex	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Agritech
Stella Maris	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Agritech
Synergy	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Green Air Products, Inc.

*Adaptado de Khan et al. (2009)

Pesquisas realizadas a partir dos anos 1990 mostraram que extratos de algas contêm moléculas oligossacarídicas que são facilmente reconhecidas pelas células das plantas que regulam seu crescimento, desenvolvimento e resistência a patógenos (FRANCESCHINI, 2010) e, levando em conta os estresses abióticos combinados ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos, os bioestimulantes de extratos algais são uma nova classe de insumos que vem ganhando notoriedade a fim de regular os principais processos fisiológicos nas plantas para que ocorra otimização da produtividade (EL BOUKHARI et al., 2020).

Os bioestimulantes são considerados uma alternativa potencial aos métodos agrícolas tradicionais e, na maioria dos casos, podem reduzir as taxas de aplicação de fertilizantes e pesticidas sintéticos (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014; VAN OOSTEN et al., 2017; YAKHIN et al., 2017). Alguns dos fatores a serem considerados para a adoção dos bioestimulantes é o desenvolvimento de resistência causada por muitos dos agroquímicos utilizados atualmente, que os tornam menos eficazes. Além disso, nos países em desenvolvimento como Brasil, China, Índia e outros, observa-se o aumento no preço dos fertilizantes químicos uma vez que a demanda na produção de alimentos também aumentou (SHARMA et al., 2014).

Os bioestimulantes produzidos a partir de extratos de algas são influenciadores ativos no crescimento por sua capacidade de produzir ou interagir com os fitohormônios das plantas (KUREPIN; ZAMAN; PHARIS, 2014). A composição dos bioestimulantes varia entre compostos como citocininas, auxinas, substâncias semelhantes ao ácido abscísico, vitaminas, polifenóis, aminoácidos capazes de estimular o metabolismo celular em plantas tratadas e influenciando em seu rendimento (EL BOUKHARI et al., 2020; GOÑI et al., 2016; STIRK et al., 2009; ZERRIFI et al., 2018). Segundo Blunden et al. (1968) outro componente dos extratos de algas, o ácido algínico ou alginato, demonstra ser um bom condicionador para o solo, além de contribuir para evitar uma resposta exacerbada ao estresse hídrico. Os fertilizantes derivados de algas marinhas são biodegradáveis, atóxicos,

não poluentes e não perigosos para o homem, animais de fazenda e pássaros (DHARGALKAR; PEREIRA, 2005).

Em adição aos efeitos supracitados, os bioestimulantes de algas aumentam o desenvolvimento da rede radicular das plantas, o que contribui diretamente a absorção aumentada de nutrientes que proporcionam. Também ajudam a quebrar a dormência das sementes, regulam a floração e tamanho dos frutos, além de induzirem as atividades do sistema fotossintético e dos tecidos vegetativos (PARADIKOVIĆ et al., 2019).

3.3 Algas

O uso de algas na agricultura é relatado desde a antiguidade pelos povos romanos, com a coleta das algas e deposição direta sobre o solo (EL BOUKHARI et al., 2020) ou na forma de compostagem para corrigir e recuperar solos alcalinos em regiões costeiras, onde as deficiências de nutrientes são frequentes (CRAIGIE, 2011; ZODAPE, 2001). Este antigo interesse em aplicar algas na agricultura se deve aos benefícios atribuídos, como o melhor desenvolvimento vegetativo, sobretudo de raízes, e a maior tolerância a estresses abióticos (como seca e salinidade) e bióticos, reduzindo as perdas nessas situações (KHAN et al., 2009).

As algas configuram um grupo de organismos muito diverso estruturalmente e fisiologicamente, abrangendo linhagens evolutivas distintas e com divergência muito antiga, que chega a bilhões de anos (FRANCESCHINI, 2010). Consideradas um dos organismos aquáticos mais antigos do planeta cujo data-se sua existência no período pré-cambriano (aproximadamente 3,5 bilhões de anos), as algas, devido a enorme ocorrência e capacidade fotossintetizante, são responsáveis pela manutenção estrutural da atmosfera terrestre – até mais do que as plantas terrestres – devolvendo o oxigênio molecular à atmosfera possibilitando a vida de todos os seres vivos aeróbios e a formação da camada de ozônio que os protege dos danos dos raios ultravioleta (HORTA, 2000). Os sistemas de classificação tradicionais dividem as algas em 10 filos, sendo que os mais diversos são, respectivamente, *Chlorophyta*, *Ochrophyta*, *Rhodophyta* e *Cyanophyta* (GRAHAM; WILCOX, 2000). O grupo das *Ochrophyta* é formado principalmente pelas algas diatomáceas e pelas algas pardas, o principal grupo utilizado como bioestimulante.

A classe das algas pardas (*Phaeophyceae*) é abrangente e variada e consiste, principalmente, de espécies marinhas macroscópicas e complexas, cuja presença do pigmento fucoxantina, uma xantofila que tipicamente mascara a clorofila *a* e *c*, resulta em sua

característica cor marrom (RINAUDO, 2007; VERMA; ARUN; SAHOO, 2015). Essa classe contém 14 ordens, 265 gêneros e entre 1500-2000 espécies, com menos de 1% de espécies de água doce, a maior parte das algas pardas ocupam o habitat marinho de águas frias e temperadas (DAWES, 2016; FRANCESCHINI, 2010; MYKLESTAD; GRANUM, 2009; WEHR, 2006). Suas morfologias divergem entre talos simples, filamentosos e microscópicos para as algas de água doce, até talos mais robustos e parenquimatosos para as algas marinhas, podendo estas chegarem até 60 metros de comprimento, como é o caso dos gigantes kelps (WEHR, 2006; YOON et al., 2009). As *Phaeophytas* diferem das outras classes em *Ochrophyta* por possuírem (1) parede celular formada por uma rede de microfibrilas de celulose, fortalecidas pelo alginato – um heteroglicano ácido e o polissacarídeo mais abundante nas algas pardas –, juntamente com a matriz mucilaginosa amorfa; (2) cloroplastos com tilacóides com pilhas de três, envolvidas por uma lamela de cintura e (3) seus principais produtos de armazenamento são a laminarina, um 1,3- β -glucano, e o manitol (MYKLESTAD; GRANUM, 2009; VERMA; ARUN; SAHOO, 2015).

Mundialmente, as algas pardas são manuseadas como adubo verde – adição de plantas ou algas para enriquecimento nutricional do solo com nitrogênio –, e são excelentes condicionadores do solo por sua riqueza em micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mo, B, Mn, e Co), macronutrientes (Ca, K e P), vitaminas, hormônios de crescimento e propriedades quelantes (VERMA; ARUN; SAHOO, 2015). O emprego de bioestimulantes a partir dos extratos de macroalgas são comumente preparados a partir das seguintes espécies: *Ascophyllum*, *Ecklonia*, *Durvillea*, *Fucus*, *Himanthalia*, *Laminaria*, *Macrocystis*, *Dictyopteris* e *Sargassum spp.* (BONEY, 1965; DOTY et al, 1987). Em grande parte dos casos, por suas interessantes propriedades, as algas pardas são as principais candidatas a compor os bioestimulantes, majoritariamente as algas da espécie *Ascophyllum nodosum* (SHARMA et al., 2014).

O fato de as algas pardas serem colhidas diretamente do mar pode dificultar a padronização da qualidade da matéria-prima para a produção dos bioestimulantes, estando a falta de padronização diretamente relacionada às condições climáticas do local, da idade do tecido e disponibilidade de nutrientes e época de colheita, levando a variações em sua composição polissacarídica e química. Em face do exposto, a produção de biomassa de microalgas é uma alternativa para tornar o processo mais controlado (MARINHO-SORIANO et al., 2006; MARSHAM et al., 2007).

As microalgas abrangem um grupo polifilético de organismos fototróficos unicelulares, consistindo de organismos eucariotos e cianobactérias procariotas (ORTIZ-MORENO; SANDOVAL-PARRA; SOLARTE-MURILLO, 2019), o número de espécies

pertencentes a este grupo varia de 50 mil a 1 milhão (SHARMA et al., 2014). Dentro deste grupo encontram-se algumas algas da classe *Chlorophyceae*, conhecidas como algas verdes, originárias dos mais diversos habitats, mas com sua maioria de 90% concentrada em água doce. Seus talos variam de unicelulares, coloniais, filamentosos ou parenquimatosos, possuindo espécimes microscópicos até formas que chegam a metros de altura (ZHANG et al., 2008). Ao contrário das algas pardas, pigmentos acessórios como beta caroteno não são capazes de mascarar as clorofilas *a* e *b* presentes nos cloroplastos destas algas, o que torna sua coloração verde (GRAHAM; WILCOX, 2000).

Quando cultivadas em condições ideais, o conteúdo de metabólitos primários costuma ser alto nas microalgas (55-70% do peso fresco), carboidratos são os principais constituintes dos extratos de microalgas, em *Chlorella* spp., *Chlamydomonas* spp., *Dunaliella* spp. e *Spirulina* spp. os carboidratos fazem parte de 46% do peso seco (SPOLAORE et al., 2006). O conteúdo proteico conta como cerca de 18-46% do peso fresco (BECKER et al., 2013). Os extratos de microalgas contam com a presença de aminoácidos como triptofano e arginina, que são conhecidos precursores de fitohormônios como auxina e ácido salicílico e importantes na formação de poliaminas, que participam de processos biológicos das plantas como a embriogênese, organogênese (principalmente desenvolvimento de flores, frutificação, amadurecimento e senescência das folhas), assim como da proteção contra estresses osmóticos (COLLA et al. 2016, KALAMAKI et al., 2009).

