



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

**BIOTECNOLOGIA**

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO  
BIOTECNOLÓGICA DAS ALGAS**

**ANA CAROLINA MAYUMI OTA**

Foz do Iguaçu  
2021



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

**BIOTECNOLOGIA**

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO  
BIOTECNOLÓGICA DAS ALGAS**

**ANA CAROLINA MAYUMI OTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano 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. Cleto Kaveski Peres.

Foz do Iguaçu  
2021

ANA CAROLINA MAYUMI OTA

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE O POTENCIAL DE  
APLICAÇÃO BIOTECNOLÓGICA DAS ALGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano 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

---

Profa. Dra. Elaine Cristina Rodrigues Bartozek

UNILA

---

Profa. Dra. Rafaella Costa Bonugli Santos

Foz do Iguaçu, 08 de Outubro de 2021.

## TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Ana Carolina Mayumi Ota

Curso: Biotecnologia

	Tipo de Documento
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação
	<input type="checkbox"/> tese
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais
	<input type="checkbox"/>

Título do trabalho acadêmico: Revisão Sistemática Da Literatura Do Potencial De Aplicação Biotecnológica Das Algas

Nome do orientador(a): Cleto Kaveski Peres

Data da Defesa: 08/10/2021

### Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

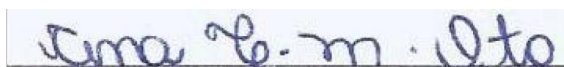
a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

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, 08 de Outubro de 2021.



Assinatura do Responsável

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu professor orientador Cleto Kaveski Peres, por ter tornado este trabalho possível, pela oportunidade que me concedeu, pela orientação dada e por todo o conhecimento que me passou durante toda a minha trajetória acadêmica.

Aos professores do curso de biotecnologia por todo conhecimento agregado durante minha graduação.

Aos professores da banca pelas orientações e conselhos.

Aos meus amigos de longa data, pois apesar de estarmos morando em locais distantes, arranjaram formas de se fazerem presente em minha vida. Em especial a minha amiga Luiza, por sempre arrancar tempo para conversarmos, pelos conselhos, acolhimento, carinho e por todos os momentos que passamos juntas.

Aos amigos que conheci durante a vida acadêmica, por todos os bons momentos que passamos ao longo destes anos, pelo grande apoio, motivação e aprendizagem que nos aproximou cada vez mais durante esses anos. Em especial a Jéssica, Daniele e Angelo por estarem comigo desde o primeiro semestre até a etapa final da graduação.

Aos amigos que fiz durante os estágios e iniciação científica, que agregaram muito na minha formação profissional, fazendo com que eu adquirisse conhecimentos práticos e metodologias que eu nunca havia realizado durante as aulas e pela amizade e companheirismo durante todo o tempo que estivemos juntos.

Aos meus irmãos, Lauro e Willian, pelo incentivo, apoio, compreensão, proteção, amor e amizade, e por sempre torcerem e acreditarem nessa conquista.

A minha querida Batian Ichico, por estar sempre presente e por me apoiar em todos os momentos da minha jornada.

Aos meus avôs Hiroyuki e Casemiro (in memorian), que são minhas maiores saudades, por me ensinarem a ser uma pessoa bondosa e acolhedora com todos ao meu redor.

Ao meu querido amigo Allan (in memorian), que nos deixou há pouco tempo, mas fez tanto por mim ao longo da sua vida.

Em especial, aos meus pais, Lauro e Walkiria, a quem dedico este trabalho, por terem sempre acreditado em mim, por me terem dado muito apoio, educação e amor durante todos esses anos.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”* **Arthur Schopenhauer**

OTA, Ana Carolina Mayumi. **Revisão Sistemática Da Literatura Do Potencial De Aplicação Biotecnológica Das Algas, 2021.** 72 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

## RESUMO

As algas são organismos fotossintetizantes diversificados que podem produzir metabólitos de alto valor agregado, podendo ser utilizados como ingredientes de uma infinidade de produtos biotecnológicos, que podem ser fundamentais para a vida do ser humano moderno. Este estudo teve como objetivo geral sintetizar os dados sobre espécies e gêneros de algas mais estudados do ponto de vista biotecnológico. Essa síntese de dados facilitará o acesso de potenciais espécies a serem utilizadas, bem como, evidenciar lacunas de conhecimento nos diferentes grupos de algas. Para tanto, foram levantados na literatura os trabalhos desenvolvidos com aplicações tecnológicas de algas nos últimos 20 anos em todo o mundo. A busca pelo material utilizado neste estudo iniciou em 2019 e foi finalizada em 2021 e para a encontrar trabalhos relevantes para o tema, os estudos científicos foram buscados no banco de dados Google Acadêmico e inicialmente, aplicou-se os seguintes descritores a partir de palavras-chave atribuídas a partir dos objetivos da pesquisa: biotecnologia das algas, algas com potencial biotecnológico, moléculas bioativas das algas, cosméticos a base de algas, algas na saúde, ágar a base de algas, biocombustíveis a partir de algas e algas na alimentação, etc. As combinações foram as mais variadas dentro da temática, de acordo com as palavras-chave. Os resultados alcançaram mais de 80 estudos, sendo que a busca por moléculas bioativas foi o principal foco dos artigos. No total, foi possível registrar 95 gêneros e 138 espécies de algas estudadas, a maior parte das espécies marinhas. Não obstante, a espécie dulciaquícola *Chlorella vulgaris* foi a espécie de alga com maior número de aplicações potenciais já registrada. Em conjunto os dados permitiram observar um grande interesse econômico e industrial focado no potencial biotecnológico das microalgas no planeta, principalmente devido à identificação de diversas substâncias sintetizadas por estes organismos, tendo destaque para as moléculas bioativas, que podem dar origem para os mais diversificados produtos biotecnológicos imagináveis.

**Palavras-chave:** Algas; Moléculas bioativas; Microalgas; Produtos biotecnológicos.

OTA, Ana Carolina Mayumi. **Revisão Sistemática Da Literatura Do Potencial De Aplicação Biotecnológica Das Algas, 2021.** 72 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

## ABSTRACT

Algae are diversified photosynthesized organisms that can produce metabolites of high added value, and can be used as ingredients of a multitude of biotechnological products, which can be fundamental to the life of the modern human being. The general objective of this study was to synthesize the data on species and genera of algae most studied from the biotechnological point of view. This synthesis of data will facilitate access to potential species to be used, as well as to highlight gaps in knowledge in different groups of algae. To this end, the studies developed with technological applications of algae in the last 20 years worldwide were surveyed in the literature. The search for the material used in this study began in 2019 and was completed in 2021 and, in order to find works relevant to the topic, the scientific studies were searched in the Google Academic database and initially, the following descriptors were applied using words- key attributed from the research objectives: algae biotechnology, algae with biotechnological potential, algae bioactive molecules, algae-based cosmetics, algae in health, algae-based agar, biofuels from algae and algae in food, etc. . The combinations were the most varied within the theme, according to the keywords. In total, it was possible to record 95 genera and 138 species of algae studied, most of the marine species. Nevertheless, the sweetwater species *Chlorella vulgaris* was the seaweed species with the highest number of potential applications ever recorded. Together, the data allowed us to observe a great economic and industrial interest focused on the biotechnological potential of microalgae on the planet, mainly due to the identification of various substances synthesized by these organisms. with emphasis on bioactive molecules, which can give rise to the most diversified biotechnological products imaginable.

**Key words:** Algae; Biotechnology products; Bioactive molecules; Microalgae.



<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>12</b>
2.1 ALGAS	12
2.2 PRINCIPAIS POTENCIAIS BIOTECNOLÓGICOS OBTIDOS A PARTIR DAS ALGAS	15
2.2.1 Moléculas bioativas	17
2.2.2 Alimentação	20
2.2.3 Cosméticos	24
2.2.4 Saúde	26
2.2.5 Biocombustíveis	29
2.2.6 Agricultura	33
2.2.7 Perspectivas futuras	35
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>36</b>
<b>4 METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>40</b>
5.1 FILOS E ORDENS	40
5.2 GÊNEROS E ESPÉCIES	42
5.3 AMBIENTES	44
5.4 PRINCIPAIS USOS DOS GÊNEROS E DAS ESPÉCIES	45
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>65</b>
Anexo I - Principais referências dos potenciais encontrados	65

## 1 INTRODUÇÃO

As algas integram um conjunto de organismos que apresentam uma grande diversidade de formas, funções e métodos de sobrevivência e que não possuem uma origem monofilética, ou seja, que possui um ancestral comum e exclusivo (GRAHAM et al., 2009). Esses organismos apresentam uma ampla diversidade, que inclui, até mesmo, as formas procarióticas (BICUDO, 2010). Ainda, é notável que as algas são organismos que apresentam uma ampla distribuição geográfica, podendo ser encontrados em quase todos os ecossistemas e nas mais variadas condições ambientais do mundo, desde que com acesso a radiação fotossintética (GRAHAM et al., 2009). A busca por produtos biotecnológicos através de algas tem como fator essencial a manutenção controlada e a produção massiva desses organismos, para que se possa explorá-los como uma potencial fonte economicamente viável de produtos biotecnológicos (SIMÕES et al., 2016).

Os organismos fotossintetizantes apresentam dois tipos de metabólitos: primários e secundários. Os metabólitos primários exercem funções essenciais e possuem uma distribuição universal, como os aminoácidos, os nucleotídeos, os lipídios, carboidratos e a clorofila (TAIZ & ZEIGER, 2009). Já os metabólitos secundários estão associados às estratégias de defesas do organismo (TAIZ & ZEIGER, 2009), tendo destaque para terpenos e acetogeninas (MACHADO, et al., 2010). Os compostos bioativos são, geralmente, metabólitos secundários, que incluem várias substâncias diferentes (CHU, 2012).

A biotecnologia das algas pode ser desenvolvida para diversas aplicações em diferentes bioprodutos (BRASIL & GARCIA, 2016). A capacidade fotossintética das algas para a geração de compostos com valor agregado e para produção de energia levou a um interesse sucessivo no cultivo de biomassa algal para suplementos alimentares para a alimentação humana e animal, como fonte de biocompostos, para produção de biodiesel, entre outros produtos (CHEW et al., 2017). Sendo assim, macro e microalgas originam moléculas de alto valor agregado, onde a composição bioquímica das células que formam estes organismos possuem propriedades relevantes, pois apresentam importantes proporções de proteínas, lipídeos, carboidratos, pigmentos e minerais, que podem ser utilizados como

ingredientes de alimentos destinados ao consumo humano e animal, extração de biomoléculas e biocombustíveis (WOJCIECHOWSKI et al., 2013).

Parece evidente e crescente o interesse nas algas como fonte de produtos biotecnológicos variados, assim se torna clara a necessidade de curadoria e síntese dos dados de literatura de forma que empresas e profissionais possam ter um uso facilitado dessa informação. Neste sentido, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de sintetizar informações sobre espécies e gêneros de algas mais estudados através de uma revisão sistemática de literatura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ALGAS

Podemos descrever as algas como o conjunto de organismos fotossintéticos, que podem ser uni ou pluricelulares e que apresentam órgãos de reprodução não envolvidos por uma camada de células estéreis (GRAHAM et al., 2009). Esses organismos apresentam uma ampla diversidade, que inclui, até mesmo, as formas procarióticas, que são representadas pelas cianobactérias, bem como formas eucarióticas, estas últimas englobando protistas autotróficos e heterotróficos e organismos multicelulares (BICUDO, 2010).

Do ponto de vista estrutural, as algas podem ser divididas em macroalgas e microalgas, dependendo da possibilidade de observação a olho nu, ou seja, acima ou abaixo do limite de tamanho aproximado de 1 mm. Os termos macro e microalgas, assim como algas no geral, não possuem valor taxonômico, pois englobam diferentes microorganismos que possuem clorofila a e outros pigmentos fotossintéticos capazes de realizar a fotossíntese (WOJCIECHOWSKI et al., 2013).

As macroalgas são organismos fotossintetizantes, que podem ser encontrados em águas doces, estuarinas ou marinhas e geralmente fazem parte da comunidade bentônica (VALENTIN, 2010). Apresentam uma variedade de cores e tonalidades que estão relacionadas à presença de pigmentos fotossintéticos, onde pode-se observar a predominância de três cores no ambiente: verde, dado a predominância de clorofila; parda, devido à grande quantidade de xantofilas e rósea pela presença de ficobilinas (MOURA et al., 2015). A cor aparente dessas algas é dada pela proporção de cada tipo de pigmento, o que é determinado principalmente pela aclimação ao regime de luz do local onde crescem (GRAHAM et al., 2009).

Já as microalgas, integram um grupo heterogêneo de organismos, predominantemente aquáticos e geralmente unicelulares microscópicos, que podem formar colônias, com pouca ou nenhuma diferenciação celular. As microalgas possuem grande importância porque produzem uma diversidade de metabólitos e possuem a capacidade de mudarem rapidamente seu metabolismo como resposta às mudanças das condições ambientais e por conta disso, podem se ajustar com facilidade através da aclimação bioquímica e fisiológica, ocasionando a produção de uma variedade de substâncias, muitas de alto valor comercial (TINOCO et al., 2015). Algumas microalgas vem se destacando por apresentarem características de

interesse para diferentes indústrias, como a indústria farmacêutica, por produzirem compostos bioativos como antioxidantes e antibióticos, além do uso para cosméticos e na alimentação humana e animal (HARUN et al., 2010).

As algas, junto com as plantas, são os principais produtores primários, pois são capazes de transformar energia luminosa em energia química, gerando variadas moléculas que podem ser utilizadas para diferentes fins (REIS, 2020). As algas possuem uma vasta distribuição geográfica, podendo ser encontradas em quase todas as condições ambientais do mundo (GRAHAM et al., 2009). Nos ambientes aquáticos, esses organismos apresentam um papel importante na base da cadeia alimentar, onde funcionam como os principais produtores primários, produzindo matéria orgânica e oxigênio, necessários para o metabolismo dos consumidores (WOJCIECHOWSKI et al., 2013).

Desde o século XIX, as algas são classificadas em grandes filos de acordo com a coloração do talo (e.g. Rhodophyta - algas vermelhas, Chlorophyta - algas verdes e Ochrophyta - algas pardas). Porém, atualmente é consensual que outras características permitem uma melhor classificação desses organismos de acordo com as suas relações evolutivas, entre os quais podemos citar tipo de pigmentos fotossintéticos, substâncias de reserva, organização e composição da parede celular, presença e tipos de flagelos, ultra-estrutura da mitose, conexões entre células adjacentes e ultra-estrutura dos cloroplastos (AZEVEDO & NAUER, 2012). Além disso, essas relações de parentesco evolutivo são sustentadas amplamente por dados moleculares de DNA nuclear e plastidial (GRAHAM et al., 2009).

De acordo com Hammond (1992), cerca de 40.000 espécies de algas são catalogadas no mundo, porém o número estimado de algas existentes pode ser maior que 200.000 espécies e entre essas espécies são reconhecidas as microalgas e as macroalgas (BASCUÑAN & PSCHIEDT, 2020). Em termos de riqueza de espécies e amplitude de ocorrência, os quatro filos mais representativos são Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta e Cyanobacteria. Chlorophyta (algas verdes, ou clorofíceas) são algas unicelulares e pluricelulares autotróficas, que apresentam clorofila a e b, e o amido como reserva de alimento. São encontradas principalmente em ambientes de água doce, mas também em áreas marinhas costeiras e terrestres (GRAHAM, 2009).

Rhodophyta (algas vermelhas) são algas que apresentam clorofila a como

pigmentos principais, ficobilinas como pigmentos fotossintéticos secundários e o amido é utilizado como material de reserva (GRAHAM et al., 2009). As algas vermelhas possuem várias substâncias químicas que podem ser isoladas e que apresentam uma ampla atividade biológica, tornando-as alvo de produtos biotecnológicos inovadores como cosméticos, fármacos, alimentos funcionais, entre outros (TEIXEIRA et al., 1991).