3.3.1 Polissacarídeos das algas marinhas: valores industriais e agrícolas

Os polissacarídeos são polímeros formados por açúcares simples unidos entre si por ligações glicosídicas (KADAM; TIWARI; O'DONNELL, 2015). A concentração total de polissacarídeos nas espécies de algas marinhas variam de 4 a 76% do peso seco, com o maior teor de polissacarídeos em algas pardas encontrado em *Ascophyllum* (KRAAN, 2012). As algas são uma rica fonte de polissacarídeos como a carragena, o ágar e o alginato. Estes importantes polissacarídeos possuem propriedades bem definidas para uso alimentício, têxtil e biotecnológico sendo comumente aplicados comercialmente como espessantes, estabilizadores e emulsificantes (KADAM; TIWARI; O'DONNELL, 2015; KRAAN, 2012). As carragenas são polissacarídeos sulfatados D-galactose e 3,6-anidro-D- galactose extraídos de algas vermelhas da classe *Rhodophyceae* e são amplamente utilizadas, principalmente na indústria alimentícia por suas propriedades físico-funcionais (espessante, gelificante e estabilizante) (CABRAL et al., 2011) e, apesar de possuir apenas uma ligeira aplicação na

agricultura aumentando o crescimento de plantas (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014), revelou um papel significativo na saúde como inibidora do vírus da herpes e do papiloma humano (HPV) durante testes *in vitro* (BUCK et al., 2006).

O alginato, presente na parede celular das algas pardas, é parcialmente responsável pela flexibilidade destas algas. Consequentemente, considera-se que as algas que crescem em condições turbulentas geralmente possuem maior quantidade de alginato que aquelas provenientes de águas calmas (MCHUGH, 2003). Devido às características de biocompatibilidade e gelificação, o alginato é amplamente utilizado pela indústria biomédica na formação de hidrogéis para tratamento de feridas por meio de sua ação cicatrizante e umedecedora. Os hidrogéis formados pelo alginato possuem relativa semelhança com as matrizes extracelulares dos tecidos vivos, dando a possibilidade de modificação para serem utilizados em variadas aplicações biomédicas. Na indústria alimentícia o alginato é visado e bem aproveitado por seus atributos como um ótimo retentor de água, espessante, gelificante e salienta-se seu uso em alimentos congelados, xaropes, pastelaria, pudins, tortas, saladas e temperos, cerveja e sorvetes (KAVITHA et al., 2019; VERMA; ARUN; SAHOO, 2015). Ainda, outras funcionalidades deste polissacarídeo é destinada a indústria de papel, explosivos, polidores e cerâmicas (VERMA; ARUN; SAHOO, 2015). Na agricultura, é sabido que o alginato melhora as condições químicas e físicas do solo, é um promotor quelante e atua aumentando a disponibilidade de minerais, a aeração e a capacidade de retenção do solo (KHAN et al., 2009; SHUKLA et al., 2019).

A laminarina, 1,3- β -glucano que existe na forma solúvel e insolúvel, é um polissacarídeo neutro de tamanho relativamente pequeno, utilizado pelas algas pardas como carboidrato alimentício de reserva e seu nome se deve à descoberta da molécula primeiramente na espécie *Laminaria* (RINAUDO, 2007). Ao contrário do alginato, a laminarina não é capaz de formar géis ou promover viscosidade, e seu principal potencial parece residir em usos médicos e farmacêuticos mas, apesar disso, observou-se seu progresso como indutor de defesas e supressor do vírus do mosaico do tabaco (TMV) através de aplicações foliares nas plantas de tabaco (SHARMA et al., 2014).

De origem dulcícola, microalgas clorófitas e cianófitas produzem polissacarídeos sulfatados e mucilaginosos com alta capacidade de agregação, o que provém a coesão para unir as partículas minerais do solo, auxiliando na sua estruturação (GHOSH, 2018). Além disso, os polissacarídeos e mucilagem das microalgas atuam como fonte de carbono utilizável para a comunidade microbiana heterotrófica do solo e plantas adjacentes, estando envolvidos também no aprisionamento físico e químico de nutrientes, possibilitando o

aumento de atividade microbiana benéfica ao solo (MAGER & THOMAS, 2011; CHEN et al., 2014). A mucilagem presente na parede celular das clorófitas e cianófitas permite maior concentração e mobilização de macro e micronutrientes que, então, podem ficar disponíveis às plantas por meio de exsudação, autólise e decomposição microbiana (ZHUANG et al., 2014).

A adesão provocada pelos polissacarídeos exibe fortes propriedades mecânicas. Ao induzirem a formação de microagregados, os polissacarídeos das microalgas e macroalgas são capazes de emaranhar partículas do solo, formando macroagregados que permitem trocas gasosas, percolação da água e liberação contínua de nutrientes no solo (MAGER & THOMAS, 2011). A formação dos macroagregados é interessante, porque favorece maiores taxas de infiltração da água, fornece a aeração adequada e influencia positivamente no crescimento de raízes (AWALE et al., 2017; BAUMANN et al., 2017). Ao mesmo tempo, as microalgas conferem ao solo uma propriedade selante, o que em conjunto com a formação dos macroagregadores permite a criação de um microambiente umedecido que retêm a água por períodos mais duradouros, formando orvalho, ao contrário dos solos que não possuem essas propriedades polissacarídicas (FISCHER et al., 2012).

3.4 Métodos de extração para produção de bioestimulantes

Várias entidades comerciais utilizam seu próprio método de hidrólise para obtenção do extrato de algas para produção do bioestimulante, tanto líquido quanto na forma de pó solúvel (MICHALAK; CHOJNACKA, 2015). Os métodos de fabricação raramente são publicados, sendo tidos como informação proprietária mas, em geral, os extratos são fabricados a partir de processos que utilizam-se de água, ácidos ou álcalis e métodos físicos de rompimento de células (CRAIGIE, 2011).

A hidrólise alcalina é uma das mais amplamente utilizadas para a produção industrial do extrato de *A. nodosum* (CRAIGIE, 2011; SHARMA et al., 2014). A extração consiste no tratamento da biomassa de *A. nodosum* em solução de hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, em temperatura de 70-100°C causando o rompimento de longos e complexos polissacarídeos em oligômeros menores e de baixo peso molecular e, conforme Craigie (2011), o processo alcalino tem a capacidade de gerar compostos que inicialmente não faziam parte dele a partir da interação química entre o hidróxido escolhido e os constituintes da macroalga cuja degradação, rearranjo e condensação origina ácidos monocarboxílicos e dicarboxílicos, resultando no aumento do número total de ácidos ao final do processo.

A hidrólise ácida consiste no tratamento da biomassa de alga com ácido sulfúrico ou ácido clorídrico na temperatura de 40-50°C durante 30 minutos (SHARMA et al., 2014). A hidrólise ácida serve, principalmente, para extrair os polissacarídeos sulfatados contendo fucose (ALE; MIKKELSEN; MEYER, 2012). Na etapa de pré-tratamento com ácido, o alginato de cálcio é convertido em ácido algínico e é extraído mais eficientemente com hidróxido de potássio (HENRY, 2005).

O método de extração aquoso entende-se pela hidratação de uma farinha de algas marinhas desidratadas, de onde os compostos bioestimulantes serão posteriormente recolhidos (SHARMA et al., 2014), e então separados através de métodos de filtração conforme a destinação do bioestimulante, a filtração seleciona os compostos de interesse. Os bioestimulantes fabricados dispondo-se desse método são, geralmente, ricos em compostos de bio atividade semelhante às de fito-hormônios (CROUCH, I. J., VAN STADEN, 1993).

Outros métodos, como a extração por micro-ondas e por ultrassom, são considerados *eco-friendly* quando comparados aos métodos de extração com solventes. A extração por micro-ondas reside no princípio de que o aquecimento da biomassa de algas pela energia de micro-ondas é capaz de extrair os compostos bioestimulantes (MAGNUSSON et al., 2017) e vem sendo utilizada para extrair fucoídeos, alginato de sódio, açúcares e compostos fenólicos de *A. nodosum* (YUAN; MACQUARRIE, 2015). A extração por ultrassom libera os compostos bioativos mais facilmente, valendo-se das altas frequências de suas ondas capazes de atravessar líquidos, sólidos e gases por rarefação e compressão (KADAM; TIWARI; O'DONNELL, 2013). Kadam, O'Donnell, et al. (2015) expôs melhoramento do procedimento, potencializando a extração de compostos como laminarina tanto de *A. nodosum* quanto de *Laminaria hyperborea*.

Levando em conta o conhecimento obtido até agora, sabe-se que a maior parte dos constituintes dos bioestimulantes são os polissacarídeos, com cerca de 30-40% do peso seco (RAYIRATH et al., 2009) sendo os principais fucoídeos, alginatos e laminarina, os dois últimos com maiores empregos na agricultura, conferindo funções de crescimento e eliciador de defesa das plantas, respectivamente.

No que tange a extração dos compostos bioativos das microalgas, são adotados pré-tratamentos para ocasionar o rompimento da parede celular que podem ser (I) mecânicos e físicos, como homogeneização, autoclavagem, micro-ondas, sonicação e nitrogênio líquido, (II) métodos enzimáticos, através de celulasas e proteases, ou (III) métodos químicos utilizando solventes orgânicos, tais como os que já foram exemplificados anteriormente. O método enzimático tem maiores vantagens sobre os demais e vem ganhando

a preferência da indústria, apesar de apresentar um custo adicional, ao romper as células mais suavemente sendo capaz de reter maiores níveis de compostos bioativos ao final da extração (MICHALAK; CHOJNACKA, 2014).

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo de estudo

O trabalho foi desenvolvido seguindo a metodologia de pesquisa descritiva, pela leitura dos materiais já existentes na temática, através de bases de dados digitais, em sua maioria livros e artigos científicos durante o período de agosto de 2020 até maio de 2021.

Etapa 1. Definição das palavras-chave e combinações para a busca dos livros e artigos

Os principais descritores ou palavras-chave contidos na **Tabela 2** foram atribuídos a partir dos objetivos da pesquisa e proporcionaram melhores resultados na busca aplicados nas plataformas e sites listados. As combinações foram as mais variadas dentro da temática, de acordo com as palavras-chave.

Tabela 2. Descritores e combinações de palavras-chave utilizados na busca de publicações.

Principais descritores	Plataformas e sites acessados
Seaweed extract Brown seaweed Alginate brown seaweed OU alginic acid brown seaweed Laminaran brown seaweed OU Laminaran effects agriculture Seaweed polysaccharides Sustainable crop production Sustainable Agriculture Biostimulants OU Algal biostimulants <i>Ascophyllum nodosum</i> extract OU <i>Ascophyllum nodosum</i> biostimulant <i>Ecklonia maxima</i> extract OU <i>Ecklonia maxima</i> biostimulant Microalgae biostimulants Microalgae polysaccharides Algal biofertilizers	NCBI-PubMed; site Mendeley-Elsevier
Bioestimulantes Extratos de algas na agricultura Histórico da agricultura	Scielo

Etapa 2. Consulta para a busca dos dados

Os diferentes arranjos e combinações de palavras-chave supracitados foram aplicados nas plataformas NCBI-PubMed (National Center for Biotechnological Information) e Scielo. Na plataforma Scielo, os descritores foram aplicados em língua portuguesa e nas demais plataformas em língua inglesa, como exemplificado pela **Tabela 2**.

Utilizou-se filtros para selecionar artigos publicados dentro do período dos últimos 20 anos (2000-2020). A pesquisa também se utilizou de artigos seminais de dentro da temática autores já renomados na pesquisa de bioestimulantes à base de extratos de algas para fornecer conceituação, que desviaram do limite de tempo estipulado na busca inicial, sendo Blunden (1968), Crouch et al. (1990), Crouch et al. (1993) e Kush (1999) alguns exemplos.

Através do site Mendeley-Elsevier (www.mendeley.com) houve otimização do acesso aos artigos mais relevantes de cada temática, com a disponibilização de dados sobre o impacto da publicação (maior número de leitores ou citações). Desta forma, selecionou-se as publicações julgadas mais relevantes ao tema dos bioestimulantes à base de extratos de algas.

Foram consultados 4 livros, referentes ao histórico da agricultura; à abordagem filogenética, taxonômica e ecológica das algas; às características gerais e geográficas dos principais grupos de algas marinhas e às características dos polissacarídeos de algas marinhas.

Consultou-se 2 monografias referentes à temática, disponibilizados pelo acesso virtual às bibliotecas da Universidad de La Sabana (Colômbia) e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), publicadas em 2010 e 2019, respectivamente, e 1 tese disponibilizada pelo repositório da Universidade de São Paulo (USP), publicada no ano 2000.

Etapa 3. Compilação dos dados

Realizou-se a coleta dos dados primeiramente por meio de uma rápida leitura inicial, objetivando explorar todo o referencial teórico encontrado e consultar a relevância contida nas obras para os interesses do estudo e, posteriormente, analisou-se publicações para leitura seletiva e aprofundada nos tópicos centrais, sendo os principais Sharma et al. (2014), Shukla et al. (2019), El Boukhari et al. (2020), Cabral et al. (2011),

Kraan (2012), Calvo et al. (2014), Craigie (2011) e Khan et al. (2009). Ordenou-se as informações com a finalidade de descrever os aspectos que norteiam respostas ao problema de pesquisa, como os resultados gerais da ação bioestimulante dos extratos de algas nas mais diversas espécies de plantas, seus efeitos protetivos contra patógenos e estresses abióticos.

Incluiu-se as publicações que abordassem o contexto dos bioestimulantes no mercado, moléculas bioativas derivadas dos extratos como polissacarídeos e fitohormônios e seus efeitos no crescimento e na tolerância à secas e patógenos, foram excluídas publicações que não apresentavam foco direto nos bioestimulantes à base de extratos de alga, tratando do assunto de maneira generalizada junto às demais categorias de bioestimulantes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Sobre as propriedades e efeitos dos extratos de algas

Ascophyllum nodosum é comumente conhecida como uma alga que cresce na superfície e proximidade de rochas e é amplamente distribuída pela costa noroeste da Europa e na costa nordeste da América do Norte, sendo uma das *Phaeophyceae* mais estudadas (MOREIRA et al., 2017). Uma das suas particularidades é sua associação mutualística com o fungo *Mycosphaerella ascophylli* (CRAIGIE, 2011). Garbary & Deckert (2004) após anos investigando a relação simbiótica entre a alga e o fungo, evidenciaram que a infecção do zigoto de *Ascophyllum* melhora o crescimento do esporo, e que todo *Ascophyllum* coletado da natureza está infectado com *M. ascophylli*. Além disso, *M. ascophylli* protege *A. nodosum* da dessecação (GARBARY; LONDON, 1995). Os esteróis do fungo estão presentes no extrato de acetato da alga e são capazes de refrear o estresse salino nas plantas (PRITHIVIRAJ et al., 2011).

Os extratos de *A. nodosum* se provam importantes estimuladores do crescimento e produtividade de culturas, uma vez que aumentam a absorção e disponibilidade de nutrientes (CRAIGIE, 2011; CROUCH, I. J., VAN STADEN, 1993; KHAN et al., 2009; SHARMA et al., 2014; SHUKLA et al., 2019; VAN OOSTEN et al., 2017). Alguns dos principais efeitos das formulações comerciais de bioestimulantes encontram-se abaixo na **Tabela 3**.

Tabela 3. Efeitos do tratamento com bioestimulantes comerciais derivados de extratos de algas aplicados na agricultura e horticultura*

**experimentos laboratoriais em vasos/estufas

***experimentos em campo

Nome comercial	Alga	Aplicação	Efeitos relatados	Planta	Referência
Acadian®	<i>A. Nodosum</i>	Foliar***	Aumento do peso, tamanho e firmeza dos frutos e maior rendimento	Uva	Norrie et al. (2002)
Actiwave	<i>A. nodosum</i>	Foliar**	Aumento do crescimento vegetativo, do conteúdo de clorofila nas folhas (11%) e produção de frutos (27%). Demonstrou ação quelante para íons de Fe ²⁺ presentes no solo	Morango	Spinelli et al. (2010)
AlgaminoPlant	<i>Sargassum</i> spp.	Embebibimento das sementes e foliar**	Ambas as formas de aplicação promoveram o crescimento radicular e da parte aérea. Maior indução da germinação com extratos de algas em comparação à utilização de ácido húmico	Milho	Matysiak et al. (2011)
AZAL5	<i>A. nodosum</i>	Diretamente no solo**	Promoveu crescimento da planta e absorção de nutrientes	Canola	Jannin et al. (2013)
Kelpak	<i>E. maxima</i>	Diretamente no solo**	Aplicação do eckol isolado de Kelpak deu à planta maior número de raízes, comprimento e massa fresca	Flor de abacaxi do outono (<i>Eucomis autumnalis</i>)	Aremu et al. (2015)
Kelpak	<i>E. maxima</i>	Foliar e diretamente no solo**	Aplicação foliar sem efeitos significativos, aplicação no solo favoreceu o amadurecimento dos frutos	Tomate	Crouch (1993)

Kelpak	<i>E. maxima</i>	Foliar e diretamente no solo**	Aumento no número de folhas, aumento do peso da parte aérea, aumento no conteúdo de clorofila, carotenóides e proteínas.	Espinafre	Kulkarni et al. (2019)
Kelpak	<i>E. maxima</i>	Foliar***	Crescimento aumentado em relação ao controle, floração prolongada	Maçã	Basak (2008)
Kelpak	<i>E. maxima</i>	Embebimento das sementes e foliar**	Estímulo da germinação em 16-19%, aumento do peso da parte aérea,	Milho	Matysiak et al. (2011)
Goemar BM 86	<i>A. nodosum</i>	Foliar***	Floração prolongada, rendimento e qualidade melhorada	Maçã	Basak (2008)
Goemar BM 86	<i>A. nodosum</i>	Foliar***	Aumento da brotação e floração, melhorou o conteúdo de giberelina na planta e rendimento de frutos	Laranja	Fornes et al. (2002)
Goemar BM 86	<i>A. nodosum</i>	Foliar***	Aumento da produção de frutos (10-25%) em relação ao controle, redução da queda prematura de frutos	Laranja	Koo; Mayo (1994)
Seasol	<i>A. nodosum</i> <i>Duvillea potatorum</i>	Diretamente no solo***	Aumento da resposta de crescimento das raízes	Morango	Mattner et al. (2018)
Stella Maris	<i>A. nodosum</i>	Foliar**	Aumento da biossíntese de metabólitos secundários, aumento da atividade antibacteriana e antifúngica da planta	Calibrachoa ou mini-petúnia	Elansary et al. (2016)
Rygex	<i>A. nodosum</i>	Foliar**	Aumento do crescimento da planta e qualidade dos frutos	Tomate	Di Stasio et al. (2018)

*Adaptado de Sharma et al. (2014) e Shukla et al. (2019).