Ochrophyta (diatomáceas, algas pardas e outras algas) apresentam clorofilas *a* e *c* e seus cloroplastos possuem vários carotenóides, incluindo uma quantidade relevante de fucoxantina, uma xantofila presente em seus cloroplastos, que mascara a clorofila e proporciona a sua cor característica (RAVEN et al., 2007). Essas algas também possuem substâncias de reserva, que são a Laminarina e o Manitol (AZEVEDO & NAUER, 2013), que apresentam propriedades interessantes para aplicação destes compostos na área da saúde (PIRES, 2016).

As cianobactérias podem ser consideradas embora juntamente com outras bactérias são organismos procariontes. As propriedades morfológicas, bioquímicas e fisiológicas permitiram que as cianobactérias conseguissem sobreviver e persistir nos mais diversificados habitats do planeta (PALINSKA et al., 2006). A diversidade das cianobactérias acabou sendo estudada tradicionalmente junto com as algas eucarióticas porque ambas ocorrem ao mesmo tempo em uma variedade de habitats aquáticos e além disso, compartilham da propriedade de realizarem fotossíntese oxigênica (PALINSKA et al., 2006). A taxonomia das cianobactérias foi alterada substancialmente nas últimas décadas, principalmente após a aplicação de métodos de análise de ultraestrutura e moleculares, o que permitiu compreender que o grupo atualmente denominado cianobactérias é constituído por linhagens evolutivas distintas (KOMÁREK, 2003).

Mais de quatro milhões de toneladas de algas são cultivadas anualmente em todo o mundo, e a partir delas são obtidas grandes quantidades de produtos, incluindo alguns fundamentais para a vida do ser humano moderno (VIDOTTI et al., 2004). Atualmente, os produtos feitos a partir de algas abastecem principalmente os mercados de cosméticos, nutrição humana e animal. Esses produtos possuem um considerável valor agregado e são produzidos em pequena e média escala, principalmente na China, no Japão e nos Estados Unidos (BRASIL, 2016). Em muitos países, as indústrias alimentícias utilizam uma grande variedade de derivados de algas, além disso, algas e produtos derivados de algas também

apresentam um impacto econômico em diferentes setores (MARINHO, 2011). Dados de 2004 mostraram que a indústria mundial de algas movimentou cerca de US\$ 6 bilhões de dólares, onde os principais produtos estavam relacionados à alimentação humana, ficolóides e à agricultura (CHOPIN & SAWHNEY, 2009).

A biotecnologia das algas pode ser desenvolvida para diversas aplicações em diferentes bioprodutos, dentre os quais podemos citar os combustíveis, fármacos, cosméticos e suplementos alimentares, que consistem em produtos de valor agregado e que podem ser produzidos em pequena e média escala, principalmente na China, no Japão e nos Estados Unidos (BRASIL & GARCIA, 2016). A produção de microalgas constitui uma tendência mais recente e crescente com relação ao cultivo de algas, onde sua produção anual mundial de biomassa triplicou no período de 2004 a 2013 (BRASIL & GARCIA, 2016).

## 2.2 PRINCIPAIS POTENCIAIS BIOTECNOLÓGICOS OBTIDOS A PARTIR DAS ALGAS

A biotecnologia de microrganismos tem sido desenvolvida para distintas aplicações industriais e algumas espécies de algas se destacam por apresentar características de interesse da indústria (SIMÕES et al., 2016). A enorme diversidade taxonômica das algas implica em uma grande diversidade de produtos derivados, os quais permitem uma série de aplicações (Figura 1).

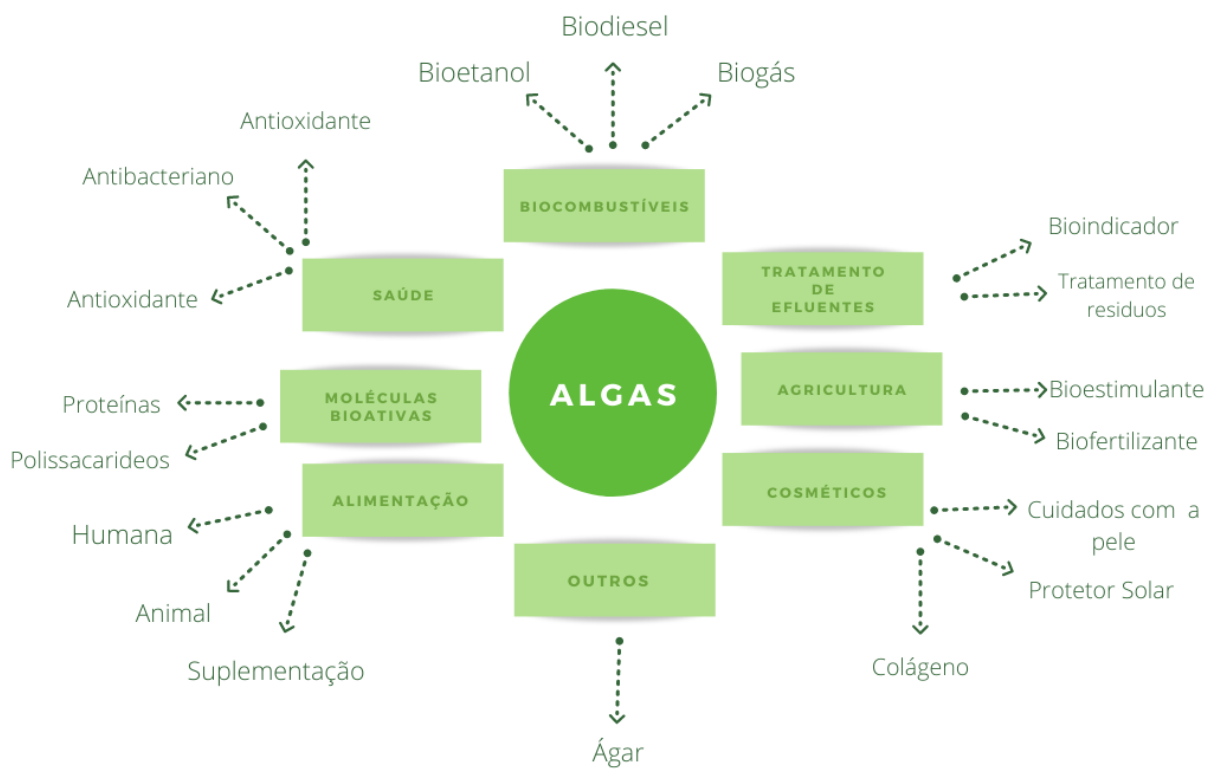


Figura 1: Principais utilizações biotecnológicas das algas de acordo com informações citadas na literatura. Esquema produzido pela autora.



### 2.2.1 Moléculas bioativas

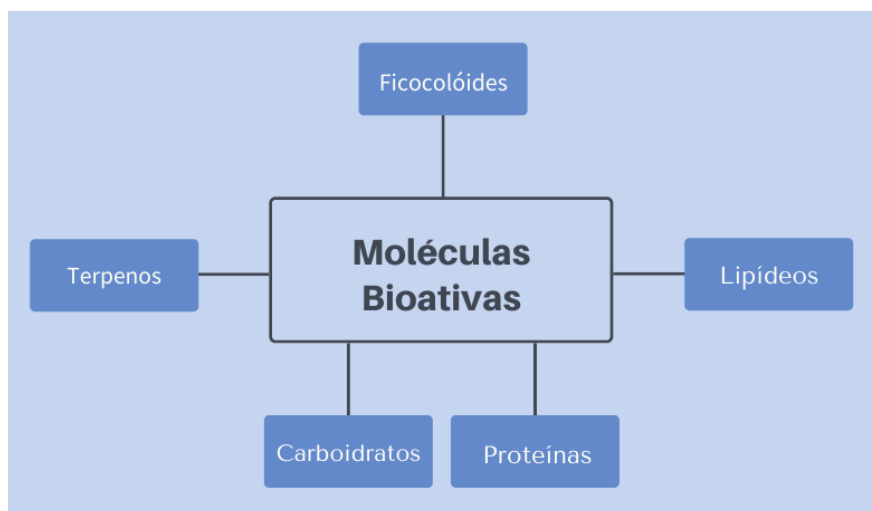


Figura 2: Principais moléculas bioativas que podem ser obtidas através das algas. Esquema produzido pela autora.

Os organismos fotossintetizantes, entre eles notavelmente as algas, apresentam dois tipos de metabólitos: primários e secundários, onde os primários exercem funções essenciais e possuem uma distribuição universal, já os secundários estão associados às estratégias de defesas do organismo (TAIZ & ZEIGER, 2009). Em geral, compostos secundários que estão presentes nas plantas e algas estão relacionados com o seu sistema de defesa contra ação da radiação ultravioleta e ataques de insetos ou doenças (MARKETING et al., 2019).

As algas são fonte de fitoquímicos biologicamente ativos e muitos desses compostos foram reconhecidos por possuírem atividade biológica benéfica para a saúde humana e animal (CABRAL et al., 2011). Esses compostos desempenham diferentes papéis, como atividade antioxidante, estimulação do sistema imune, equilíbrio do nível hormonal e atividade antibacteriana e antiviral (CASTRO, 2015).

Os compostos bioativos são moléculas de origem sintética ou natural que são estudadas quanto às suas atividades biológicas e contribuem para importantes descobertas em diversas áreas terapêuticas. Esses compostos podem ser oriundos do metabolismo primário ou secundário (AMORIM et al., 2016), porém, normalmente, são provenientes do metabolismo secundário das algas e incluem diferentes tipos de substâncias que variam a partir de ácidos orgânicos, carboidratos, aminoácidos e peptídeos, como podemos observar na *figura 2* (SIMÕES et al, 2016). Essas moléculas vêm sendo utilizadas para desempenhar

atividades biológicas cada vez mais significantes em função de suas habilidades antioxidante, antimicrobiana, antitumoral, hipocolesterolêmica, entre outras (TANG et al., 2020). Esses efeitos biológicos aumentam a exploração de novas fontes potenciais. Desse modo, a aplicabilidade terapêutica das moléculas bioativas algais tem colocado essa biofonte em evidência (NASCIMENTO et al., 2021). A busca por compostos bioativos através de algas tem como fator essencial a manutenção controlada e a produção desses organismos, para que se possa explorá-los como uma potencial fonte economicamente viável de produtos biotecnológicos (SIMÕES et al., 2016).

O forte perfil bioativo observado em alguns estudos sugere que alguns metabólitos provenientes de algas podem ser futuramente utilizados como fármacos ou como protótipos de novos agentes antitumorais e anti bacterianos (MACHADO et al., 2010). As macroalgas marinhas são organismos promissores na síntese desses compostos, pois vivem em ambientes que possuem diversas interações biológicas e condições abióticas extremas e, para a sua sobrevivência, acabaram desenvolvendo estratégias de defesa, resultando na produção de um grande número de compostos químicos a partir de diferentes rotas metabólicas (YOKOYA, 2010).

Além disso, as algas sintetizam vitaminas, antioxidantes, ácidos graxos, aminoácidos, bases nitrogenadas, uma diversidade de polissacarídeos e ainda são capazes de sintetizar moléculas capazes de absorver a radiação ultravioleta, que são chamadas de *mycosporine-like amino acids* (MAAS) (CARDOZO et al., 2006). Macroalgas são fontes promissoras de peptídeos bioativos e carboidratos com atividades biológicas benéficas potenciais, além disso, as algas contêm polissacarídeos, como alginato, carragena e ágar, que são comumente usados como hidrocolóides alimentares, fornecendo funcionalidade textural relevante em vários alimentos processados (BOUKID & CASTELLARI, 2021).

Metabólitos bioativos de origem microalgal são de interesse especial no desenvolvimento de novos produtos farmacêuticos, cosméticos e indústrias de alimentos. No entanto, mais pesquisas devem ser conduzidas com estes compostos bioativos para verificar seus efeitos benéficos para os humanos, sua degradabilidade quando liberado no meio ambiente, e seus efeitos quando usado em animais (BHATTACHARJEE, 2016). De acordo com Aguiar et al., existem diversos metabólitos secundários com propriedades antioxidantes nas algas pardas e seus extratos são um grande potencial para as indústrias farmacêutica, alimentícia e

cosmética.

Dentre os diferentes compostos bioativos que podem ser extraídos das algas, destacam-se os polissacarídeos sulfatados, que estão localizados na matriz mucilaginosa das algas (MICHEL et al., 2010). Os ficocolóides são importantes compostos bioativos que consistem em substâncias mucilaginosas que são extraídas de algas, sendo compostos por polissacarídeos coloidais que, quando entram em contato com um meio aquoso, formam substâncias viscosas, incluindo géis, que podem se solidificar, com o decréscimo da temperatura (FACCHINI, 2007).

A utilização das algas marinhas como fonte de ficocolóides teve início em 1968, quando as propriedades emulsificantes e estabilizantes do ágar extraído de uma alga foram descobertas no Japão. No entanto, somente após a Segunda Guerra Mundial que o uso industrial dos extratos de algas marinhas começou a se expandir largamente (SANTOS, 2013). Os ficocolóides podem ser classificados em: alginatos, ágar e carragenanas e a utilização destas substâncias em diferentes tipos de indústrias vem crescendo à medida que novas e diferentes propriedades destes ficocolóides são desenvolvidas (FACCINI, 2007).

Um dos componentes bioativos mais explorados nas algas marinhas são aqueles que desempenham efeitos antioxidantes no organismo (HALLIWEL, 2000) e entre os principais compostos antioxidantes presentes em algas, destacam-se os carotenóides, ácido ascórbico e os compostos fenólicos (CHAGAS, 2015). Dada a importância de compostos que apresentem ações antioxidantes, Lopes (2020) realizou a recuperação de compostos bioativos da alga *Fucus vesiculosus* L., realizando a determinação dos fenóis totais, dos taninos, das proteínas, dos glúcidos e do manitol, onde concluiu-se que o extrato da *F. vesiculosus*, apresentou uma atividade antioxidante promissora.

Os carotenóides são pigmentos derivados do isopreno, o caroteno é um precursor da vitamina A e o consumo de carotenóides na alimentação está associado à redução da incidência de determinadas patologias, ao prevenir a foto-oxidação resultante dos raios UV (CARDOZO et al, 2007). Jin e Melis (2003) apresentam que as espécies do gênero *Dunaliella* T. são bem conhecidas na indústria biotecnológica, onde são amplamente utilizadas para a produção de produtos bioquímicos valiosos, como os carotenóides, além disso, algumas cepas de *Dunaliella* podem ser cultivadas comercialmente para produzir farinhas de algas secas, como ácidos graxos poliinsaturados e óleos para a indústria de alimentos

saudáveis e agentes corantes para as indústrias de alimentos e cosméticos.

A composição química das diferentes espécies de algas demonstra que sua maioria apresenta um valor nutricional satisfatório, sendo fontes de proteínas, carboidratos, fibras, minerais e vitaminas, além de serem pouco calóricas e apresentarem baixo teor de gordura (DHARGALKAR e VERLECAR, 2009). Uma grande vantagem de se cultivar algas é a obtenção de seus compostos bioativos, que podem ser utilizados na alimentação de diferentes organismos ou para seu uso em processos ambientais (PEREZ-GARCIA et al. 2011). Dessa forma, a busca por compostos bioativos provenientes de microalgas vêm se tornando cada vez mais promissora, facilitando a obtenção de diferentes moléculas (SIMÕES et al, 2016).

### 2.2.2 Alimentação



Figura 3: Principais utilizações na indústria alimentícia.

As características dos diferentes tipos de algas se diferem com relação a fisiologia e aos compostos presentes, dessa forma, algumas possuem um maior conteúdo mineral, outras um maior teor proteico, e algumas apresentam alto conteúdo de fibras (SOARES et al., 2012). Há séculos as macroalgas são empregadas na alimentação dos povos orientais, sendo a China o maior produtor, com uma produção anual de 5 milhões de toneladas (VASCONSELOS, 2015). Os seres humanos possuem uma diversidade de padrões alimentares e a busca de uma alimentação saudável com base em novos produtos que possuem alto valor

nutricional, tem sido cada vez mais explorados (CARNEIRO et al., 2012).