A aplicação foliar desses extratos em *Vitis vinifera*, após o florescimento, melhoraram a concentração de nutrientes nas videiras, especialmente o acúmulo de antocianinas e compostos fenólicos (NORRIE; BRANSON; KEATHLEY, 2002). Em videiras (*V. vinifera*), os extratos comerciais Maxicrop, Proton e Algipower são descritos como bons para a absorção de nutrientes. Salvi et al. (2019) observaram que o uso do extrato de *A. nodosum* foi um aliado para aumentar a qualidade do cultivo de videiras e auxiliá-las a enfrentar o estresse abiótico, mantendo alta eficiência do fotossistema II, e aumentando metabólitos secundários como antocianinas e flavonoides, essenciais para as viniculturas.

Omidbakhshfard et al. (2020) demonstram que o extrato de *A. nodosum* estimula a síntese de metabólitos primários que protegem a planta do estresse e que, através de alterações lipídicas, diminuem a morte celular e degradação de cloroplastos. Plantas de *Citrus* spp. quando expostas ao tratamento com extrato comercial de *A. nodosum* exibiram maior tolerância à seca, aumentando a fotossíntese e a condutância estomática (SPANN; LITTLE, 2011). Em vegetais folhosos como espinafre (*Spinacia oleracea*) e alface (*Lactuca sativa*) os extratos de *A. nodosum* aumentaram seu crescimento (CHRYSARGYRIS et al., 2018).

Os extratos da alga parda *Ecklonia maxima* além dos polissacarídeos e componentes parecidos com fito-hormônios, contém uma substância bioativa conhecida como eckol, que mostra efeitos benéficos no crescimento de espinafre (KULKARNI et al., 2019), e efeitos parecidos com o desempenhado pela auxinas, aumentando as raízes, comprimento e peso das mudas tratadas, tanto em no milho (RENGASAMY et al., 2014) quanto no repolho (RENGASAMY et al., 2016). Aremu et al. (2015) demonstraram que o tratamento com eckol isolado do bioestimulante Kelpak gera um grande número de raízes, comprimento e massa fresca de *Eucomis autumnalis* em comparação com o controle. Ainda, em cultivares de feijão comum, *Phaseolus vulgaris* (variedades Aura, de sementes brancas e Toska, de sementes vermelhas), a aplicação foliar de Kelpak resultou no aumento de rendimento, sem significativamente interferir no teor dos nutrientes presentes na semente, os resultados para os rendimentos foram diferentes de acordo com a variedade, Aura obteve maior rendimento em concentração 0,4% de extrato e Toska atingiu seu maior potencial em concentração 0,2% de extrato (KOCIRA et al., 2018).

A qualidade nutricional, medicinal e visual (propriedades como tamanho e cor) também são positivamente afetados pelos bioestimulantes algais (CARVALHO; CASTRO, 2014). Como exemplo disso, Pinto et al. (2005) apurou a elevação do teor de

vitamina C em folhas de alface crespa Elba em 22,54% com três aplicações de bioestimulante de *A. nodosum*. Aplicações dos extratos Goëmar BM 86 e Kelpak em macieiras durante anos exibiram frutos mais fortes que os observados no experimento controle, além da qualidade das flores melhoradas e floração prolongada (BASAK, 2008; CRAIGIE, 2011), assim como em laranjeiras e toranjeiras a aplicação de extratos de algas promoveu maior produção de frutos e reduziu sua queda prematura, demonstrando assim que além do maior rendimento, os extratos de algas também contribuem para a elevação nutricional e qualidade nos frutos e folhas (KOO; MAYO, 1994).

Aremu et al. (2015) e Chrysargyris et al. (2018) utilizaram de extratos obtidos a partir de *E. maxima* e *A. nodosum* em pés de alface e flor de abacaxi, respectivamente, e determinaram o importante papel dos bioestimulantes para o crescimento saudável das plantas e, no caso da alface, estimulou a absorção de minerais, controlando baixos níveis de potássio. A aplicação do extrato comercial Kelpak (*E. maxima*) em plantas de alface demonstrou benefícios mesmo em plantas cujo fornecimento de nutrientes é adequado, aumentando a quantidade e concentração destes nas folhas de alface (CROUCH; BECKETT; VAN STADEN, 1990).

Matysiak et al. (2011) testaram os efeitos de extratos de algas pardas (*E. maxima* e *Sargassum sp.*) em comparação com ácido húmico e fúlvico na germinação de plantas de milho (*Zea mays L.*). As sementes embebidas nos extratos de algas foram capazes de melhorar a capacidade de germinação, apresentando maiores brotos e raízes e, ainda, obtiveram um maior peso da parte aérea e radicular, em comparação com as plantas pulverizadas com o ácido húmico e ácido fúlvico.

Fan et al. (2013) tratou plantas de espinafre com extratos de algas pardas e observou o aumento do conteúdo total solúvel de proteína, maior capacidade antioxidante e conteúdo fenólico e flavonoide. Tais efeitos foram relacionados ao aumento na produção de enzimas essenciais para o metabolismo de nitrogênio (glutamina citosólica sintetase), para a capacidade antioxidativa (glutathione reductase) e síntese de glicina betaína (betaína aldeído desidrogenase e colina monooxigenase), estas últimas essenciais para amenizar estresses hídricos. Observou-se também o aumento da enzima chalcona isomerase, fundamental para que a planta sintetize os precursores de flavona e fenilpropanóides, compostos que auxiliam a defesa das plantas, aumentaram com a adição dos extratos de macroalgas.

Em um ensaio de micro arranjos, Jannin et al. (2013) constataram que o extrato de algas utilizado atuava em pelo menos mil genes conhecidos e, destes, os mais afetados pela aplicação do extrato de algas foram os envolvidos no metabolismo do carbono,

nitrogênio e enxofre, da fotossíntese, metabolismo celular e respostas ao estresse. Neste mesmo estudo, genes envolvidos na fixação do carbono, como os que expressam enzima a RuBisCO e anidrase carbônica, mostraram-se regulados positivamente pelo extrato de algas, resultando em síntese aprimorada de amido pela planta.

Constituintes do extrato de algas, as oligo-alginatos e oligo-carragenas, quando purificadas, são fatores já conhecidos para o crescimento das plantas. Os oligo-alginatos ampliam a assimilação de nitrogênio e aperfeiçoam o metabolismo basal (KHAN et al., 2009) enquanto as oligo-carragenas, derivadas das algas vermelhas, ampliam a fotossíntese, metabolismo basal, assimilação de nitrogênio, divisão celular e fornecem proteção contra infecções de patógenos como vírus, fungos e bactérias em plantas de tabaco (CALVO; NELSON; KLOPPER, 2014; CASTRO et al., 2012).

Além de beneficiar o solo com polissacarídeos sulfatados e mucilagem, as microalgas, em seu metabolismo fixam o nitrogênio atmosférico e, são capazes de torná-lo biodisponível às plantas em formas de amônio (ORTIZ-MORENO; SANDOVAL-PARRA; SOLARTE-MURILLO, 2019). A biomassa de microalgas, especialmente aquelas pertencentes ao gênero *Chlorella*, produzem fitohormônios semelhantes às citocininas, identificadas como isopenteniladenina e zeatinas, cujo metabolismo influencia diretamente na divisão celular e diferenciação dos tecidos vegetais, bem como desenvolvimento de cloroplastos, prevalência da dominância apical e retardamento da senescência (SHANAN; HIGAZY, 2009).

Segundo Faheed & Fattah (2008) os efeitos de *Chlorella vulgaris* em alface aumentaram cerca de 186% características como crescimento, formação de biomassa e pigmentação das plântulas. Os efeitos fitoquímicos da biomassa liofilizada de *C. vulgaris* aumentaram 100% a presença de ácido ascórbico, sulforafano e β -caroteno em mudas de brócolis (CHACÓN, 2010). Agwa et al. (2017) demonstraram o potencial desta mesma espécie em culturas de quiabo, onde a presença da biomassa da alga apresentou hidratação, matéria orgânica e aumento de fósforo para o solo. Comparadas com o controle, as sementes de quiabo exibiram menor período de germinação, e as plantas de quiabo mostraram maior conteúdo proteico, lipídico e concentração de clorofila, além de maior peso e grande número de frutos.

Garcia-Gonzalez & Sommerfeld (2016) demonstraram na forma de células vivas, extratos celulares e biomassa seca a aplicação da microalga *Acutodesmus dimorphus* em plantas de tomate, tendo como resultado todas as três formas de aplicação estimulado a germinação, crescimento e rendimento nos tomateiros. Tal experimento sugere que estas

formas de aplicar microalgas na agricultura tornam o produto economicamente viável, e fazem do uso de algas na agricultura algo mais praticável, além de serem utilizados em baixas concentrações.

5.2 Proteção contra estresses e defesa contra microrganismos patogênicos

Ao longo da coluna de água, as algas enfrentam variadas intensidades luminosas e concentrações de O₂ e CO₂, fatores que culminam na presença de radicais livres e potentes agentes oxidantes. Ao contrário das plantas terrestres, onde tais condições são grandes ameaças a sua sobrevivência, estes fatores abióticos não oferecem nenhum dano oxidativo grave às algas *in vivo*, pois sua sobrevivência depende de uma resposta forte ao estresse oxidativo (AHN et al., 2004). As algas marinhas são, portanto, uma rica fonte de antioxidantes, tanto para as indústrias alimentícias quanto farmacêuticas e, na agricultura, estes compostos são de grande ajuda para que a planta enfrente condições adversas (MATSUKAWA et al., 1997).