Aproximadamente 250 espécies de macroalgas são comercializadas no mundo e mais da metade delas são favoráveis ao consumo humano (KUMARI, 2010). As algas são inseridas na alimentação visando seu valor nutricional, sabor, cor e textura sendo combinadas com diversos tipos de alimentos (FACCINI, 2007). Além disso, em razão do alto teor de proteínas, fibras e baixo valor calórico, as algas são uma boa fonte alternativa como nutriente para a alimentação humana (FLEURENCE et al., 2012). As algas que são utilizadas para alimentação humana são provenientes, principalmente, de cultivo, uma vez que a retirada destas poderia ocasionar um impacto ambiental grande (DE FREITAS VASCONCELOS, 2013).

A aplicação de microalgas mais comum tem sido na aquicultura, para a alimentação direta ou indireta de algumas espécies de peixes, moluscos, crustáceos e de diversos organismos forrageiros de interesse econômico (DERNER et al., 2006). No entanto, atualmente há um crescente interesse nos compostos nutracêuticos que são sintetizados pelas microalgas, como os ácidos graxos poliinsaturados e pigmentos carotenóides, que apresentam propriedades terapêuticas (GILL & VALIVETY, 1997; TRIPATHI et al., 1999).

As algas estão ganhando popularidade como “superalimentos” em todas as categorias de alimentos e bebidas, como ingredientes principais, agentes aromatizantes ou corantes naturais em lançamentos premium, pois as algas são uma fonte valiosa de proteínas, carboidratos, fenóis, vitaminas e minerais, dependendo da espécie (BOUKID & CASTELLARI, 2021).

As algas podem ser incluídas em dietas normais e em dietas especiais, como complemento ou contribuição específica (BOURGOUGNON, 2011). As algas comestíveis, em sua grande maioria, são ricas em compostos que possuem grande importância para o organismo humano, uma vez que possuem importantes funções na estrutura das membranas celulares e nos processos metabólicos e ação hipocolesterolemizante (RODRIGUES, 2015). As algas possibilitam a obtenção de produtos relativamente mais baratos, uma vez que o investimento para seu cultivo é muito menor que o de outras modalidades (CABRAL et al., 2011; SOUZA, 2011). Ainda, as microalgas podem ser aproveitadas na alimentação animal como ração para a avicultura e a aquicultura e algumas substâncias que são sintetizadas por elas podem ser incluídas na alimentação humana como complementos nutricionais e substitutos proteicos (MALAJOVICH, 2016). A qualidade nutricional das algas

juntamente com o alto teor de compostos bioativos com propriedades benéficas para a saúde que elas possuem, constituem duas razões importantes para seu consumo (GUTIÉRREZ CUESTA et al., 2016).

Dessa forma, além de serem utilizadas na indústria alimentícia como suplementos alimentares e como complemento de alimentos funcionais, as algas também são adicionadas aos produtos cárneos, como bifes, salsichas, bem como aos peixes, derivados e óleos, para melhorar sua qualidade. Já os produtos à base de cereais, como massas, farinhas e pães, são outro grupo de produtos que podem ser enriquecidos com algas (ŚCIESZKA & KLEWICKA, 2019). Devido às suas propriedades, as algas também podem ser utilizadas para a construção de alimentos funcionais fermentados, onde a combinação de produtos fermentados com alto teor de bactérias lácticas com algas possuindo metabólitos biologicamente ativos de origem natural permite não só compor produtos com alto teor de nutrientes, mas também criar um novo segmento de alimentos fermentados (ŚCIESZKA & KLEWICKA, 2019).

Na alimentação animal a utilização de algas ainda não é muito explorada, apesar de ser um ingrediente relativamente barato, com grande abundância e de fácil cultivo (MAVROMICHALIS, 2013). As microalgas podem ser adicionadas na alimentação a partir de compostos isolados de seus extratos (MARIUTTI & BRAGAGNOLO, 2007).

As algas marinhas são um grande recurso, economicamente acessível e atraente para uso como ingrediente na alimentação, além disso, fornece nutrientes e compostos bioativos (QUITRAL et al., 2012). Porém, mesmo compreendendo o potencial nutricional das algas, o desenvolvimento de produtos à base de algas para humanos ainda é muito escasso (NUNES, 2006) e o avanço da biologia molecular para a produção e a criação de alimentos funcionais são significativamente importantes, uma vez que o consumo destes alimentos pode trazer benefícios para toda a população (BURITI et al., 2021). Além disso, a concentração de algas que deve ser utilizada precisa ser corretamente controlada, para que a sua inclusão na alimentação como ingrediente funcional ocorra com êxito (QUITRAL et al., 2012).

Dentre os pigmentos naturais, os carotenóides são fitonutrientes que auxiliam em diferentes funções vitais nos organismos dos animais e seres humanos (MANFREDI, 2014). Os carotenóides são pigmentos de grande interesse no setor alimentício por conta de sua coloração, atividade pró-vitamina A e antioxidante

(MORAIS, 2006). Tipos distintos de carotenóides podem ser encontrados em diferentes células microalgais e é possível incrementar a síntese deste composto através da manipulação das condições de cultivo das microalgas escolhidas (DERNER et al., 2006). Quando presentes na alimentação podem apresentar uma melhora significativa dos problemas de saúde humana, como a catarata, a degeneração macular senil e a imunodeficiência (CHEW & PARK, 2004).

Carneiro et al. (2012) analisaram o potencial nutricional das algas vermelhas *Hypnea musciformis* A. e *Solieria filiformis* G. e, de acordo com os resultados obtidos, concluíram que essas algas vermelhas apresentaram teores de cinzas elevados indicando altos níveis de minerais, quantidades significativas de fibra e de proteína bruta, bem como de lipídios totais baixo. Dessa forma, ambas as algas vermelhas estudadas exibiram um amplo aspecto de composições nutricionais que os tornam excelentes candidatos para uma alimentação adequada à nutrição humana.

Costa Neto et al. (2010) examinaram a utilização de uma farinha de algas marinhas *Lithothamnium calcareum* P. como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. Com este estudo, os autores concluíram que a alga marinha *Lithothamnium calcareum* contribuiu para um melhor desempenho cicatricial dos cães, pois tanto o grau de radiopacidade como o número de osteoclastos foram maiores nos animais tratados com a suplementação alimentar à base de algas.

Carlos et al. (2011), também avaliaram a utilização da *Lithothamnium calcareum*, como uma fonte alternativa de cálcio para frangos de corte. Dessa forma, observaram que a utilização da alga *Lithothamnium calcareum* em substituição à fonte de cálcio tradicional (calcário calcítico) pode ser recomendada para as rações de frangos de corte, sem prejudicar o desempenho zootécnico, principalmente quando se considera a fase de crescimento e/ou o período total de criação.

Já Carvalho et al (2006) analisaram a utilização de carotenóides provenientes da alga *Schizochytrium* sp. na alimentação de galinhas poedeiras e qual a influência desses carotenóides na pigmentação da gema dos ovos. Com este estudo pode-se observar que a adição de alga à dieta proporcionou progressiva e significativa melhora na qualidade interna dos ovos e na pigmentação da gema avaliada pelos equivalentes  $\beta$ -caroteno e escore visual.

### 2.2.3 Cosméticos

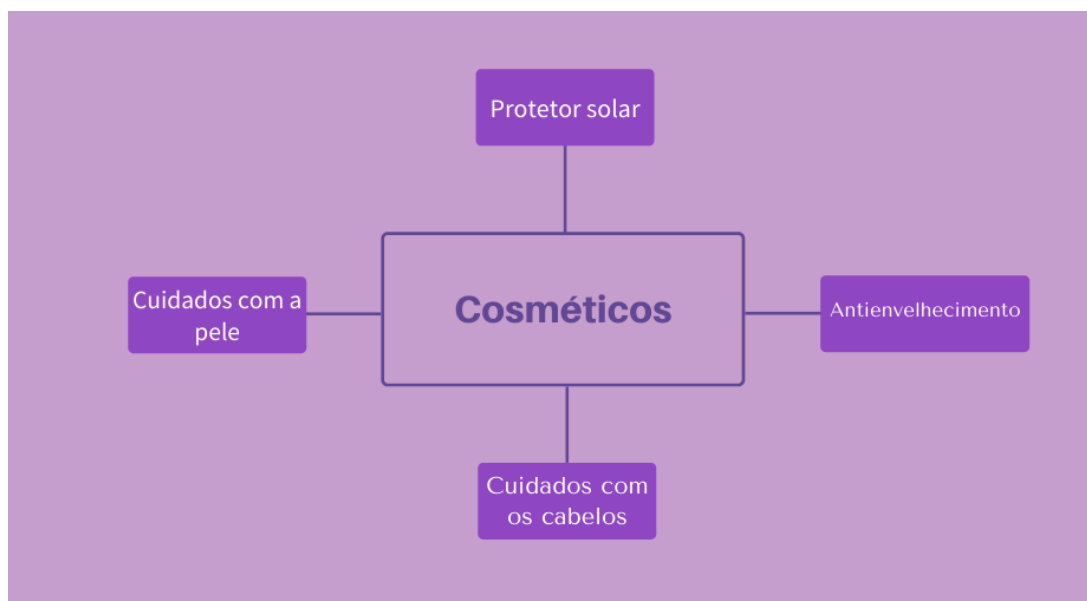


Figura 4: Principais utilizações na indústria de cosméticos.

Os cosméticos podem ser definidos como preparações compostas por produtos naturais ou sintéticos que apresentam como função à higienização, odorização, proteção e alteração da aparência da pele (ANVISA, 2005). Dentro da definição de cosméticos temos os fitocosméticos, onde um dos possíveis ativos vegetais utilizados são as algas (ALMEIDA et al., 2020). A utilização de extratos naturais e alternativos aos ingredientes ativos que são normalmente utilizados na cosmetologia está ganhando cada vez mais espaço no mercado atual, pois normalmente estão relacionados à novas tecnologias e testes para disponibilizar produtos inovadores e com diferentes mecanismos de ação (MELO, 2019).

Extratos de algas e seus produtos são componentes de cosméticos, onde princípios ativos extraídos da biomassa de algas podem ser utilizados de três formas: como aditivos; como estabilização e preservação do produto; e como os compostos que cumprem uma função e atividade cosmética real (MICHALAK et al., 2020). A aplicação dos extratos de algas na indústria de cosméticos não é recente e encontram-se no mercado diversos produtos derivados destes organismos, como podemos observar na *figura 4* (WANG et al., 2015). Muitos cosméticos possuem em sua composição extratos de algas e estes compostos são utilizados para diversas finalidades na indústria cosmética, o que faz com que eles apresentem uma boa posição no mercado cosmético (ALMEIDA et al., 2007). Os extratos de algas podem ser resultantes da extração de misturas de algas e o seu principal mercado é a



indústria cosmética e a de produtos de higiene (DIAS, 2002). Devido à variedade de utilização que os extratos de algas oferecem à indústria de cosméticos aliada à diversidade de espécies de algas encontradas no Brasil, faz com que as algas representem um recurso estratégico para o desenvolvimento da biotecnologia no país (ALMEIDA, 2013).

As algas marinhas são uma fonte abundante de polissacarídeos naturais, como fucoidanos derivados de algas marrons e carragenas de algas vermelhas. Os polissacarídeos possuem um grande número de funções cosméticas, por exemplo eles agem como agentes de suspensão, condicionadores de cabelo e agentes de cicatrização de feridas, e também podem hidratar e emulsificar (WANG, 2015).

Em cosméticos, as macroalgas têm sido tradicionalmente utilizadas como excipientes para seus ficocolóides (GONZÁLEZ MINERO, 2017). Atualmente, extratos de algas podem ser encontrados em produtos de cuidados da pele e rosto, cabelo e proteção solar (SIMÕES et al, 2016). A densidade de nutrientes das algas, como aminoácidos, sais minerais, oligoelementos e teor de vitaminas, fornecem energia às células da pele e os compostos bioativos presentes nas algas são antioxidantes eficientes capazes de exercer funções contra o estresse oxidativo que leva ao envelhecimento da pele. Dessa forma, as algas atuam como um complexo natural antienvhecimento, ativam a pele, protegem-na contra as influências ambientais e combatem os radicais livres e a clorofila, também presente nas algas, contribui significativamente para o suprimento de oxigênio da pele (WANG et al., 2015).

As algas também apresentam compostos fotoprotetores, como os aminoácidos tipo micosporinas, que podem ser aplicados na produção de bloqueadores solares, que protegem a pele contra as agressões das radiações solares (CONDE et al., 2007). Dessa forma, a presença de fitoquímicos radioprotetores e outros compostos em microalgas marinhas têm sido explorados e podem ser usados como ingredientes em formulações cosméticas para fornecer proteção contra a radiação ultravioleta (CASCAREJO, 2018). No mesmo sentido, Stolz e Obermayer (2005) relataram que a utilização do extrato de *Arthrospira* pode reparar os sinais de envelhecimento precoce da pele, e prevenir a formação de estrias, enquanto o extrato de *Chlorella vulgaris* B. estimula a síntese de colágeno na pele, auxiliando na regeneração de tecidos e redução de rugas. Ainda, de acordo com

Jea et al. (2009), algas marrons como *Fucus vesiculosus L.* e *Turbinaria conoides B.*, possuem diversos compostos bioativos e propriedades antioxidantes, podendo ser aplicada para prevenir o envelhecimento da pele e doenças cutâneas.

Shick e Dunlap (2002) descobriram que a alga vermelha *Porphyra umbilicalis K.* possui quantidades significativas de aminoácidos semelhantes à micosporina (MMAs) que podem absorver a luz ultravioleta e, portanto, agir como protetor solar. adicionalmente, de acordo com Wang (2015), *Chondrus crispus K.* é uma alga vermelha que apresenta uma quantidade significativa de polissacarídeos e minerais que possuem efeitos hidratantes e terapêuticos e a alga verde, *Codium tomentosum J.*, possuem extratos que podem regular a distribuição de água na pele e, assim, proteger a pele do ressecamento, principalmente em ambientes secos.

#### 2.2.4 Saúde

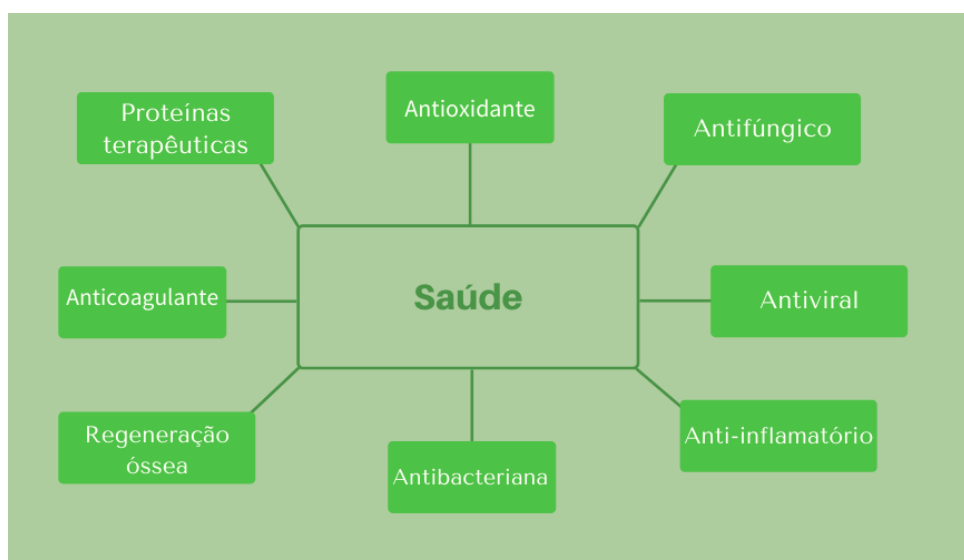


Figura 5: Principais utilizações na saúde.

As algas possuem diversas propriedades medicinais, que podemos observar na *figura 5*, tendo estudos que falam sobre as propriedades contra tuberculose, artrite, gripes, anemias, periodontites e infecções, vários tipos e até câncer (FACCINI, 2007). Com relação à saúde humana, as macroalgas têm tido importância devido à elementos bioativos com capacidade biológica de melhorar a saúde humana (PEREIRA, 2008). A ingestão desses biocompostos provenientes das algas tem sido fortemente associada a efeitos benéficos à saúde atribuídos principalmente

às suas propriedades antioxidantes (CHEN et al., 2018).

A busca por substâncias que possuam uma origem natural com propriedades antioxidantes vem crescendo nos últimos anos, principalmente devido à importância destas substâncias do ponto de vista econômico e médico (TORRES et al., 2017). Desta forma, os aminoácidos presentes na proteína algal têm apresentado importante papel, não somente nutricional, mas também na atividade antiinflamatória e no equilíbrio do estresse oxidativo (TAJIRI & SHIMIZU, 2013).

Atualmente, houve um aumento da procura por microalgas nas indústrias nutracêutica e farmacêutica, pois a suplementação com dietas que apresentam ácidos graxos, que estão presentes em diversas espécies de microalgas, podem ter um efeito benéfico em doenças como a obesidade (DUARTE, 2010). Além das plantas medicinais, as microalgas têm se demonstrado uma alternativa promissora à antibioticoterapia convencional, pois existem diversos estudos que demonstram sua atividade antibacteriana (RIZWAN et al., 2018).

Além de sua importante composição nutricional, as algas são capazes de nos fornecer componentes bioativos importantes para a saúde humana devido a sua função antioxidante como os tocoferóis e os carotenóides (HOLTD, 2011). O betacaroteno é um pigmento que pode ser encontrado nas microalgas, bem como nas macroalgas e nas plantas. Este composto vem sendo utilizado como corante natural, podendo atuar como pró-vitamina A, produto antioxidante e contra doenças degenerativas como o câncer (BEN-AMOTZ, 2004). O betacaroteno de fonte microalgal tem sido comercializado sob três formas: extratos, pó e como biomassa seca (DERNER et al., 2006).

Existem estudos que evidenciam a ação antibiótica de algas marinhas, mostrando que há uma variedade de biocompostos com diferentes estruturas que são capazes de agir como agentes bactericidas ou bacteriostáticos (LIAO et al., 2003). Além disso, algumas toxinas que são produzidas pelas cianobactérias são pesquisadas por suas propriedades farmacológicas, que podem ser aplicadas ao tratamento do câncer, doenças hepáticas e mal de Alzheimer (DE MORAES JÚNIOR, 2007).

Nas algas vermelhas, encontramos o aminoácido livre taurina, que participa de muitos processos fisiológicos, como osmorregulação, imunomodulação, estabilização da membrana; tem um papel muito importante no desenvolvimento ocular e o sistema nervoso (LARSEN et al., 2011). Já nas algas marrons, o

aminoácido fosfoserina é encontrado em altas concentrações, que formam parte da composição de nutracêuticos diferentes para fortalecer e ativar a mente (DAWCZYNSKI et al., 2007).

A capacidade das algas na inibição do crescimento e toxicidade de agentes patogênicos é conhecida há muito tempo (Ibrahim e Sheh-Hong, 2015) e existem algumas espécies que conseguem inibir o crescimento fúngico e bacteriano. Existem vários estudos que demonstram ação antibacteriana, antiviral, antifúngica, antitumoral, entre outras, das algas e dessa forma, a utilização das algas para aplicações na prevenção e tratamento de doenças parece estar a ser seriamente considerada pela indústria farmacêutica (FONSECA, 2016).

As carregenanas, presentes nas algas, podem ser utilizadas em aplicações farmacêuticas, onde estes ficocolóides auxiliam na redução do colesterol, no tratamento de úlceras gástricas, apresentando ainda atividade anti-tumoral, anti-inflamatória e antiviral., O alginato é também utilizado na área farmacêutica como base de medicamentos e pode ainda ser impregnado em compressas e ligaduras para queimaduras, auxiliando na cicatrização, e como agente de neutralização de metais pesados e radioativos em caso de intoxicação (OLIVEIRA, 2015). Além disso, os lipídios presentes nas algas apresentam uma elevada proporção de ácidos graxos essenciais insaturados (SÁNCHEZ-MACHADO, et al., 2004), que podem reduzir o risco de arteriosclerose, doença cardíaca coronária e doença inflamatória (CONNOR, 2000)

Melo et al. (2012) caracterizaram a atividade anticoagulante de polissacarídeos sulfatados extraídos da alga *Dictyopteris justii* L.. Esta alga sintetiza três tipos de polissacarídeos sulfatados e um deles apresentou uma atividade semelhante ao da Heparina, que é um medicamento anticoagulante já existente no mercado. Por sua vez, Simões et al. (2019) analisaram a atividade antibacteriana do óleo da microalga *Chlorella minutissima* F. como alternativa para o tratamento de dermatite atópica e de acordo com os resultados obtidos, confirmou-se a atividade antimicrobiana do óleo e dos extrativos obtidos a partir da microalga *Chlorella minutissima* frente à cepa de *Staphylococcus aureus* testada.

Estudos realizados por Lindwasser e Resh (2002) provaram que o ácido mirístico, composto bioativos que pode ser obtido a partir da alga *Sargassum fusiforme* H., é capaz de inibir a infecção e formação do vírus da imunodeficiência humana. Já Paskaleva e colaboradores (2009) trouxeram perspectivas positivas

quanto a utilização do ácido palmítico extraído também da alga *Sargassum fusiforme*, para o desenvolvimento de terapias que possam ser voltadas ao controle da infecção por HIV-1.

### 2.2.5 Biocombustíveis

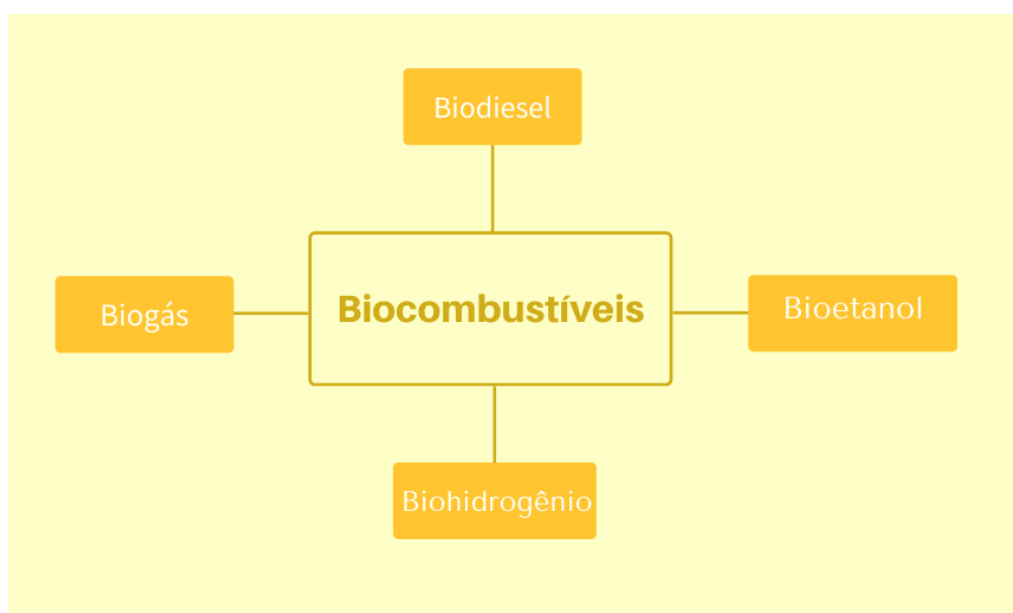


Figura 6: Principais utilizações na indústria de biocombustíveis.

Organismos fotossintéticos, como plantas superiores, algas e cianobactérias, são capazes de utilizar a luz solar e o dióxido de carbono para produzir uma variedade de moléculas orgânicas, que podem ser utilizadas para gerar biomassa ou como fonte de biocombustível (JONES & MAYFIELD, 2012). Biocombustível é o combustível que possui origem biológica não fóssil, fabricado ou a partir de produtos ou a partir de algas (ROMÃO et al., 2021). Os biocombustíveis, são combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos que são classificados de primeira à quarta geração dependendo da matéria-prima de partida (LEE et al., 2021). O produto da transformação destes produtos em combustível faz variar o tipo de biocombustível, sendo os mais conhecidos a biomassa, o bioetanol, o biodiesel e o biogás, como podemos observar na *figura 6* (GOMES et al, 2017). Com uma possível escassez dos recursos fósseis, muitas fontes alternativas de energia vêm sendo analisadas, buscando seu potencial como fontes de biocombustíveis de terceira geração, e entre essas fontes, as microalgas são consideradas uma alternativa promissora devido a

sua elevada eficiência fotossintética (CHENG et al., 2014).

Os biocombustíveis podem ser derivados de produtos agrícolas, porém os conflitos na mudança do uso da terra e a competição das culturas alimentares com as matérias-primas baseadas nas culturas levaram à consideração da biomassa microalgal como matéria-prima para a produção de biocombustíveis (SHOW et al., 2017). Os biocombustíveis provenientes de algas pertencem aos biocombustíveis de terceira geração, que são considerados como uma fonte de energia alternativa aos combustíveis fósseis sem as desvantagens associadas aos biocombustíveis de primeira e segunda geração, que normalmente são derivados de plantas agrícolas e de óleos não comestíveis, respectivamente (MEDIPALLY et al., 2015).

A biomassa das algas pode ser convertida em distintos produtos, incluindo os biocombustíveis, por meio de processos bioquímicos e termoquímicos (DEMIRBAŞ, 2001). A tecnologia fermentativa é capaz de nos fornecer combustíveis eficientes, como o etanol ou o biogás. Além disso, existem outras possibilidades, tais como a obtenção de biodiesel por transformação química de óleos vegetais e, futuramente, a produção de hidrogênio a partir de água, utilizando a capacidade fotossintética das microalgas (MALAJOVICH, 2016). Dessa forma, o uso da biomassa proveniente de algas para a produção de biocombustíveis já é uma realidade, sendo que elas podem ser cultivadas ou retiradas de ambientes eutrofizados (BAUMGART, 2018).

A produção de biocombustíveis provenientes de microalgas é comercialmente viável, pois apresenta um custo competitivo com os combustíveis fósseis, não requer terras extras, melhora a qualidade do ar absorvendo CO<sub>2</sub> atmosférico e ainda utiliza o mínimo de água. Porém biocombustíveis de microalgas possuem algumas desvantagens, como baixa produção de biomassa, baixo teor de lipídios nas células e tamanho pequeno das células, o que torna o processo de colheita muito caro (MEDIPALLY et al., 2015). No entanto, essas limitações podem ser superadas com o aprimoramento das tecnologias de colheita e secagem e engenharia genética de vias metabólicas para alta taxa de crescimento e aumento do conteúdo lipídico (MEDIPALLY et al., 2015).

A produção de bioetanol com distintos tipos de matéria-prima possui variações em seu processo de produção, principalmente nas etapas de pré-tratamento da biomassa, sacarificação, fermentação e recuperação do produto final, dessa forma, o estudo individual de cada um desses parâmetros possibilita a

realização de combinações mais adequadas para a produção do bioetanol (SOUZA et al., 2012). O bioetanol pode ser obtido a partir das algas através da conversão do amido e da celulose e, como as algas são ricas em polissacarídeos e possuem paredes celulares finas, acabam sendo a fonte ideal para o bioetanol de segunda geração (ANTUNES, 2010). Dentre as espécies mais promissoras para produção de bioetanol estão as dos gêneros *Sargassum*, *Gracilaria*, *Prymnesium parvum* C. e *Euglena gracilis* P. (ANTUNES, 2010). A produtividade do bioetanol de algas é duas vezes maior do que a produção de etanol da cana-de-açúcar e cinco vezes maior do que a do milho, o que nos mostra o grande potencial desses organismos para a produção de biocombustíveis de qualidade (ADENIYI et al., 2018). A produção de bioetanol a partir de microalgas é uma alternativa bastante promissora e crescente no âmbito energético, pois a biomassa desses micro-organismos apresenta uma grande biodiversidade, além de conter significativos teores de carboidratos, fator imprescindível para a bioconversão das mesmas em etanol. Devido a esses fatores, há uma constante busca por métodos mais viáveis de pré-tratamento da biomassa, hidrólise e fermentação, tendo como um dos aspectos principais a abordagem de metodologias eficazes no âmbito de qualidade e rendimento deste biocombustível (SOUZA et al., 2012).

A produção de biodiesel a partir de microalgas poderá mudar radicalmente o mercado de combustíveis, pois as microalgas apresentam um potencial de produção de óleo muito superior por área equivalente de cultivo do que as culturas tradicionais produzidas em terra e utilizadas na produção do biodiesel, dessa forma, as microalgas despertaram o interesse mundial (DEFANTI, 2010). Estima-se que seja possível produzir cerca de 50 mil litros de óleo por hectare por ano a partir do cultivo de microalgas, esse valor é cerca de 100 vezes maior que a produtividade média da soja, principal oleaginosa utilizada para fabricação de biodiesel no Brasil (BRASIL, 2014). Para se obter o biodiesel das algas é necessário extrair o seu óleo, que é matéria prima principal para o biodiesel, para a realização desta extração, o método mais simples e mais popular é a prensagem, podendo ser combinado com outros métodos para melhorar a porcentagem de óleo extraído. Após a extração o óleo é refinado e transesterificado, produzindo o biodiesel (DEFANTI et al., 2010). O processo de produção de biodiesel é realizado através da transesterificação ou utilizando tecnologias de “biomass-to-liquid” (BTL) e dentre os tipos de microalgas viáveis para este tipo de processo estão as *Botryococcus braunii* K., *Chlorella* sp.,

*Cryptocodinium cohnii* S., entre outras (ANTUNES, 2010). O processo de transesterificação é um processo de conversão química que envolve a reação de triglicerídeo com álcool na presença de um catalisador adequado. Este processo é necessário porque a viscosidade dos óleos provenientes das algas é maior do que a do diesel de petróleo, dessa forma é necessário reduzir a viscosidade original do óleo de algas para aumentar a sua fluidez (ADENIYI et al., 2018).

A digestão anaeróbia é capaz de transformar a matéria orgânica em gás, produzindo principalmente CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (COONEY et al., 2007). O processo anaeróbio é tradicionalmente utilizado para o tratamento de resíduos agroindustriais e municipais com a finalidade de adequá-los a exigências ambientais. Porém, vem crescendo o interesse da utilização do bioprocessamento anaeróbio para a produção de biocombustíveis, principalmente biogás e bio-hidrogênio (YANG et al., 2007). Para a obtenção do biogás, utiliza-se a tecnologia de fermentação para a obtenção de metano através da digestão anaeróbica das algas (CARDOSO et al., 2011). O metano é considerado um combustível altamente desejado devido à disponibilidade de tecnologia madura e estável para gerar eletricidade a partir do metano (SHOW et al., 2017). Quando comparado a outros biocombustíveis, o biogás possui a vantagem de poder ser produzido através de processamento biológico de toda a fração orgânica da biomassa microalgal e a digestão anaeróbia, comparada a outros processos de produção de biocombustíveis, é operacionalmente mais simples e apresenta uma menor geração de resíduos (HENRARD et al., 2011).

A produção de hidrogênio a partir de microalgas representa uma nova combinação de processos de geração de hidrogênio fermentativo e fotolítico. A produção de hidrogênio por esses microrganismos depende da atividade da enzima hidrogenase que é altamente sensível ao oxigênio (MELIS & HAPPE, 2001). As macroalgas são uma fonte potencial de biomassa para a produção desses gases devido às suas taxas de crescimento rápido, capacidade de crescer em ambientes oceânicos e sua falta de lignina estrutural, já as microalgas fotossintéticas e cianobactérias também são capazes de produzir biohidrogênio diretamente por meio da fotofermentação em um processo anaeróbio envolvendo a oxidação da ferredoxina pela enzima hidrogenase (JONES & MAYFIELD, 2012).

O futuro do biocombustível de algas baseia-se no desenvolvimento de abordagens econômicas para as tecnologias mais eficientes que tornarão a comercialização deste biocombustível mais rápida e bem-sucedida. Além disso os



biocombustíveis de algas são tecnicamente viáveis devido à sua sustentabilidade, e isso os coloca na melhor posição para deslocar potencial e metodicamente os combustíveis obtidos do petróleo bruto (ADENIYI et al., 2018).