Quando em casos de estresse abiótico como seca, salinidade e altas temperaturas, os extratos de algas se mostram potenciais amenizadores (CRAIGIE, 2011; KHAN et al., 2009). Em níveis moleculares, a reação do extrato de algas com as plantas em situação de estresse abiótico induz na planta a expressão de genes que codificam para proteínas protetoras contra o estresse, como proteínas osmoprotetoras, enzimas detoxificantes, transportadores e genes que expressam proteínas regulatórias como os fatores de transcrição, proteínas quinases e fosfatases (KRASENSKY; JONAK, 2012). Ademais, moléculas regulatórias endógenas como o ácido salicílico e ácido abscísico em contato com solutos compatíveis tais como prolina e glicina-betaína são capazes de estabilizar estruturas celulares mantendo o turgor das células e eliminando espécies reativas de oxigênio, aumentando assim a tolerância das plantas ao estresse (DOS REIS et al., 2012; KRASENSKY; JONAK, 2012).

O congelamento e a geada são outros tipos de estresse abiótico que as plantas e o solo podem vir a enfrentar, principalmente em locais frios, podendo causar prejuízos para as culturas e os fazendeiros (CARVALHO; CASTRO, 2014). Estudos mostram que a aplicação dos bioestimulantes à base de algas diminuem os efeitos do congelamento no solo e melhoram a recuperação das plantas tratadas após o estresse (RAYIRATH et al., 2009).

Elicitores ou também chamados “indutores de resistência”, são substâncias capazes de mimetizar o ataque de patógenos e são importantes numa estratégia de manejo integrado de pragas, pois agem como uma pré-infecção que acionam as respostas de defesa da

planta, deixando-as mais resistentes a posteriores ataques que venham a sofrer (JONES; DANGL, 2006). Estudos já demonstram que plantas tratadas com extratos de algas tornam-se resistentes a doenças (KLARZYNSKI et al., 2003). A laminarina trabalha como eliciador e confere atividade antibacteriana às plantas folhas de tabaco infectadas pela podridão mole (*Erwinia carotovora*) (KLARZYNSKI et al., 2000). As fucoses sulfatadas provenientes de algas pardas têm ação eliciadora efetiva contra o vírus mosaico do tabaco pelo funcionamento da via fenilpropanóide, acúmulo de ácido salicílico nas folhas e liberação de peróxido de hidrogênio à nível celular (KLARZYNSKI et al., 2003).

Segundo El Boukhari et al. (2020), um dos mecanismos plausíveis do extrato de algas marinhas no metabolismo da planta no que diz respeito ao controle do acometimento por fungos e bactérias, seria a ação direta no patógeno ou uma ação indireta, esta última elicitando a maquinaria de defesa das plantas, mais precisamente a via nomeada como fenilpropanóide, que leva a planta a sintetizar metabólitos secundários para sua proteção. Em espinafre, Kulkarni et al. (2019) relatou o aumento da enzima fenilalanina amônia liase (FAL), envolvida na via fenilpropanóide e responsável por catalisar uma variedade de polifenóis, que geralmente é induzida quando a planta está num momento de estresse abiótico. Tais resultados foram obtidos através da aplicação de extrato comercial de *E. maxima* (Kelpak) e também do extrato cru contendo apenas eckol, em plantas de espinafre.

Ainda, como parte da sua defesa química, as algas marinhas produzem acetogeninas, derivados aminoácidos, fenóis simples e terpenos (CARVALHO; ROQUE, 2000), sendo o grupo dos terpenos responsáveis por garantir às algas uma forte atividade antimicrobiana e antifúngica (PERES et al., 2012). Algumas algas marinhas possuem apenas uma baixa atividade antifúngica. Entretanto, quando combinadas com bactérias promotoras de crescimento em plantas o efeito antifúngico é potencializado. Este é o caso de algumas espécies de algas marinhas quando associadas com as bactérias *Bradyrhizobium japonicum* e *Paecilomyces lilacinus* na proteção das raízes de girassol contra ação de fungos como *Fusarium solani* (ARA et al., 1996; NABTI; JHA; HARTMANN, 2017).

Algas dos gêneros *Chlorella* e *Nostoc*, clorófitas e cianófitas, respectivamente, possuem componentes com atividade antimicrobiana e anti herbivoria, *Chlorella vulgaris* através da clorelina, por exemplo, é capaz de controlar o crescimento bacteriano de *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*, as ficocianinas de cianobactérias também inibem o crescimento patogênico de alguns fungos (GRZESIK; ROMANOWSKA-DUDA; KALAJI, 2017; LIU; POHNERT; WEI, 2016). Alguns compostos de cianobactérias são potencialmente tóxicos a algumas

espécies microbianas e animais, e desempenham um papel ecológico como aleloquímicos, ou seja, a presença destas substâncias voláteis nas proximidades das plantas geram respostas herbicidas e inseticidas capazes de proteger as plantas (RASTOGI; SINHA, 2009).

Mais dos efeitos protetivos de algumas formulações comerciais já utilizadas no Brasil e no mundo podem ser observados na **Tabela 4**.

Tabela 4. Exemplos de proteção aos estresses bióticos e abióticos encontrados em formulações comerciais de bioestimulantes à base de extratos de algas*

**experimentos laboratoriais em vasos/estufas

***experimentos em campo

Nome comercial	Alga	Aplicação	Proteção	Planta	Referência
Acadian®	<i>A. nodosum</i>	Foliar** Foliar***	Conteúdo lipofílico da macroalga manteve a integridade das membranas aumentando a tolerância ao frio. Houve modulação da expressão de genes contra o congelamento	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Rayirath et al. (2009)
Acadian®	<i>A. nodosum</i>	Diretamente no solo**	Melhorou tolerância à seca ao modular genes de resposta a este tipo de estresse	Soja	Shukla et al. (2018)
Algifol	<i>A. nodosum</i>	Diretamente no solo***	Tratamento contra nematóide de cisto da batata	Batata	Martin et al. (2007)
Kelpak	<i>E. maxima</i>	Foliar e diretamente no solo**	Aumento de enzimas amenizadoras de estresses abióticos e bióticos, como a fenilalanina amônia liase	Espinafre	Kulkarni et al. (2019)
Kelpak	<i>E. maxima</i>	Embebibimento das sementes**	Tratamento de eckol isolado do extrato comercial estimulou o crescimento radicular e demonstrou capacidade específica em absorver água, característica positiva durante estresse hídrico	Milho	Rengasamy et al. (2014)
Stimplex	<i>A. nodosum</i>	Foliar e diretamente no solo**	Aumentou a eficiência do uso de água pela planta frente a períodos de seca. A capacidade de manter as relações hídricas balanceadas é maior nas plantas que receberam aplicação no solo do que nas aplicações foliares	Laranja	Spann; Little (2011)

*Adaptado de Sharma et al. (2014)

5.3 Observações finais, limitações e perspectivas futuras

Estima-se que até 2022 o mercado de bioestimulantes de macroalgas alcance o valor de 894 milhões de euros e sua indústria ainda é altamente dependente da disponibilidade de biomassa (EEF et al., 2018). Levando isso em conta, alguns desafios precisam ser superados, posto que este crescimento no setor poderia levar à sobre-exploração das espécies costeiras, cuja conservação da biodiversidade se deve às regulamentações nacionais das regiões costeiras que autorizam maior exploração somente no caso de espécies altamente disponíveis ou invasoras (EL BOUKHARI et al., 2020).

A implantação de biorrefinarias é uma alternativa para que a utilização das macroalgas seja otimizada. O conceito de biorrefinaria já é aplicado para as microalgas, no campo da produção de combustíveis e, com este conhecimento, pode também ser posto em prática para manter a sustentabilidade do processo com as macroalgas (EL BOUKHARI et al., 2020).

Zollman et al. (2019) propuseram, como um exemplo para este cenário, um conceito de biorrefinaria de algas marinhas com base em um processo de cascata sob medida (horizontal e vertical), que explora as propriedades de cada fração para dar origem a diversos produtos, incluindo bioestimulantes vegetais, alimentação humana e animal e biocombustíveis. Ingle et al. (2018) sugeriram um modelo de implementação de biorrefinaria em países de baixa renda para a exploração da alga vermelha *Kappaphycus alvarezii*, através de uma análise de balanço de fluxo foram identificadas estratégias de fermentação mais eficientes para a produção de etanol e, com as previsões do modelo, constatou-se que ele poderia levar à produção de biofertilizantes, carragena e etanol.

Tais alternativas de cultivo se mostram altamente promissoras, em virtude da capacidade de otimizar a colheita das algas e produção dos extratos de maneira que estas estejam sempre integradas em um bioprocessamento controlado, diferente do que acontece na natureza onde as algas crescem tendo uma relação de síntese de moléculas bioativas desbalanceadas de acordo com o que as características do meio exigem, dessa forma, o estabelecimento de biorrefinarias poderia resolver a inconsistência na composição dos bioestimulantes (EL BOUKHARI, 2020). As espécies candidatas ao desenvolvimento de biorrefinarias de macroalgas são *Pyropia yezoensis*, *Porphyra miniata*, *Kappaphycus alvarezii* e *Gracilaria changii* (Rodophytas); *Saccharina japonica* e *Undaria pinnatifida*

(*Phaeophytas*), e *Ulva lactuca* (*Chlorophyta*) devido ao maior conhecimento e sequenciamento genômico completo de algumas delas (FU et al., 2016).