Menezes et al.(2013) avaliaram o potencial de microalgas dulcícolas como matéria prima para a produção de biodiesel e levando em consideração a importância do rendimento da conversão de lipídios em ésteres para a rentabilidade da produção de biodiesel. Dentre as microalgas dulcícolas analisadas, *Choricystis* sp. apresentou melhor rendimento na obtenção de ésteres metílicos de ácidos graxos, sendo superior ao apresentado pela soja. Além disso, essa microalga também apresentou uma proporção adequada entre ácidos graxos saturados e monoinsaturados e, por conta desses resultados, a microalga *Choricystis* sp. demonstrou potencialidade para ser utilizada como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel.

Apesar das algas possuírem um grande potencial como matéria prima para biocombustíveis, os métodos de conversão de biocombustíveis de algas, como transesterificação, fermentação e hidrotreatamento, são mais complexos e economicamente mais caros, quando comparados aos combustíveis fósseis e até mesmo aos biocombustíveis de outras matérias-primas. Dessa forma, o futuro do biocombustível de algas está baseado no desenvolvimento de novas abordagens mais econômicas para as tecnologias, que tornarão a comercialização deste biocombustível mais rápida e bem-sucedida (ADENIYI et al., 2018).

## 2.2.6 Agricultura

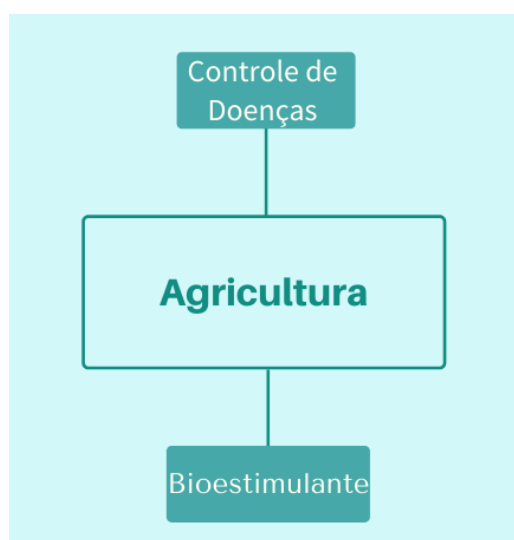


Figura 7: Principais utilizações na agricultura.

Atualmente, a grande utilização de fertilizantes, herbicidas e pesticidas para o que ocorra o aumento da produção agrícola e o impacto ambiental que é causado por essas substâncias são problemas que necessitam de soluções e a utilização das algas como bioestimulantes na agricultura pode ser uma solução (YOKOYA, 2010).

Produtos que apresentam ação bioestimulante em culturas agrícolas vêm sendo utilizados pelo seu efeito hormonal benéfico na nutrição e crescimento das plantas, com o intuito de aumentar a produtividade (GALINDO, 2019). O uso de compostos biológicos à base de organismos naturais, como as algas marinhas, vem apresentando crescimento expressivo nos últimos anos no setor agrícola (ECHERT, 2019). Bioestimulantes são compostos que possuem origem orgânica e apresentam em sua composição reguladores vegetais e substâncias que promovem o crescimento vegetal de forma indireta (GALINDO, 2019). Quando estes bioestimulantes são adicionados aos exsudatos das raízes das plantas têm a capacidade de influenciar na manutenção do contato entre o solo e a raiz, além de contribuir para o crescimento das próprias raízes e sobrevivência das plantas (KLAHOLD et al., 2006). Os benefícios resultantes da aplicação de bioestimulantes podem ser observados nas sementes, aumentando seu potencial de germinação e rápida emergência. Nos estágios iniciais de desenvolvimento das culturas, os bioestimulantes estimulam o crescimento da raiz, promovendo estabelecimento uniforme das plantas, melhorando a resistência contra pragas e doenças, contribuindo para uma rápida recuperação em situações de estresse e auxiliando na capacidade da planta em absorver nutrientes (FETTER, 2018).

Muitas algas apresentam uma capacidade bioestimulante, o que as tornam capazes de incrementar o desenvolvimento e a produtividade vegetal (CASTRO, 2001). As macroalgas possuem em sua composição nutrientes, aminoácidos, vitaminas e diversos compostos que são capazes de estimular a produção endógena de alguns hormônios vegetais, que atuam como promotores do desenvolvimento vegetal (STIRK et al., 2003). Buscando a melhora do desempenho de culturas agrícolas, a utilização de extratos de algas tem crescido, principalmente por ser bioestimulante alternativo e eficiente (KUMAR, 2011). Dessa forma, algumas algas são utilizadas nas formas secas ou em extratos e comercializadas no mundo todo como bioestimulantes ou como fertilizantes (DA COSTA, 2013), estes produtos contendo extratos de algas têm apresentado efeitos positivos no crescimento,

desenvolvimento e conseqüentemente nos rendimentos das culturas (MATYSIAK et al., 2011).

De acordo com Silva (2018), o uso de algas (*Ascophyllum nodosum*) tem sido uma das ferramentas tecnológicas utilizadas para a cultura do milho, pois trata-se de uma fonte natural de macro e micronutrientes, aminoácidos, hormônios vegetais e carboidratos. Tais substâncias têm efeitos fisiológicos sobre a cultura do milho, melhorando o desenvolvimento radicular e estabelecendo um maior vigor às plantas, além de promover uma maior uniformidade no florescimento e aumento da produtividade. Cecato e Moreira (2013), avaliaram a utilização de extratos desta mesma alga no cultivo da alface. De acordo com os autores, as doses de extrato de algas influenciaram de forma positiva todas as variáveis estudadas da cultura, para as condições experimentais.

#### 2.2.7 Perspectivas futuras

As algas apresentam oportunidades promissoras para a produção de biocombustíveis, energia e produtos naturais de grande valor agregado. Porém, ainda existem muitos desafios que permanecem sem solução e impedem o surgimento bem-sucedido da produção comercial e em grande escala (MACÍA MATEOS, 2019). Atualmente, ainda não foi possível atingir um processo em que a produção de biodiesel seja rentável em escala industrial. Entretanto, existem outros produtos, gerados a partir de algas, que já são comercializados no mercado atual, como por exemplo, os suplementos alimentares para consumo humano, ração animal ou produtos destinados à indústria farmacêutica (MACÍA MATEOS, 2019).

Dessa forma, devido à grande importância econômica que as algas possuem, existe uma elevada necessidade de obtenção de melhores técnicas de isolamento de extratos de algas, frações ou compostos puros e de novas estratégias para bioprospecção e rápido screening de extratos e frações de bioatividades (MARINHO-SORIANO, 2011).

### 3 OBJETIVOS

Esta revisão sistemática de literatura foi desenvolvida com o objetivo geral de sintetizar os dados sobre espécies e gêneros de algas mais estudados do ponto de vista biotecnológico. Essa síntese de dados facilitará o acesso de potenciais espécies a serem utilizadas, bem como, evidenciará lacunas de conhecimento nos diferentes grupos de algas.

Como objetivos específicos foram propostos:

- Levantar na literatura artigos com dados primários utilizando algas como fonte de produtos com potencial biotecnológico;
- Sintetizar os dados sobre os gêneros e/ou espécies utilizadas nos artigos com essa finalidade;
- Fazer correções taxonômicas e averiguação de nomes para criação de lista com informações de táxons;
- Identificar os ambientes naturais de procedência das algas listadas;
- Relacionar os nomes dos táxons com o uso;
- Discutir sobre grupos potenciais e lacunas do conhecimento.

## 4 METODOLOGIA

Este estudo apresenta uma abordagem qualitativa e quantitativa do potencial biotecnológico das algas que podem ser encontradas no Brasil e no Paraguai. Este estudo pode ser caracterizado como um estudo observacional retrospectivo de recuperação e análise crítica da literatura, tendo como objetivo levantar, reunir, avaliar criticamente a metodologia da pesquisa e sintetizar os resultados de diversos estudos primários.

Inicialmente foi necessário realizar uma busca na literatura geral sobre quais potenciais biotecnológicos das algas vêm sendo explorados nos últimos vinte anos e o porquê delas serem alvo da biotecnologia atual. Nessa etapa, pode-se agrupar importantes dados sobre produtos biotecnológicos já existentes e quais são as perspectivas para os próximos anos. Os dados obtidos nessa parte inicial foram utilizados para a revisão apresentada anteriormente neste estudo.

As revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários, que têm nos estudos primários sua fonte de dados (GALVÃO & PEREIRA, 2014). Dessa forma, a revisão sistemática consiste numa metodologia rigorosa proposta para: identificar os estudos sobre um tema em questão, aplicando métodos explícitos e sistematizados de busca; avaliar a qualidade e validade desses estudos, assim como sua aplicabilidade no contexto onde as mudanças serão implementadas, para selecionar os estudos que irão fornecer as evidências científicas (DE-LA-TORRE-UGARTE, 2011).

Para a realização desta revisão sistemática da literatura, foi utilizado o seguinte roteiro de pesquisa, que pode ser observado no fluxograma 2: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) avaliação da qualidade metodológica e (6) redação e publicação dos resultados (GALVÃO & PEREIRA, 2014)



Figura 8: Metodologia utilizada para o presente estudo.

Os estudos científicos foram buscados no banco de dados Google Acadêmico, pois se trata de uma plataforma multidisciplinar, internacional e de fácil acesso, o que proporcionou uma ampla abordagem para a temática proposta.

Inicialmente, aplicou-se os seguintes descritores a partir de palavras-chave atribuídas a partir dos objetivos da pesquisa: biotecnologia das algas, algas com potencial biotecnológico, moléculas bioativas das algas, cosméticos a base de algas, algas na saúde, ágar a base de algas, biocombustíveis a partir de algas e algas na alimentação, etc. As combinações foram as mais variadas dentro da temática, de acordo com as palavras-chave. Esses termos foram inseridos de forma concomitante, podendo estar no título do artigo, resumo ou palavras-chave.

Posteriormente, os resultados foram organizados conforme a temática central de cada trabalho e com relação aos resultados que foram obtidos. Utilizou-se como critério de inclusão para o material obtido: artigos originais, no período de 2000 a 2021 e pesquisas que relacionavam as algas com a biotecnologia. Logo, o critério de exclusão foram os artigos em que não atendiam aos assuntos relacionados ao tema mencionado. Os artigos selecionados foram sistematizados de

acordo com o tipo de estudo, espécies ou gêneros de algas analisados e seus principais resultados.

Para obtenção dos primeiros resultados, através de todas as informações obtidas em diferentes estudos, analisou-se quais gêneros e espécies de algas possuem potenciais biotecnológicos e quais são esses potenciais.

Após a organização dos estudos analisados, estabeleceram-se oito categorias distintas relacionadas ao tipo de potencial que cada gênero ou espécie de algas possuem: fornecimento de moléculas bioativas, cosméticos, saúde, biocombustíveis, agricultura, alimentação, tratamento de efluentes e outros. E então, pode-se organizar e analisar quais gêneros e espécies possuem potenciais em cada uma dessas categorias.

Além de organizar as algas através de seus potenciais, elas também foram organizadas de acordo com a ordem, filo e ambiente em que vivem.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicabilidade dos compostos químicos presentes nas algas é muito diversificada e sua pesquisa tem emergido desde 1970, onde diversos metabólitos de algas foram identificados (CARDOZO et al., 2006). Nos últimos anos, verificou-se um aumento dos estudos relativos a aplicações de algas por conta da identificação de diversas substâncias sintetizadas por estes organismos, além disso, as algas são uma potencial fonte de obtenção de variados compostos biologicamente ativos podendo estes ser empregues no desenvolvimento de diversos produtos biotecnológicos (FONSECA, 2016). Após filtrar vários estudos, selecionou-se 89 artigos diferentes, que se destacaram por estarem relacionados a utilização de algas para a produção de diferentes produtos biotecnológicos.

### 5.1 FILOS E ORDENS

Dentre os gêneros e espécies analisados durante a realização deste estudo, observou-se a presença de sete filos distintos, dentre os quais, o filo *Rhodophyta* e o filo *Chlorophyta* se destacaram por serem identificados mais de quarenta vezes durante a análise dos dados, como pode-se observar na figura 9. Além disso, foram observados mais de quarenta ordens distintas, que podem ser observadas na figura 10.



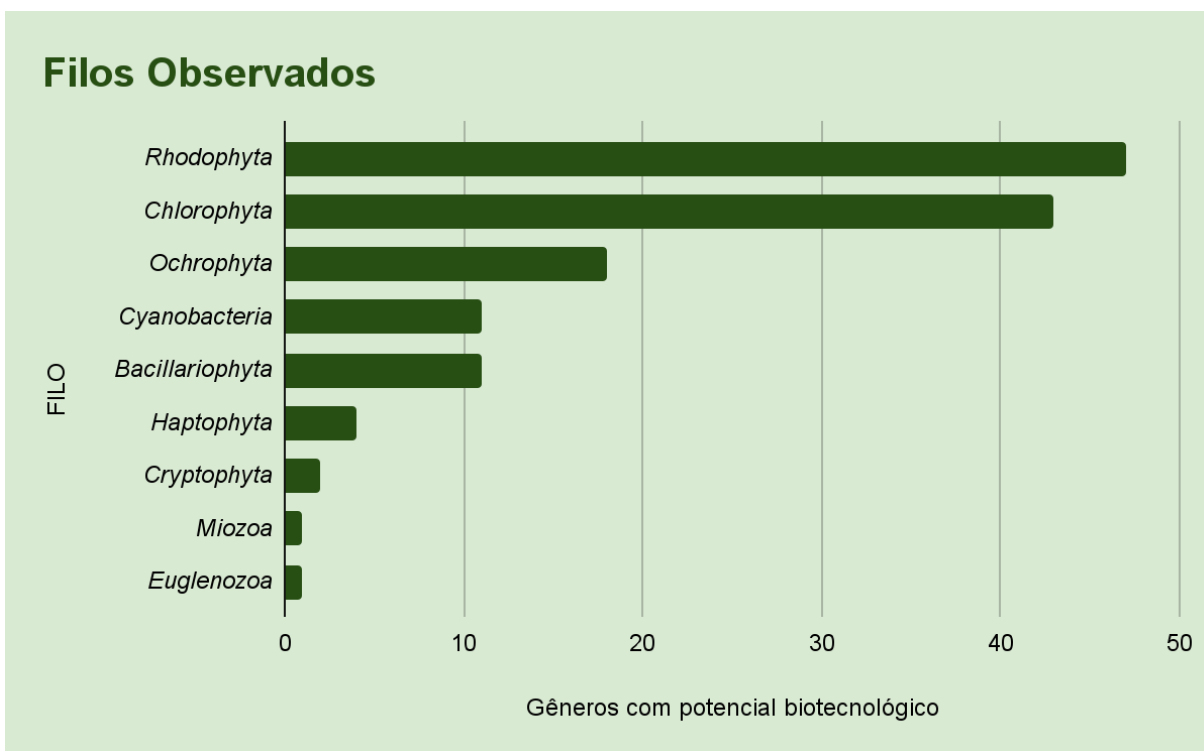


Figura 9: Gráfico da porcentagem de algas, que apresentam um ou mais potenciais biotecnológicos, em cada filo.

Entre os grandes grupos, algas verdes (*Chlorophyta*) e algas vermelhas (*Rhodophyta*) foram as mais representativas. Provavelmente, esse resultado se dá porque o cultivo mais tradicional de algas utiliza espécies de macroalgas vermelhas (*Rhodophyta*) e pardas (*Phaeophyta*) para produção de espessantes, como alginato, carragenanas e ágar-ágar, que podem ser extraídos de algas marinhas, onde essas substâncias são colóides, que são basicamente uma mistura de elementos que pode formar soluções viscosas, podendo ser utilizados em diversos setores diferente, como por exemplo, em meios de cultura utilizados para o crescimento de microrganismo em laboratórios e gelificantes na indústria alimentícia (BRASIL, 2016; BRITES, 2010). Já o cultivo de microalgas constitui uma parte mais recente e crescente da produção de algas, onde as principais espécies cultivadas pertencem aos gêneros *Arthrospira* (*Cyanobacteria*) e *Chlorella* (*Chlorophyta*), sendo utilizadas como fontes de pigmentos ou como suplementos proteicos (BRASIL, 2016).

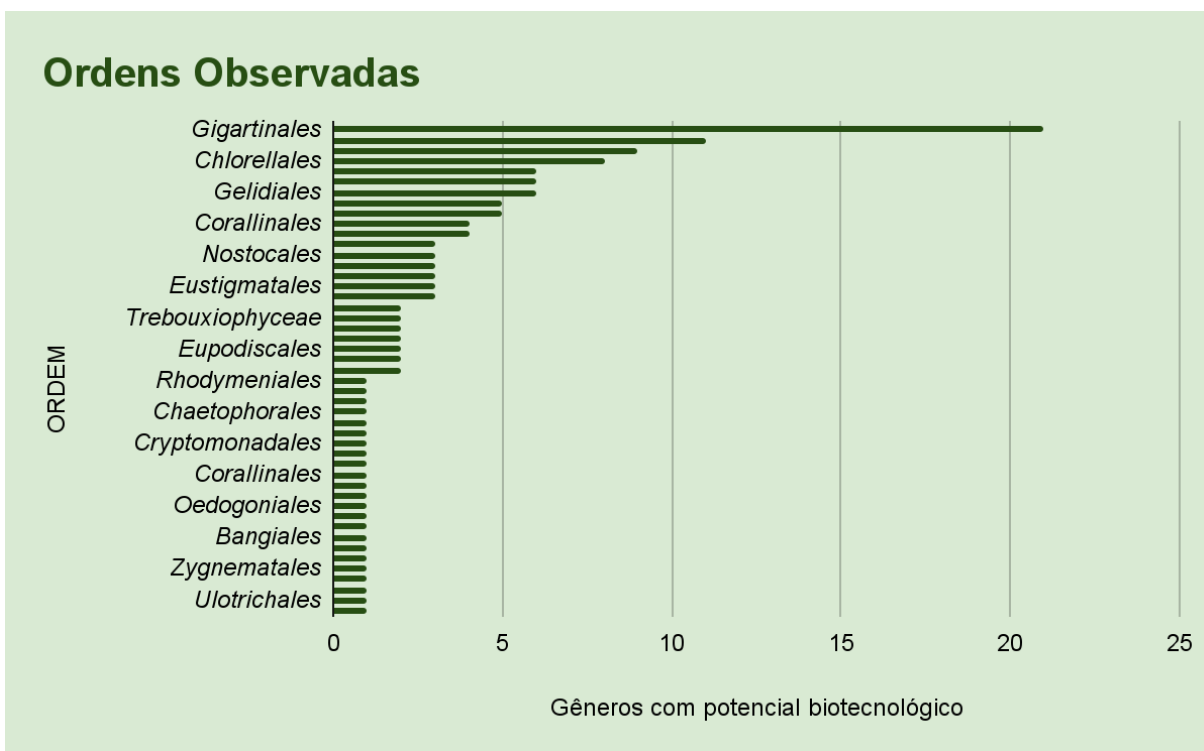


Figura 10: Gráfico das ordens que apresentam um ou mais potenciais biotecnológicos e que foram observadas de forma recorrente na literatura.

## 5.2 GÊNEROS E ESPÉCIES

De acordo com os resultados obtidos nos mais de 80 artigos analisados, pode-se verificar cerca de 95 gêneros diferentes e cerca de 140 espécies distintas.

Na Figura 11, podemos observar os gêneros que foram mais citados nos artigos estudados e na Figura 12, as espécies mais citadas. Durante a análise dos dados observou-se que existem gêneros e espécies que são mais estudados, aparentemente pelo fato de serem relativamente mais fáceis de se cultivar em distintas regiões do planeta ou ainda pela quantidade de produtos que podem ser obtidos através da mesma espécie ou do mesmo gênero. Dentre esses gêneros de algas, podemos citar *Chlorella* (*Chlorophyta*), *Dunaliella* (*Chlorophyta*), *Scenedesmus* (*Chlorophyta*) e *Spirulina* (*Cyanobacteria*). O exemplo mais comum são as espécies do gênero *Chlorella*, que são microalgas que podem apresentar um modelo em larga escala para sua produção, visando a produção simultânea de diferentes produtos, como betacaroteno, ração animal e biocombustíveis, por exemplo (BRASIL, 2016).

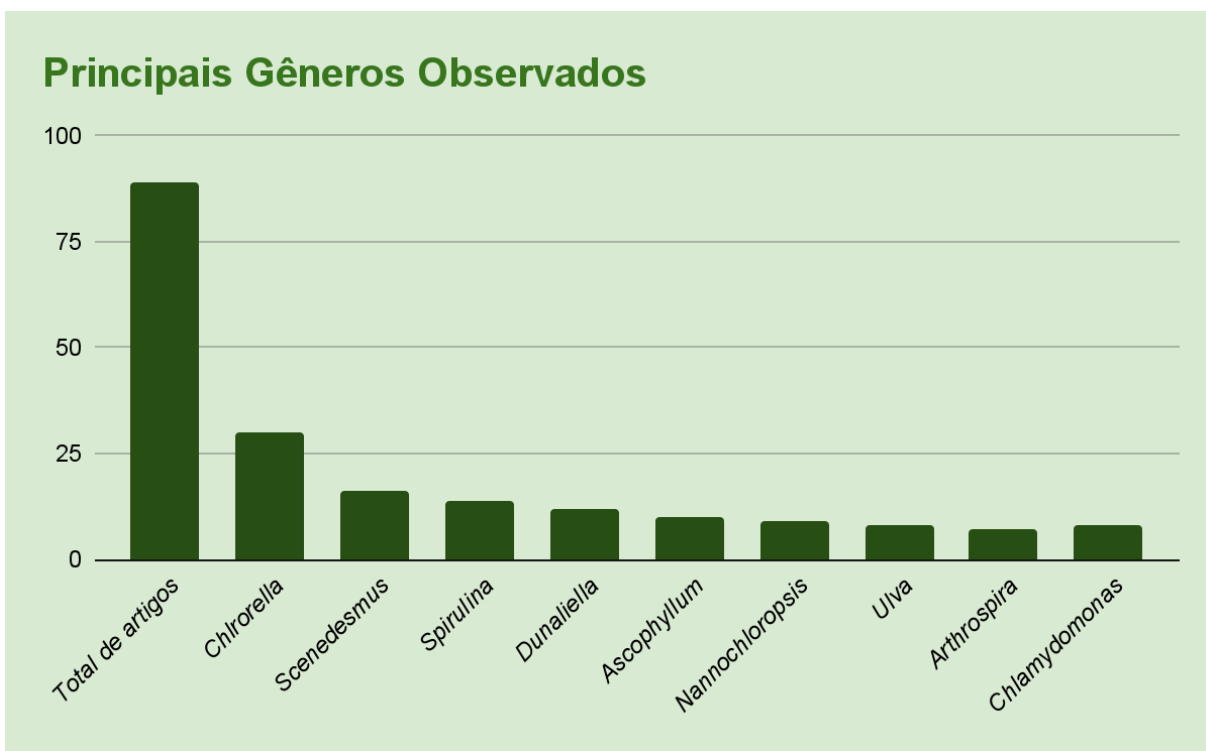


Figura 11: Gráfico dos principais gêneros, que são potenciais biotecnológicos, observados na literatura.



Figura 12: Gráfico das principais espécies, com potencial biotecnológico, observados nos artigos analisados.

As microalgas verdes acumulam carotenóides, vitaminas ou ácidos graxos insaturados em quantidades significantes e, principalmente, as microalgas *Botryococcus*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas*, *Haematococcus*,

*Dunaliella*, e, em menor grau *Tetraselmis* são analisadas para o desenvolvimento de produtos industriais, bem como intensa pesquisa para melhorar a produtividade de suas moléculas-alvo (BAUDELET et al., 2017). As microalgas verdes são consideradas fontes importantes para a produção sustentável de produtos químicos que possuem alto valor agregado e vários outros produtos comercializáveis (BAUDELET et al., 2017).

Durante a análise de diferentes estudos pode-se compreender que as microalgas podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de uma infinidade de bioprodutos, como produtos químicos, materiais, ração animal e suplementos alimentares, biocombustíveis, óleos, pigmentos e polímeros (TRICHEZ et al, 2019). Além disso, as microalgas são uma grande fonte potencial de suplementos alimentares e biomateriais, que podem ser utilizados na indústria farmacêutica, devido à presença de ácidos graxos e clorofila, onde a clorofila também pode ser utilizada como fonte de pigmento em cosméticos (SINGH & GU, 2010). Já a aplicação de microalgas na produção de biocombustíveis ainda não está muito desenvolvida, por conta de diversos fatores econômicos e técnicos, porém existem elevadas vantagens ambientais e econômicas, pois auxilia na substituição de fontes não renováveis por fontes renováveis de energia (ROSA, 2011).

### 5.3 AMBIENTES

Os gêneros e espécies encontrados vivem em cinco habitats diferentes, sendo em sua maioria o ambiente marinho, como podemos observar na figura 13.

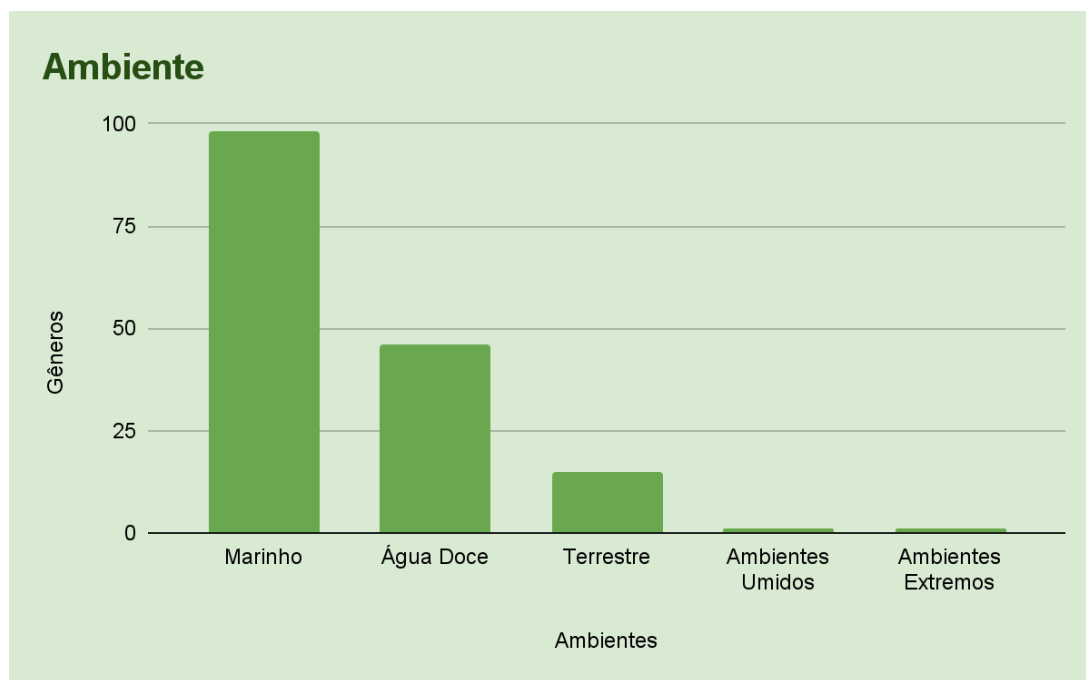


Figura 13: Gráfico dos ambientes em que pode-se encontrar algas com potenciais biotecnológicos.

Foram encontrados estudos de ambientes marinhos de diferentes regiões do mundo, em busca, principalmente, de moléculas bioativas, como por exemplo, proteínas, polissacarídeos e pigmentos. Acredita-se que grande parte das algas, encontradas na literatura, vivem em ambientes marinhos, pois foram as mais estudadas, por conta da facilidade de acesso ao ambiente marinho em diferentes regiões do mundo e por possuírem mais informações na literatura atual.

#### 5.4 PRINCIPAIS USOS DOS GÊNEROS E DAS ESPÉCIES

Os produtos biotecnológicos foram divididos em 9 grupos distintos: Tratamento de efluentes, alimentação, moléculas bioativas, agricultura, biocombustível, saúde, cosméticos e outros. Dentro desses grupos, foi observada a utilização de diferentes gêneros e espécies para obtenção dos mais variados produtos biotecnológicos, podemos observar quais grupos obtiveram certo destaque dentro dos gêneros e espécies estudados nas figuras 14 e 15.

### Principais usos das espécies de algas

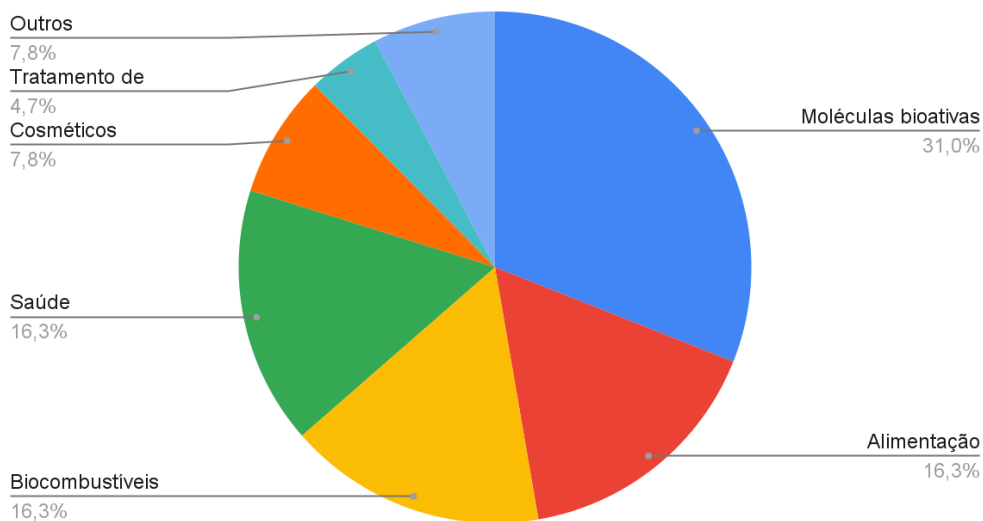


Figura 14: Gráfico dos principais usos biotecnológicos das espécies observadas.

### Principais usos dos gêneros das algas

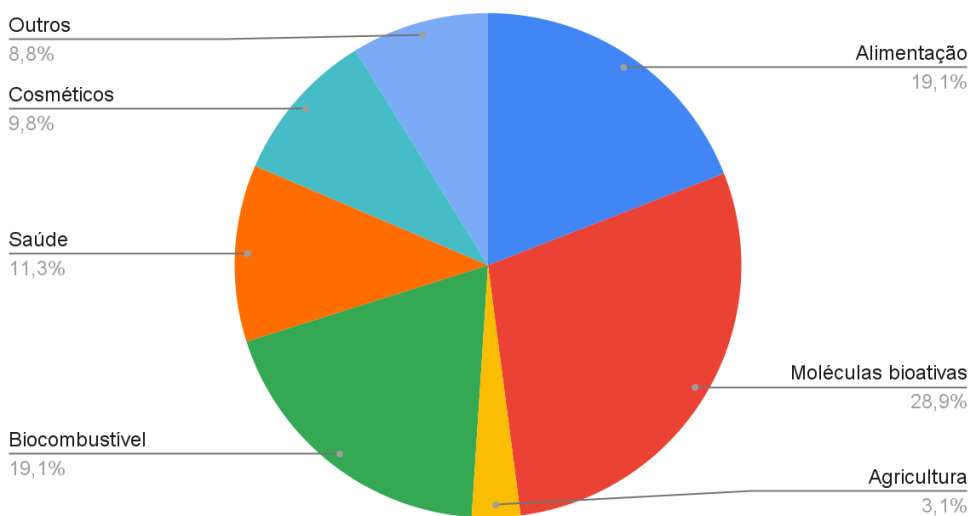


Figura 15: Gráfico dos principais usos biotecnológicos dos gêneros observados.