Para que os oceanos sejam fontes de contínuo suprimento de algas marinhas para todos os tipos de uso (industrial, alimentício, farmacêutico e de agricultura) novas tecnologias de cultivo das algas se fazem necessárias. Os recentes métodos biotecnológicos como cultura de tecidos, fusão de protoplasto e engenharia genética abrem as portas para a produção de cepas mais resistentes, composição ficocolóide melhorada e maiores rendimentos. Estes tipos de tecnologia são imprescindíveis como precursores da manutenção da sustentabilidade na colheita de materiais marinhos (DHARGALKAR; PEREIRA, 2005), diminuindo a necessidade de muitas colheitas, podendo o melhoramento genético teoricamente aumentar o rendimento de compostos direcionados com características bioestimulantes (EL BOUKHARI et al., 2020).

Provavelmente uma das maiores limitações encontradas para o uso dos bioestimulantes de algas, no momento, seja ganhar a confiança do produtor agrícola atendendo aos seus requisitos e, em alguns casos, colocando-o em contato com o bioestimulante, fazendo-se necessárias demonstrações de campo, orientações para o uso (melhor método de aplicação, taxas, frequência e tempo de aplicação, *etc.*) e geração de dados adaptados para os mais diversos tipos de cultivo que o mercado de bioestimulantes de algas pretende atingir (EL BOUKHARI et al., 2020). A orientação de uso é imprescindível para que não ocorram resultados negativos e indesejáveis, algumas propriedades dos bioestimulantes como seu conteúdo de sais (Na^+ , Cl^- , K^+ e Ca^{2+}) podem contribuir para o desenvolvimento de solos salinos quando continuamente aplicados sem pausas intermitentes e sem o aproveitamento de períodos chuvosos para limpar o solo (ANGUS; DARGIE, 2002; MACARTAIN et al., 2008; RUPÉREZ, 2002). Outro ponto limitante está na variabilidade da composição e magnitude das respostas de diferentes culturas a uma aplicação, assim como a falta de clareza sobre as diferenças entre os bioestimulantes e em quais culturas cada tipo se adequa melhor, um maior entendimento das diferentes composições e mecanismos de ação são o ponto-chave para que a categoria atinja seu máximo potencial em termos de rendimento, economia e aceitação pelo produtor (GOÑI et al., 2016).

Espera-se que os bioestimulantes, naturais ou não, sejam os baseados em algas, ou compostos por aminoácidos, ou ácido húmico ou microorganismos ou sintéticos, com sua proposta ecológica, contribuam para a modernização dos sistemas de safra e impulsionem a agricultura sustentável. Uma área corriqueira para o desenvolvimento dos bioestimulantes no futuro será a combinação de várias categorias, por exemplo, combinar a

classe de inoculantes microbianos com a classe dos extratos de algas ou com os compostos húmicos (CALVO et al., 2014). Ainda há uma enorme demanda de pesquisas para elucidar o mecanismo de ação dos bioestimulantes e, uma vez descoberta, poderá até esclarecer seu potencial sem estar acompanhado de algum fertilizante químico, ganhando maior protagonismo frente ao setor agrícola (BRIGLIA et al., 2019).

Biotecnologicamente falando, a junção da fenômica (fenotipagem *high-throughput* da planta), do sequenciamento de nova geração (*New Generation Sequencing* ou NGS) e da ciência metabolômica abrem caminhos para o melhoramento e construção de formulações de bioestimulantes adequados para cada condição específica, bem como para a análise do mecanismos de ação de cada constituinte dos bioestimulantes, que apesar de serem moléculas bioativas com efeitos específicos, dependem de uma relação maior com o ecossistema que estão sendo inseridas, passando por uma série de variáveis, como tipo de cultura, condições climáticas e microbioma do solo (BRIGLIA et al., 2019; EL BOUKHARI et al., 2020).

Mais estudos transcriptômicos e proteômicos são requeridos para que possam vir a esclarecer os efeitos eliciadores, as respostas de tolerância ao estresse e a absorção de nutrientes causados pelos extratos (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014). A importância desse tipo de estudo se dá pelo fato de que os efeitos bioestimulantes são intrínsecos à relação de uma espécie com determinado produto, e o conhecimento dos efeitos de um bioestimulante em uma determinada planta não pode ser transferido para outro bioestimulante ou para outra planta, portanto a determinação das funções das diferentes composições dos bioestimulantes e para quais plantas têm-se o efeito desejado são requeridas para ajudar os bioestimulantes a conquistarem o mercado (PARADIKOVIĆ et al., 2019).

Apesar dos bioestimulantes de macroalgas ainda serem predominantes, as microalgas trazem uma vantagem ao processo produtivo: requer recursos não renováveis limitados e apresentam um impacto ambiental geral reduzido e, comparadas a outros organismos fotossintéticos, são mais adequadas para melhoramento biotecnológico, especialmente de sua engenharia metabólica (FU et al., 2016). Alguns novos cenários de produção dos extratos de microalgas vêm surgindo, como o desenvolvimento de bioestimulantes nanoparticulados derivados de hidrolisados proteicos da microalga *Arthrospira platensis*, utilizando da ferramenta de nanotecnologia para o aumento da absorção, eficácia e melhor entrega dos componentes presentes nos extratos e biomassas algais (ECHERT, 2019).

Sobretudo, os bioestimulantes ainda são tidos apenas como um nicho de mercado do setor de fertilizantes, já que seu uso ainda está mais concentrado na horticultura e culturas especializadas. Seria uma realização importante ganhar um mercado mais amplo, demonstrando não serem apenas uma alternativa à fertilização clássica, uma vez que além de se apresentarem como a escolha mais ecológica, também já demonstraram imenso potencial quando alinhados à fertilização mineral (BRIGLIA et al., 2019).

6 CONCLUSÃO

A partir do exposto, é possível concluir que a área dos bioestimulantes de extratos de algas é extremamente promissora para o futuro da agricultura, e ainda deve superar alguns empecilhos quanto a sua cadeia produtiva e acessibilidade ao produtor. Maiores esclarecimentos diante da função regulatória de cada molécula bioativa contida nos bioestimulantes à base de extrato de algas são necessárias, sendo um dos principais impedimentos à prova da excelência que estes produtos podem apresentar às lavouras e serem contribuintes de uma produção de alimentos mais limpa e ecológica.

De acordo com o encontrado na literatura, os bioestimulantes já apresentam um corpo de resultados suficientes que mostram seus benefícios com destaque para o aumento do crescimento e resistência ao estresse, apesar de as razões para os efeitos positivos não serem inteiramente compreendidas.

A biotecnologia dispõe de ferramentas para contribuir à elucidação dos processos fisiológicos provocados nas plantas pelos bioestimulantes, e até mesmo modificar geneticamente as algas para otimizar a síntese dos principais compostos de interesse a serem testados. São necessárias pesquisas centradas para cada molécula promissora e, observar seus efeitos em cada diferente cultivar e identificar como, quando e onde aplicar bioestimulantes, assim se poderia definir as especificidades de cada bioestimulante, para que a comercialização seja melhor executada e atenda às demandas de cada produtor. Sem tais parâmetros estabelecidos, o mercado de bioestimulantes ainda encontra dificuldades para chegar até o campo. Ademais, o preço poderá ser um fator chave para a utilização das formulações de extratos de algas na agricultura, variando em comparação com o preço dos fertilizantes e pesticidas químicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGWA, O. K.; OGUGBUE, C. J.; WILLIAMS, E. E; Field Evidence of *Chlorella vulgaris* potentials as a biofertilizer for *Hibiscus esculentus*. **Int J Agric Res**, p. 181-189, 2017.
- AHN, C. B. et al. Free radical scavenging activity of enzymatic extracts from a brown seaweed *Scytosiphon lomentaria* by electron spin resonance spectrometry. **Food Research International**, v. 37, n. 3, 2004.
- ALE, M. T.; MIKKELSEN, J. D.; MEYER, A. S. Designed optimization of a single-step extraction of fucose-containing sulfated polysaccharides from *Sargassum sp.* **Journal of Applied Phycology**, v. 24, n. 4, p. 715–723, 2012.
- ANGUS, S.; DARGIE, T. The UK Machair Habitat Action Plan: Progress and problems. **Botanical Journal of Scotland**, v. 54, n. 1, 2002.
- ARA, J. et al. Effect of *Sargassum* seaweed and microbial antagonists in the control of root rot disease of sunflower. **Pakistan Journal of Botany**, v. 28, n. 2, p. 219–223, 1996.
- AREMU, A. O. et al. Physiological role of phenolic biostimulants isolated from brown seaweed *Ecklonia maxima* on plant growth and development. **Planta**, v. 241, n. 6, p. 1313–1324, 2015.
- AWALE, R.; MACHADO, S.; GHIMIRE, R.; BISTA, P. Advances in dryland farming in the Inland Pacific Northwest. Washington State University, **Soil Health**, p. 47-98, 2017.
- BASAK, A. Effect of preharvest treatment with seaweed products, Kelpak® and Goëmar BM 86®, on fruit quality in apple. **International Journal of Fruit Science**, v. 8, n. 1–2, 2008.
- BATTACHARYYA, D. et al. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39–48, 2015.
- BAUMANN, K.; GLASER, K.; MUTZ, J. E.; KARSTEN, U.; MACLENNAN, A.; HU, Y.; MICHALIK, D. et al. Biological soil crusts of temperate forests: Their role in P cycling. **Soil Biol Biochem**, v. 109, p. 156-166, 2017.
- BLUNDEN, G.; CHALLEN, S. B.; WOODS, D. L. Seaweed extracts as fertilizers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 19, p.289-293, 1968.
- BRIGLIA, N. et al. Investigating the impact of biostimulants on the row crops corn and soybean using high-efficiency phenotyping and next generation sequencing. **Agronomy**, v. 9, n. 11, p. 1–15, 2019.
- BONEY, A.D. Aspects of the biology of the seaweeds of economic importance. **Advances in Marine Biology**, v. 3, p. 105–253, 1965.
- BUCK, C. B. et al. Carrageenan is a potent inhibitor of papillomavirus infection. **PLoS Pathogens**, v. 2, n. 7, 2006.
- CABRAL, I. S. R. et al. Produtos naturais de algas marinhas e seu potencial antioxidante e antimicrobiano. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 181–192, 2011.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant Soil**, 2014.
- CARVALHO, L. R. DE; ROQUE, N. F. Fenóis halogenados e/ou sulfatados de macroalgas marinhas. **Química Nova**, v. 23, n. 6, 2000.
- CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. DE C. Extratos de algas e suas aplicações na agricultura. **Série Produtor Rural - nº 56 - Universidade de São Paulo - USP**, p. 45, 2014.
- CASTRO, J. et al. Oligo-Carrageenans Stimulate Growth by Enhancing Photosynthesis, Basal Metabolism, and Cell Cycle in *Tobacco Plants* (var. Burley). **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 31, n. 2, 2012.