Os dados levantados permitem notar que o uso biotecnológico de algas é bastante diversificado, o que reflete a enorme diversificação do grupo. A biotecnologia de microrganismos tem sido desenvolvida visando diferentes aplicações comerciais, onde algumas espécies de microalgas se destacam por apresentarem características relevantes para a indústria (HARUN et al., 2010). Tanto o uso da biomassa natural ou dos extratos de diferentes grupos de algas têm

mostrado resultados promissores em distintos interesses econômicos, tendo destaque nas indústrias nutraceutica e farmacêutica (SIMÕES, 2016). Atualmente, os produtos produzidos a partir de algas abastecem principalmente os mercados de cosméticos, higiene pessoal, nutrição humana e animal (DERNER et al., 2006). Porém, para a obtenção desses produtos, necessita-se muitas vezes de moléculas bioativas provenientes desses organismos, por isso grande parte dos estudos busca inicialmente as moléculas bioativas para que posteriormente se possa obter diferentes produtos a partir delas.

Analisando os gráficos 14 e 15, podemos observar que existe uma diferença nas porcentagens de aplicações apresentadas, isso ocorre, basicamente, porque algumas espécies encontradas fazem parte do mesmo gênero.

De acordo com os dados obtidos, pode-se notar a importância das biomoléculas com propriedades bioativas provenientes de algas, pois essas substâncias vêm desempenhando papéis biológicos cada vez mais importantes em função de suas habilidades antioxidante, antimicrobiana, antitumoral, hipocolesterolêmica, entre outras (TANG et al., 2020). Além disso, as algas apresentam uma diversidade metabólica, que aliada ao seu elevado potencial biotecnológico permite que ocorra a obtenção de diversos bioprodutos incluindo ácidos graxos, aminoácidos e carotenóides com atividades biológicas capazes de modular positivamente a saúde humana, dessa forma, a aplicabilidade terapêutica dos biocompostos microalgais tem colocado essa biofonte em evidência (NASCIMENTO, 2021).

Como podemos observar nas figuras 14 e 15, as algas possuem um grande potencial de aplicação tanto na alimentação humana, quanto na animal, sendo que uma das grandes aplicações da biomassa microalgal tem sido na aquicultura, para a alimentação direta ou indireta de algumas espécies de peixes, moluscos, crustáceos e de diversos organismos forrageiros de interesse econômico (DERNER et al., 2006). São empregadas espécies de Bacillariophyceae, Haptophyceae, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Prasinophyceae, Cyanophyceae e Chlorophyceae, dentre outras classes e diversas espécies (SILVA et al., 2003; MULLER-FEUGA, 2004). Além disso, devido ao elevado teor de proteínas, fibras e baixo valor calórico, as algas também podem ser uma ótima fonte alternativa como nutriente para a alimentação humana (FLEURENCE et al., 2012).

Um outro grande potencial observado foi a produção de biocombustível a

partir de algas, onde dentre as diversas formas de obter energia, as microalgas surgem como uma opção significativa para geração de energia por possuírem uma alta capacidade de conversão de energia solar em energia química, tornando amplas as possibilidades para obtenção de biomassa algal em aplicações energéticas, onde por meio delas é possível produzir biodiesel, bioetanol, gás metano e gás hidrogênio como combustível (MARREIRO et al., 2019). As microalgas podem ser consideradas como uma das fontes mais promissoras de biomassa para a produção de biodiesel (BORUGADDA & GOUD, 2012), pois assim como as oleaginosas, muitas microalgas são ricas em triacilglicerídeos, que podem ser convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME - fatty acids methyl esters) para produção de biodiesel (MENEZES, 2013). A expectativa é que a produção de microalgas no mundo continue a aumentar nos próximos anos, o que possibilitaria o abastecimento de mercados maiores com subprodutos ou excedentes da produção (AGROENERGIA, 2016).

Um produto importante e que foi pouco abordado nos estudos analisados nesta pesquisa é o bioestimulante a partir de algas, que são utilizados para aumentar a resistência das culturas a diversos estresses ao mesmo tempo que melhora o crescimento e o desempenho das plantas (JANNIN et al., 2013). Dessa forma, o uso de extratos de algas se mostra de maneira benéfica em diversas culturas, mas a sua eficiência é variável em função de doses, meio ambiente e cultura trabalhada, sendo necessárias novas pesquisas, a fim de avaliar todos os seus efeitos em diferentes culturas (DE FREITAS et al., 2020). Dentre os estudos observados, nota-se que existe um destaque para a *Ascophyllum nodosum*, pois os bioestimulantes obtidos a partir do extrato desta alga possuem em sua composição elementos químicos que propiciam benefícios como o desenvolvimento radicular, o acúmulo de reservas na planta e aumenta a qualidade da planta (FRIEDRICH et al., 2020). Os extratos obtidos a partir desta espécie de alga são constituídos por citocininas, auxinas, ácido abscísico, giberelinas, betaínas e alginatos (NEUMANN et al., 2018).

Além dos produtos citados durante este estudo, pode-se analisar alguns artigos que abordavam a praticabilidade técnica de obter bioplásticos, polímeros e biocombustíveis, por meio de microalgas (AGROENERGIA, 2016).



### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As algas possuem grande importância biológica e ecológica na vida de outros organismos, possibilitando a sobrevivência de seres aeróbicos na atual atmosfera terrestre e apresentam papel fundamental na manutenção dos ecossistemas de mares e oceanos (SIMÕES et al., 2016). Além disso, as algas guardam substâncias desconhecidas que podem ter diversas finalidades dentro da biotecnologia, o que faz com que as algas também apresentem uma elevada importância econômica. Com a análise de diferentes estudos pode-se observar que a biotecnologia de algas possui amplas aplicações, porém, as algas não são muito estudadas nos diferentes setores biotecnológicos abordados neste estudo, representando rica oportunidade para novas descobertas. Apesar disso, nos últimos anos, pode-se observar um grande interesse econômico e industrial focado no potencial biotecnológico das algas, principalmente devido à identificação de diversas substâncias sintetizadas por estes organismos.

Além disso, pode-se observar que grande parte das algas, analisadas em diferentes estudos, vivem em ambiente marinho ou já têm suas propriedades benéficas conhecidas a muito tempo, dessa forma, pode-se observar a necessidade de explorar outros ambientes em que existam algas, para que se tenha novas descobertas de interesse para os diferentes setores da biotecnologia atual.

As pesquisas analisadas mostraram um elevado número de publicações sobre o tema abordado o, indicando um alto interesse da comunidade científica e devido à grande diversidade de compostos ativos que podem ser extraídos das algas, inúmeros usos para os mesmos foram produzidos por diferentes setores das indústrias.

A demanda global por produtos provenientes de macroalgas e microalgas está crescendo, e as algas estão cada vez mais sendo consumidas para obter benefícios funcionais além das considerações tradicionais de nutrição e saúde. Existem evidências substanciais dos benefícios para a saúde de produtos alimentícios derivados de algas, mas ainda existem desafios consideráveis na quantificação destes benefícios, bem como possíveis efeitos adversos. O conhecimento e o estudo da diversidade regional de algas pode auxiliar para o desenvolvimento do Brasil, pois a análise e observação de quais espécies de algas possuem potenciais biotecnológicos facilita a escolha de organismos que podem ser

utilizados para a criação de algum produto biotecnológico, trazendo um diferenciado desenvolvimento científico e econômico para nosso país.

## REFERÊNCIAS

ADENIYI, Oladapo Martins; AZIMOV, Ulugbek; BURLUKA, Alexey. Algae biofuel: current status and future applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 90, p. 316-335, 2018.

AGROENERGIA, EMBRAPA. Agroenergia em revista: microalgas. Embrapa Agroenergia-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E), 2016.

AGUILAR, Paloma Camacho; FLÓREZ-CASTILLO, J. M. Microalgas y sus aplicaciones biotecnológicas.

ALAM, Firoz et al. Biofuel from algae-Is it a viable alternative?. *Procedia Engineering*, v. 49, p. 221-227, 2012.

ALGAE COSMETICS. Disponível em: <https://www.patent-art.com/knowledge-center/algae-cosmetics-18/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

ALMEIDA, B. K. C. et al. O Uso De Algas Em Cosméticos: Um Estudo Cienciométrico. *Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, 2020.

ALMEIDA, C.S; et al. Obtenção e caracterização de extratos de algas para uso na indústria de cosméticos. v.19, n. 5/8, 2007.

ALONSO BURITI, F. C. et al. Aplicação da biotecnologia na produção e desenvolvimento de alimentos funcionais: uma revisão. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 37, n. 1, 2021.

ALVES FILHO, F. M. et al. Alga marrom (" *Ascophyllum nodosum*") para alevinos de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 12, n. 4, 2011.

American Society for Nutritional Sciences, 2004.

AMORIM, A. M. et al. Compostos bioativos de macroalgas. VI Botânica no Inverno, 2016.

ANGELL, Alex R. et al. Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends in food science & technology*, v. 54, p. 74-84, 2016.

ANTUNES, R.; SILVA, I. C. Utilização de algas para a produção de biocombustíveis, 2010.

ANVISA, Agência nacional de vigilância sanitária. Resolução – RDC nº 07, de 11 de fevereiro de 2005. Regulamento sobre os requisitos técnicos para a regularização de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes.

ANVISA. Descrição dos Meios de Cultura Empregados nos Exames Microbiológicos, 2004.

ANVISA. III. Métodos para o TSA - Teste de Suscetibilidade aos Antimicrobianos: 5. Disco-difusão.

ARAÚJO, L. A. et al. Processos Biotecnológicos Na Remoção De Metais Pesados. *Saber Científico (1982-792X)*, v. 8, n. 2, p. 135-145, 2021.

ARAÚJO, Isaac B.; PERUCH, Luiz AM; STADNIK, Marciel J. Efeito do extrato de alga e da argila silicatada na severidade da alternariose e na produtividade da

cebolinha comum (*Allium fistulosum* L.). *Tropical Plant Pathology*, v. 37, p. 363-367, 2012.

ARIEDE, Maíra Bueno et al. Cosmetic attributes of algae-A review. *Algal research*, v. 25, p. 483-487, 2017.

AZEVEDO, C.; NAUER, F. Biodiversidade e Ecologia de Macroalgas Marinhas Brasileiras. *BOTÂNICA NO INVERNO*, p. 118.

BAGNOUD-VELÁSQUEZ, Mariluz et al. Opportunities for Switzerland to contribute to the production of algal biofuels: the hydrothermal pathway to bio-methane. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, v. 69, n. 10, p. 614-621, 2015.

BASCUÑAN, H.; PSCHEIDT, A. C. Levantamento Da Coleção De Macroalgas Do Herbário Fmu: Uma Melhoria Para A Formação Universitária, 2020.

BAUDELET, P. et al. Uma nova visão sobre as paredes celulares de Chlorophyta. *Algal Research*, v. 25, p. 333-371, 2017.

BAUMGART, B. Estudo do Estado-da-arte da utilização de algas e microalgas para geração de energia biofotovoltaica. 2018.

BECKER, A. J. S. & SILVA, V. N. Tratamento de sementes de alface com bioestimulantes à base de algas. *Acta Biológica Catarinense*, v. 8, n. 1, p. 11-17, 2021.

BERTOLDI, F. C.; SANT'ANNA, E.; OLIVEIRA, J. L. B. Revisão: Biotecnologia de microalgas. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 26, n. 1, p. 9-20, 2008.

BHATT, N. C. Coupling of Algal Biofuel Production with Wastewater, 2014.

BHATTACHARJEE, M. Pharmaceutically valuable bioactive compounds of algae. *Asian J. Pharm. Clin. Res*, v. 9, p. 43-47, 2016.

BICUDO, C. & MENEZES, M. As algas do Brasil, 2010.

BIKKER, Paul et al. Biorefinery of the green seaweed *Ulva lactuca* to produce animal feed, chemicals and biofuels. *Journal of applied phycology*, v. 28, n. 6, p. 3511-3525, 2016.

*Bioresource Technology*, 184, pp. 355-362.

BOCANEGRA, A. et al. Characteristics and Nutritional na Cardiovascular – Health Properties of Seaweeds. *Journal of Medicinal Food*. v. 12; n.2; p. 236-258, 2009 .

BORUGADDA, V. B.; GOUD, V. V. Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 7, 2012.

BOUKID, Fatma; CASTELLARI, Massimo. Food and beverages containing algae and derived ingredients launched in the market from 2015 to 2019: a front-of-pack labeling perspective with a special focus on Spain. *Foods*, v. 10, n. 1, p. 173, 2021.

BOURGOUGNON, N. et al. Las algas: potencial nutritivo y aplicaciones cosméticas. Las algas como recurso. Valorización. Aplicaciones industriales y tendencias. Centro Tecnológico del Mar-Fundación CETMAR (ed.), p. 81-94, 2011

BRANDÃO, C. R. A pesquisa em biodiversidade. Olhares sobre os diferentes contextos da biodiversidade: pesquisa, divulgação e educação, p. 8-12, 2010.

BRASIL, B.; GARCIA, L. C. Microalgas: Alternativas Promissoras Para A Indústria. Agroenergia em revista, 2016.

BRASIL, B. Microalgas: a 3ª geração de biocombustíveis no Brasil. Embrapa Agroenergia-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), 2014.

BRITES, A. A importância ecológica e econômica das algas, 2010.

CABRAL, I. S. R. et al. Produtos Naturais de Algas Marinhas e Seu Potencial Antioxidante e Antimicrobiano. B. CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 181-192, 2011.

CARDOSO, A. D., VIEIRA, G. E., MARQUES, A. K. (2011). O uso de microalgas

CARDOZO, K. H. M. et al. Metabolites From Algae With Economical Impact. Comp. Biochem. Physiol. 140:60-78, 2006.

CARDOZO, K. H. M. et al. Fragmentation of mycosporine-like amino acids by hydrogen/deuterium exchange and electrospray ionisation tandem mass spectrometry. Rapid Communications in Mass Spectrometry: An International Journal Devoted to the Rapid Dissemination of Up-to-the-Minute Research in Mass Spectrometry, v. 20, n. 2, p. 253-258, 2006.

CARLOS, André Carreira et al. Uso da alga *Lithothamnium calcareum* como fonte alternativa de cálcio nas rações de frangos de corte. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, p. 833-839, 2011.

CARNEIRO, Gillianne Assis et al. Uso de microalgas para produção de biodiesel. Research, Society and Development, v. 7, n. 5, p. e1075181, 2018.

CARNEIRO, J. G. et al. Potencial nutricional das algas vermelhas *Hypnea musciformis* e *Solieria filiformis*: Análises da composição centesimal, 2012.

CASCAREJO, Margarida Marinheira Dias Fontes et al. Uso de Algas em Dermocosmética. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

CASTRO, D. S. B.. Obtenção de extrato de pitaya e avaliação da sua atividade antioxidante e antiproliferativa em linhagens celulares humanas de câncer de mama. 2015. Dissertação de Mestrado.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. Guaíba: Agropecuária, 2001, 132p.

CECATO, Adilson; MOREIRA, Gláucia Cristina. Aplicação de extrato de algas em alface. Revista Cultivando o Saber, v. 6, n. 2, p. 89-96, 2013.

CERQUEIRA, L. L. et al. Biodiversidade e Interações Ecológicas. O Que Podemos Entender Sobre Biodiversidade?, 2021.

CHAGAS, C. G. O. Efeito do consumo de alga marinha (*Gracilaria birdiae*) em farinha sobre variáveis bioquímicas e morfométricas de ratos alimentados com dietas normolipídicas, 2015.

CHALLAGULLA, Vineela; FABBRO, Larelle; NAYAR, Sasi. Biomass, lipid productivity and fatty acid composition of fresh water microalga *Rhopalosolen saccatus* cultivated under phosphorous limited conditions. Algal research, v. 8, p. 69-75, 2015.

CHANGWEI, A. O. et al. Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of *Ficus microcarpa* L. fil. extract. *Food control*, v. 19, n. 10, p. 940-948, 2008.

CHENG, J. et al. Biodiesel from wet microalgae: Extraction with hexane after the microwave-assisted transesterification of lipids. *Bioresource Technology*, 2014.

CHEW, B. P.; PARK, Jean S. Carotenoid Action on the Immune Response.