CHACÓN, T. L. Efecto de la aplicación de soluciones de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* sobre el contenido de compuestos funcionales en germinados de brócoli (*Brassica oleracea* var *italica*). Magister en diseño y gestión de procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana, Bogotá DC, Colômbia. p. 106, 2010. Disponível em: <https://1library.co/document/qo50o10y-aplicacion-soluciones-chorella-vulgaris-scenedesmus-compuestos-funcionales-germinados.html>. Acesso em: 5 abr. 2021.

CHEN, L.; ROSSI, F.; DENG, S.; LIU, Y.; WANG, G.; ADESSI, A., DE PHILIPPS, R. Macromolecular and chemical features of the excreted ex- tracellular polysaccharides in induced biological soil crusts of different ages. *J Arid Environ.*, v. 67, p. 521-527, 2014.

CHRYSARGYRIS, A. et al. Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 98, n. 15, p. 5861–5872, 2018.

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 2011.

CROUCH, I. J., VAN STADEN, J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regul*, v. 13, p. 21–29, 1993.

CROUCH, I. J.; BECKETT, R. P.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. *Journal of Applied Phycology*, v. 2, n. 3, p. 269–272, 1990.

DAWES, C. Macroalgae Systematics. *Seaweed in Health and Disease Prevention*, p. 107-148, 2016.

DHARGALKAR, V. K.; PEREIRA, N. Seaweed:promising plant of the millennium. *Source*, 2005.

DI STASIO, E.; VAN OOSTEN, M. J.; SILLETTI, S.; RAIMONDI, G.; DELL'AVERSANA, E.; CARILLO, P., et al. *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *J. Appl. Phycol.*, v. 30, p. 2675–2686, 2018.

DOTY, M. S. Case study of seven commercial seaweed resources. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*. Rome, 1987.

ECHERT, T. T. Uso de extratos de alga na agricultura. Orientadora: Magnólia Silva. 2019. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/206859>. Acesso em: 8 dez. 2020.

EEF, B.; MARLIES, D.; SWAM et al. Identification of the seaweed biostimulant market (phase 2). In: Bio4safe WP1 Market analyses, *North Sea Farm Foundation*, 2018.

EHLERS, E. O Que É Agricultura Sustentável. 1ª ed. São Paulo: **Brasiliense**, 2009.

EL BOUKHARI, M. E. M. et al. Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants : Manufacturing Process and. *Plants*, 2020.

ELANSARY, H. O.; NORRIE, J.; ALI, H. M.; SALEM, M. Z. M.; MAHMOUD, E. A.; YESSOUFOU, K. Enhancement of *Calibrachoa* growth, secondary metabolites and bioactivity using seaweed extracts. *BMC Complement. Altern. Med.*, 2016.

EUROPEAN, U. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing. *Regula*, p. 114, 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj> (acessado em 15 de março de 2021).

INGLE, K.; VITKIN, E.; ROBIN, A.; YAKHINI, Z.; MISHORI, D.; GOLBERG, A. Macroalgae Biorefinery from *Kappaphycus alvarezii*: Conversion Modeling and Performance Prediction for India and Philippines as Examples. *BioEnergy Res*, v. 11, p. 22–32, 2018.

FAHEED, F. A. Effect of *Chlorella vulgaris* as Bio-fertilizer on Growth Parameters

and Metabolic Aspects of Lettuce Plant. **ISSN OnlineAWB J. Agri. Soc. Sci.**, v. 4, n. 1965, p. 1813–2235, 2008.

FAN, X. et al. A commercial extract of Brown Macroalga (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of Spinach in vitro. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** n. 44, p. 1873–1884, 2013.

FISCHER, T.; VESTE, M.; BENS, O.; HUTTL, R. F. Dew formation on the surface of biological soil crusts in central european sand ecosystems. **Bio-geosciences Discussions.** v. 9, p. 8075-8092, 2012.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011.

FORNES, F.; SANCHEZ-PERALES, M.; GUARDIOLA, J.L. Effect of a seaweed extract on the productivity of de Nules' Clementine mandarin and Navelina orange. **Botanica Marina.** v. 45, p. 486–489, 2002.

FRANCESCHINI, I. M. et al. Algas: Uma abordagem Filogenética, Taxonomica e Ecológica. Porto Alegre: **Artmed**, 2010.

FU, W. et al. Algal cell factories: Approaches, applications, and potentials. **Marine Drugs**, v. 14, n. 12, p. 1–19, 2016.

GARBARY, D.; DECKERT, R. Three Part Harmony — *Ascophyllum* and its symbionts. **Symbiosis**, v. 4, p. 309–321, 2004.

GARBARY, D. J.; LONDON, J. F. The *Ascophyllum/Polysiphonia/Mycosphaerella* Symbiosis V. Fungal Infection Protects *A. nodosum* from Desiccation. **Botanica Marina**, v. 38, n. 1–6, p. 529–534, 1995.

GARCIA-GONZALEZ, J.; SOMMERFELD, M. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 2, p. 1051–1061, 2016.

GHOSH, A. K. Functions and bio-functions of soil and its restoration. **Int J Res Anal Rev.**, v. 5, n. 3, p. 672-677, 2018.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. **Science**, 12 fev. 2010.

GOÑI, O. et al. Comparative Transcriptome Analysis of Two *Ascophyllum nodosum* Extract Biostimulants: Same Seaweed but Different. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 14, p. 2980–2989, 2016.

GOUDA, S. et al. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v. 206, p. 131–140, 2018.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. Algae. **Algae**, p. 301–343, 2000.

GRZESIK, M.; ROMANOWSKA-DUDA, Z.; KALAJI, H. M. Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. **Photosynthetica**, v. 55, n. 3, p. 510–521, 2017.

GUPTA, G., PARIHAR, S.S., AHIWAR, N.K., SNEHI, S.K., SINGH, V. Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. **J. Microbiol. Biochem.**, v. 9, p. 96-102, 2015.

HENRY, E.C. Report of alkaline extraction of aquatic plants. **Science**, 2005.

HOBBS, P. R.; SAYRE, K.; GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 543–555, 2008.

HORTA, Paulo Antunes; OLIVEIRA FILHO, Eurico Cabral de. **Macroalgas do infralitoral do sul e sudeste do Brasil: taxonomia e biogeografia.** 2000. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JANNIN, L. et al. *Brassica napus* Growth is Promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.)

Le Jol. Seaweed Extract: Microarray Analysis and Physiological Characterization of N, C, and S Metabolisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 1, p. 31–52, 2013.

JONES, J. D. G.; DANGL, J. L. The plant immune system. **Nature**, v. 444, n. 7117, p. 323–329, 2006.

KADAM, S. U. et al. Laminarin from Irish brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria hyperborea*: Ultrasound assisted extraction, characterization and bioactivity. **Marine Drugs**, v. 13, n. 7, p. 4270–4280, 2015.

KADAM, S. U.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P. Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 20, p. 4667–4675, 2013.

KADAM, S. U.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 24–31, 2015.

KAVITHA, N. et al. Formulation of alginate based hydrogel from brown seaweed, *Turbinaria conoides* for biomedical applications. **Heliyon**, v. 5, n. 12, 2019.

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.

KHUSH, G. S. Green revolution: Preparing for the 21st century. **Genome**, v. 42, n. 4, p. 646–655, 1999.

KLARZYNSKI, O. et al. Linear β -1,3 Glucans Are Elicitors of Defense Responses in Tobacco. **Plant Physiology**, 2000.

KLARZYNSKI, O. et al. Sulfated fucan oligosaccharides elicit defense responses in tobacco and local and systemic resistance against tobacco mosaic virus. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 16, n. 2, p. 115–122, 2003.

KOO, R.C.J.; MAYO, S. Effects of seaweed sprays in citrus fruit production. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Science**, v. 107, p. 82–85, 1994.

KOCIRA, A. et al. Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, n. 3, p. 563–571, 2018.

KRAAN, S. Algal Polysaccharides, Novel Applications and Outlook. In: **Carbohydrates – Comprehensive Studies on Glycobiology and Glycotechnology**, p. 489–532, 2012.

KRASENSKY J; JONAK C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 1593–1608, 2012.

KULKARNI, M. G. et al. Bioactive molecules derived from smoke and seaweed *Ecklonia maxima* showing phytohormone-like activity in *Spinacia oleracea* L. **New Biotechnology**, v. 48, p. 83–89, 2019.

KUREPIN, L. V.; ZAMAN, M.; PHARIS, R. P. Phytohormonal basis for the plant growth promoting action of naturally occurring biostimulators. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 9, p. 1715–1722, 2014.

LEAKE, A. R. Integrated pest management for conservation agriculture. **Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy**, p. 271–279, 2003.

LIU, L.; POHNERT, G.; WEI, D. Extracellular metabolites from industrial microalgae and their biotechnological potential. **Marine Drugs**, v. 14, n. 10, p. 1–19, 2016.

LYSON, T. A. Advanced agricultural biotechnologies and sustainable agriculture. **Trends in Biotechnology**, v. 20, n. 5, p. 193–196, 2002.

MACARTAIN, P. et al. Nutritional Value of Edible Seaweeds. **Nutrition Reviews**, v. 65, n. 12, 2008.

MAGER, D. M.; THOMAS, A. D. Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: a review of their role in dryland soil processes. **J Arid Environ**, v. 75, p. 91-97, 2011.

MAGNUSSON, M. et al. A comparative assessment of microwave assisted (MAE) and conventional solid-liquid (SLE) techniques for the extraction of phloroglucinol from brown seaweed. **Algal Research**, v. 23, p. 28–36, 2017.

MARINHO-SORIANO, E.; FONSECA, P. C.; CARNEIRO, M. A. A.; MOREIRA, W. S. C. Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. **Biores. Technol.** v. 97, p. 2402–2406, 2006.

MARSHAM, S.; SCOTT, G. W.; TOBIN, M. L. Comparison of nutritive chemistry of a range of temperate seaweeds. **Food Chem.**, v. 100, p. 1331–1336, 2007.

MARTIN, T. J. G.; TURNER, S. J.; FLEMING, C. C. Management of the potato cyst nematode (*Globodera pallida*) with bio-fumigants/stimulants. **Comm Agri Appl Biol Sci**, v. 72, p. 671–675, 2007.

MATTNER, S.W.; MILINKOVIC, M.; ARIOLO, T. Increased growth response of strawberry roots to a commercial extract from *Durvillaea potatorum* and *Ascophyllum nodosum*. **J Appl Phycol**, v. 30, p. 2943–2951, 2018.

MATYSIAK, K.; KACZMAREK, R. K. S. Influence of seaweed extracts and mixture of humic and fulvic acids on germination and growth of *Zea mays* L. **ACTA Scientiarum Polonorum**, v. 10, n. 1, 2011.

MATSUKAWA, R. et al. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. **Journal of Applied Phycology**, v. 9, n. 1, 1997.

MCHUGH, D. J. A guide to the seaweed industry ISSN. **FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER**, v. 441, 2003.

MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K. Algae as production systems of bioactive compounds. **Engineering in Life Sciences**, v. 15, n. 2, p. 160–176, 2015.

MOREIRA, R. et al. Aqueous extracts of *Ascophyllum nodosum* obtained by ultrasound-assisted extraction: effects of drying temperature of seaweed on the properties of extracts. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 6, p. 3191–3200, 2017.

MYKLESTAD, S. M.; GRANUM, E. Biology of (1,3)-B-Glucans and Related Glucans in Protozoans and Chromistans. In: **Chemistry, Biochemistry, and Biology of 1-3 Beta Glucans and Related Polysaccharides**, p. 353-372, 2009.

NABTI, E.; JHA, B.; HARTMANN, A. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 5, p. 1119–1134, 2017.

NORRIE, J.; BRANSON, T.; KEATHLEY, P. E. Marine plant extracts impact on grape yield and quality. **Acta Horticulturae**, v. 594, p. 315–319, 2002.

OMIDBAKHSHFARD, M. A. et al. A biostimulant obtained from the seaweed *Ascophyllum nodosum* protects *Arabidopsis thaliana* from severe oxidative stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 2, p. 1–26, 2020.

ORTIZ-MORENO, M. L.; SANDOVAL-PARRA, K. X.; SOLARTE-MURILLO, L. V. *Chlorella*, ¿un potencial biofertilizante? **Orinoquia**, v. 23, n. 2, p. 71–78, 2019.

PARADIKOVIĆ, N. et al. Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. **Food and Energy Security**, v. 8, n. 2, p. 1–17, 2019.

PERES, J. C. F. et al. Evaluation of antifungal activity of seaweed extracts. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 3, p. 294–299, 2012.

PINGALI, P. L. Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 31, p. 12302–12308, 2012.

PINTO, P.A.C. et al. Eficiência agrônômica de extrato de algas *Ascophyllum nodosum* aplicado na cultura da alface (*Lactuca sativa L.*). **Congresso da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Recife, 2005.

RASTOGI, R. P.; SINHA, R. P. Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 4, p. 521–539, 2009.

RAY, D. K. et al. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 2013.

RAYIRATH, P. et al. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, 2009.

RENGASAMY, K. R. R. et al. Eckol - a new plant growth stimulant from the brown seaweed *Ecklonia maxima*. **Journal of Applied Phycology**, v. 27, n. 1, p. 581–587, 2014.

RENGASAMY, K. R. R. et al. Enhancing growth, phytochemical constituents and aphid resistance capacity in cabbage with foliar application of eckol - a biologically active phenolic molecule from brown seaweed. **New Biotechnology**, v. 33, n. 2, p. 273–279, 2016.

RINAUDO, M. Seaweed Polysaccharides. In: **Comprehensive Glycoscience**. v. 2-4, p. 692-730, 2007.

ROCKSTRÖM, J. et al. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. **Ambio**, v. 46, n. 1, p. 4–17, 2017.

RUPÉREZ, P. Mineral content of edible marine seaweeds. **Food Chemistry**, v. 79, n. 1, 2002.

SALVI, L. et al. Effects of *Ascophyllum nodosum* extract on *Vitis vinifera*: Consequences on plant physiology, grape quality and secondary metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 139, n. November 2018, p. 21–32, 2019.

SHANAN, N. T.; HIGAZY, A. M. Integrated biofertilization management and cyanobacteria application to improve growth and flower quality of *Matthiola incana*. **Res J Agric Biol Sci**. p.1162- 1168, 2009.

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.

SHUKLA, P. S.; SHOTTON, K.; NORMAN, E.; NEILY, W.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes, **AoB Plants**, v. 10, n. 1, 2018.

SHUKLA, P. S. et al. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. May, p. 1–22, 2019.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown “hamlin” sweet orange nursery trees. **HortScience**, v. 46, n. 4, p. 577–582, 2011.

SPINELLI, F.; FIORI, G.; NOFERINI, M.; SPROCATTI, M.; COSTA, G. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. **Scientia Horticulturae**, v.3, n. 125, p. 263–269, 2010.

STIRK, W. A. et al. Endogenous cytokinins, auxins and abscisic acid in *Ulva fasciata* (Chlorophyta) and *Dictyota humifusa* (Phaeophyta): Towards understanding their biosynthesis and homeostasis. **European Journal of Phycology**, v. 44, n. 2, p. 231–240, 2009.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica Associação dos Geógrafos Brasileiros**, v. 2, n. 2, p. 21–42, 2005.

VAN OOSTEN, M. J. et al. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of

abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 1, 2017.

VERMA, P.; ARUN, A.; SAHOO, D. Brown Algae. In: **The Algae World**. Elsevier Inc., p. 177–204, 2015a.

VERMA, P.; ARUN, A.; SAHOO, D. Brown Algae. n. 1, p. 6–8, 2015b.

WALKER, P.; HERRIGAN, L.; LAWRENCE, R. S. How Sustainable Agriculture Can Address the Environmental and Human Health Harms of Industrial Agriculture. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. 5, p. 445–456, 2002.

WALL, D. H.; NIELSEN, U. N.; SIX, J. Soil biodiversity and human health. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 69–76, 2015.

WEHR, J. D. **Brown Algae**. Elsevier Inc., 2006.

YAKHIN, O. I. et al. Biostimulants in plant science: A global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2017.

YOON, H. S. et al. Stramenopiles. **Encyclopedia of Microbiology**, p. 478–491, 2009.

YUAN, Y.; MACQUARRIE, D. Microwave assisted extraction of sulfated polysaccharides (fucoidan) from *Ascophyllum nodosum* and its antioxidant activity. **Carbohydrate Polymers**, v. 129, p. 101–107, 2015.

ZHANG, X.; SCHMIDT, R.E. The impact of growth regulators on the a-tocopherol status in water-stressed *Poa pratensis*. **International Turfgrass Society Research Journal**, v. 8, p. 1364–1373, 1997.

ZHANG, J.; HUSS, V. A. R.; SUN, X.; CHANG, K.; PANG, D. Morphology and phylogenetic position of a trebouxiophycean green alga (*Chlorophyta*) growing on the rubber tree, *Hevea brasiliensis*, with the description of a new genus and species. **Eur. J. Phycol**, v. 43, p. 93–185, 2008.

ZHUANG, W. W.; DOWNING, A.; ZHANG, Y. M. The influence of biological soil crust on ¹⁵N translocation in soil and vascular plant in a temperate desert of Northwest China. **J Plant Ecol**, v. 8, p. 1–9, 2014.

ZERRIFI, S. E. A. et al. Seaweed bioactive compounds against pathogens and microalgae: Potential uses on pharmacology and harmful algae bloom control. **Marine Drugs**, v. 16, n. 2, 2018.

ZODAPE, S. T. Seaweeds As a Biofertilizer. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 60, n. 5, p. 378–382, 2001.

ZOLLMANN, M. et al. Green technology in green macroalgal biorefineries. **Phycologia**, v. 58, n. 5, p. 516–534, 2019.