CHEW, K. W. et al. Microalgae biorefinery: high value products perspectives. *Bioresource technology*, 2017.

CHOPIN, V. J.; SAWHNEY, M. Seaweeds and their mariculture. In: Steele JH, Thorpe SA, Turekian KK (eds) *Encyclopedia of ocean sciences*. Elsevier, Oxford, 4477–4487. 2009.

COELHO, Michele Silveira et al. Potential utilization of green tide-forming macroalgae from Patos Lagoon, Rio Grande-RS, Brazil. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, v. 25, n. 7, p. 1096-1106, 2016.

COONEY, M. et al. Two-phase anaerobic digestion for production of hydrogen-methane mixtures. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 2641–2651, 2007.

CONNOR, W. E. Importance of n-3 fatty acids in health and disease; *American Journal of Clinical Nutrition*; 71(1), 171S – 175S, 2000.

CORONE, L. G. *Aquicultura no Brasil*. 2016. Dissertação (Pós Graduação em Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

DA COSTA, F. T. M. et al. "Chlorella" sp. como suplemento alimentar durante a larvicultura de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 12, n. 4, 2011.

DA COSTA, M. A. et al. O uso de macroalgas marinhas na agricultura. *Acta Iguazu*, v. 3, n. 2, p. 69-76, 2013.

DA ROCHA SIMÕES, P. et al. Avaliação da atividade antibacteriana do óleo da microalga *Chlorella minutissima* como alternativa para o tratamento de dermatite atópica. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 11, p. 24893-24914, 2019.

DA SILVA, A. C. et al. Biofertilizantes de microalgas: desafios para uma produção competitiva e sustentável. In: Embrapa Agroenergia-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE BIODIESEL, 7., 2019, Florianópolis. Empreendedorismo e inovação: construindo um futuro competitivo para o biodiesel: anais. Florianópolis, SC: Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação De Biodiesel, 2019., 2019.

DA SILVA, C. P.; CRIVELARI, A. D. CORREA, J. S. Desenvolvimento De Mudanças De Alface E Rúcula Tratadas Com Biofertilizante De Extrato De Algas. *Científica-Multidisciplinary Journal*, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2021.

DA SILVA, T. A. P. *Uso de Biofertilizantes (Extrato De Algas–ascophyllum Nodosum) Na Cultura Do Milho*, 2018.

DAWCZYNSKI, C., SCHUBERT, R. y Jahreis, G. 2007 Amino acids, fatty acids and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry*; 103: 891-9.

DE AGUIAR, Beatriz Alves et al. Propriedades antioxidantes de metabólitos secundários de algas pardas: uma revisão integrativa.

DE BERRÊDO, D. Estimativa do potencial produtivo de bioetanol e da captura de carbono de *Kappaphycus alvarezii* na costa brasileira.

DE CARVALHO, Paulo Reis et al. Influência da adição de fontes marinhas de carotenóides à dieta de galinhas poedeiras na pigmentação da gema do ovo. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v. 43, n. 5, p. 654-663, 2006.

DE CASTRO OLIVEIRA, Wemerson et al. Cianobactérias: Uma revisão sobre potencial nutricional e alguns aspectos biotecnológicos. *BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports*, v. 2, n. 1, p. 49-67, 2013.

DE FREITAS VASCONCELOS, B. M.; GONÇALVES, A. A. Macroalgas e seus usos: alternativas para as indústrias brasileiras. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 5, p. 17, 2013.

DE FREITAS, M. S. et al. GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE NABO FORRAGEIRO TRATADAS COM EXTRATO DE ALGAS. *Anais do Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 2020.

DE MORAES JÚNIOR, A. T.; TEIXEIRA, D. I. A. Algas e suas utilidades: do surgimento da vida em nosso planeta ao aquecimento global. *Cadernos de Cultura e Ciência*, v. 2, n. 2, 2007.

DE SOUZA, M. P. et al. As Microalgas Como Uma Alternativa Para a Produção De Biocombustíveis Parte I: Bioetanol. *Tecno-Lógica*, v. 16, n. 2, p. 108-116, 2012.

DE-LA-TORRE-UGARTE, M. C. et al. Revisão sistemática: noções gerais. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 45, n. 5, p. 1260-1266, 2011.

DEFANTI, L. S.; SIQUEIRA, N. S.; LINHARES, P. C. Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes. *Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e If Fluminense, Rio de Janeiro*, p. 11-21, 2010.

DEMIRBAŞ, A. Instalações de recursos de biomassa e processamento de conversão de biomassa para combustíveis e produtos químicos . *Conversão de Energia e Gestão* 42: 1357 - 1378, 2001.

DERNER, R. B. et al. Microalgas, produtos e aplicações. *Ciência Rural*, v. 36, p. 1959-1967, 2006.

DHARGALKAR, V.K.; VERLECAR, X.C. Southern Ocean seaweeds: a resource for exploration in food and drugs. *Aquaculture*, v. 287, n.1, p. 229 - 242, 2009.

DIAS, G. M. Estratégias de Produção e Marketing para Algas e Ficolóides. Relatório apresentado à FAO como parte integrante do projeto "Cultivo de Algas em Pequena Escala no Nordeste do Brasil" – TCP/BRA/0065.

DUARTE, D. R. S. Alimentos funcionais com microalgas: nova fonte de pigmentos, antioxidantes e ácidos gordos ômega 3. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2010.

DUARTE, Iolanda Cristiny Nascimento et al. Extração, hidro-esterificação e metilação dos lipídios da macroalga *Gracilaria Caudata*, aplicando catalise heterogênea na preparação do biodiesel. *REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS*, v. 5, n. 1, p. 1752-1763, 2015.

ECHERT, T. T. Uso de extratos de alga na agricultura. 2019.

EMBRAPA. Substâncias bioativas e nanomateriais, [2018?].

EVANS, F. D.; CRITCHLEY, A. T. Seaweeds for animal production use. *Journal of applied phycology*, v. 26, n. 2, p. 891-899, 2014.

FACCINI, A. L. Importância Econômica e Cultivo de Algas Marinhas, In: *Simpósio De Biologia Marinha Da Unisantia*, 10, 2007.

FELÍCIO, Rafael de; DEBONSI, Hosana Maria; YOKOYA, Nair Sumie. 4-(Hidroximetil)-Benzenossulfonato de potássio: Metabólito inédito isolado da alga marinha *Bostrychia tenella* (Rhodomelaceae, ceramiales). *Química nova*, v. 31, n. 4, p. 837-839, 2008.

FELÍCIO, Rafael de; OLIVEIRA, Ana Ligia Leandrini de; DEBONSI, Hosana Maria. Bioprospecção a partir dos oceanos: conectando a descoberta de novos fármacos aos produtos naturais marinhos. *Ciência e Cultura*, v. 64, n. 3, p. 39-42, 2012.

FERNÁNDEZ-LINARES, Luis Carlos et al. Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai*, v. 8, n. 3, p. 101-115, 2012.

FETTER, P. R. Hidrolisados de resíduos de raízes e caules de tabaco para estimulação da germinação de sementes de arroz e milho. *Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul*, 2018.

FIGUEIREDO, Sara Almeida; BARBOSA, Elaine Costa Almeida; LOPES, Riuzuani Michelle B. Pedrosa. RIOS EUTROFIZADOS COMO FONTE DE OBTENÇÃO DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO DE BIOCMBUSTÍVEIS.

FLEURENCE, J. et al. What are the prospects for using seaweed in human nutrition and for marine animals raised through aquaculture?, *Trends in Food Science & Technology*, 2012.

FRIEDRICH, J. C. C. et al. Bioestimulante: uso em produção de mudas e resultados na produção comercial. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 27392-27409, 2020.

GALINDO, F. S. et al. Extrato de algas como bioestimulante da produtividade do trigo irrigado na região do cerrado. In: *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215. 2019.

GALVAO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília*, v. 23, n. 1, p. 183-184, mar. 2014.

GILL, I.; VALIVETY, R. Polyunsaturated fatty acids, part 1: occurrence, biological activities and applications. *Trends in Biotechnology*, n.15, p.401-409, 1997.

GOMES, C. A. et al. Biocombustíveis: a caminho de uma "sociedade de reciclagem". e-Pública: *Revista Eletrônica de Direito Público*, 2017.

GONZÁLEZ MINERO, Francisco José; BRAVO DÍAZ, Luis. Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, v. 58, n. 1, p. 5-12, 2017.

GRANDO, Rafaela Lora; DE SOUZA ANTUNES, Adelaide Maria; DE OLIVEIRA, Cláudia Braga Jacques Foss. Panorama do Biodiesel utilizando prospecção tecnológica. *Ciência & Tecnologia*, v. 8, n. 1, 2016.



GRANHAM, L. E.; GRANHAM, J. M.; WILCOX, L. W. *Algae*. 2. ed. São Francisco: Pearson Education, 2009. 616 p.

GRESSLER, P. et al. *Microalgas: Aplicações Em Biorremediação E Energia*, 2012.

GUTIÉRREZ CUESTA, R. et al. Algas marinas como fuente de compuestos bioactivos en beneficio de la salud humana: un artículo de revisión. *Biotecnia*, v. 18, n. 2, p. 20-27, 2016.

HARIKRISHNAN, R.; BALASUNDARAM, C.; HEO, M. S. *Fish health aspects in grouper aquaculture*, 2011.

HARNEDY, P. A.; FITZGERALD, R. J. *Bioactive Proteins, Peptides, And Amino Acids From Macroalgae*, 2011.

HARUN, R; SINGH, M; FORDE, G; DANQUAH, M. Bioprocess engineering of microalgae to produced a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 1037-1047, 2010.

HENRARD, Adriano A. et al. *Produção de Biogás a partir de biomassa microalgal*. In: III Congresso Brasileiro de Carvão. Gramado, RS. 2011.

HOLDT, S. L.; KRAAN, S. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 543-597, 2011.

JAHAN, Afroz et al. Algal bioactive compounds in the cosmeceutical industry: a review. *Phycologia*, v. 56, n. 4, p. 410-422, 2017.

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.

JEA J. Y. et al., Atividade antioxidante de extratos enzimáticos da alga marrom *Undaria pinnatifida* por espectroscopia de ressonância de spin eletrônico *Food Sci. Technol.*, 42, pp. 874 - 878, 2009.

JIN, Eon Seon; MELIS, Anastasios. Microalgal biotechnology: carotenoid production by the green algae *Dunaliella salina*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, v. 8, n. 6, p. 331-337, 2003.

KHAN, Muhammad Imran; SHIN, Jin Hyuk; KIM, Jong Deog. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial cell factories*, v. 17, n. 1, p. 1-21, 2018.

KLAHOLD, C. A.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; KLAHOLD, A.; CONTIERO, R. L.; BECKER, A. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.

KOÇER, A. T. & ÖZÇİMEN, D. Investigation of the biogas production potential from algal wastes. *Waste Management & Research*, v. 36, n. 11, p. 1100-1105, 2018.

KOMÁREK, J. Coccoid and Colonial Cyanobacteria. In Wehr, J.D. & Sheath, R.G. (eds.). *Freshwater Algae of North America*. California: Academic Press, p. 59-116, 2003.

KUBITZA, F. et al. Principais espécies, áreas de cultivo, rações, fatores limitantes e desafios. *Aquicultura no Brasil*, p. 0-1, 15 ago. 2015.

KULSHRESHTHA, Garima et al. Feed supplementation with red seaweeds, *Chondrus crispus* and *Sarcodiotheca gaudichaudii*, affects performance, egg quality, and gut microbiota of layer hens. *Poultry Science*, v. 93, n. 12, p. 2991-3001, 2014.

KUMAR C. S. et al. Antibacterial activity of three South Indian seagrasses, *Cymodocea serrulata*, *Halophila ovalis* and *Zostera capensis*; *World J Microbiol Biotechnol*, 2008.

KUMAR, G; SAHOO, D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. *Journal of Applied Phycology*, v.23, n.2, p251-255, 2011.

KUMARI, P., KUMAR, M., GUPTA, V., REDDY, C.R.K. JHA, B. Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAs. *Food Chemistry*. 120, 749–757. 2010.

LARSEN, R., EILERTSEN, K. y ELVEVOLL, E. 2011. Health benefits of marine foods and ingredients. *Biotechnology Advances*; 29: 508-18.

LEE, S. Y. et al. Techniques of lipid extraction from microalgae for biofuel production: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 19, n. 1, p. 231-251, 2021.

LIAO, W -R.; LIN, J-Y.; SHIEH, W -Y et al. Antibiotic activity of lectins from marine Algae against marine vibrios. *Journal of Industry Microbiology and Biotechnology*.V. 30, p. 433–439. 2003.

LINDWASSER, O.W; Resh, M.D. Myristoylation as a target for inhibiting HIV assembly: Unsaturated fatty acids block viral budding. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2002.

LOPES, Ana Margarida Marques. Recuperação de compostos bioativos da alga *Fucus Vesiculosus* por ultrafiltração/diafiltração e avaliação da ação biológica em doenças cardiovasculares. 2020. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

LOURENÇO, S. O. Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações, 2006.

MACHADO, F. L. S., KAISER, C. R., COSTA, S. S., GESTINARI, L. M. e SOARES, A. R. Atividade biológica de metabolitos secundários de algas marinhas do gênero *Laurencia*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20, 2010, 441-452 p.73.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional, 1998.

MACÍA MATEOS, María del Valle. *Biorrefinarias de algas*. 2019.

MAGGS, C. A. et al. Speciation in red algae: Members of the ceramiales as model organisms. Oxford University. *Integrative and Comparative Biology*, 2011.

MAGRO, Francisco Gerhardt et al. Produção de bioetanol utilizando microalgas: uma revisão. *Semina: Ciências exatas e tecnológicas*, v. 37, n. 1, p. 159-174, 2016.

MALAJOVICH M. A. *Biotecnologia* 2011. Rio de Janeiro, Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012.

MALAJOVICH, M. A. *BIOTECNOLOGIA*. 2ª. ed. [S. l.: s. n.], 2016.

MANFREDI, D. Desempenho de frangos de corte suplementado com extrato de algas. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MARINHO, E. S. et al. Avanços na pesquisa de bioativos de algas. Revista Brasileira de Farmacognosia. 2011, v. 21, n. 2.

MARIUTTI, L. R. B. e BRAGAGNOLO, N. Revisão: Antioxidantes Naturais Da Família Lamiaceae - Aplicação De Produtos Alimentícios, Brazilian Journal Food Technology, 10, 2, 96-103, 2007.

MARKETING, et al. O Que São Compostos Bioativos E Qual Sua Importância Para A Saúde? 2019.

MARQUES, Sâmia Momesso; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Algas como bioindicadores da qualidade da água. Revista Científica ANAP Brasil, v. 10, n. 19, 2017.

MARREIRO, Hívila Maria Pontes; DE OLIVEIRA, Andressa Sales; LOPES, Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa. Potencial energético da microalga *Oedogonium* sp. na produção de biocombustível sólido. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 4, p. 578-585, 2019.

MARTINS, Marcio Arêdes et al. NOTA TÉCNICA: AS MICROALGAS COMO ALTERNATIVA À PRODUÇÃO DE BIOCMBUSTÍVEIS. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, v. 20, n. 5, p. 389-403, 2012.

MATYSIAK, K.; KACZMAREK, S.; KRAWCZYK, R. 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, p. 33-45, 2011.

MAVROMICHALIS, I. Algae - the new universal feed ingredient? Animal Nutrition Views, 2013.

MCHUGH, D. J. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper n. 441, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2003.

MEDIPALLY, S. R. et al. Microalgae as sustainable renewable energy feedstock for biofuel production. BioMed research international, 2015.

MELIS, A. e HAPPE, T. Produção de hidrogênio. Algas verdes como fonte de energia. Planta Physiol 127, 740 - 748, 2001.

MELO, G. B. et al. Tratamento de sementes com doses do bioestimulante à base de algas. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 1418-1431, 2021.

MELO, Karoline Rachel Teodosio et al. Caracterização e atividade anticoagulante de polissacarídeos sulfatados extraídos da alga marrom *Dictyopteris justii*. Holos, v. 1, p. 29-40, 2012.

MELO, M. O. Avaliação das características hidrolipídicas da pele madura e desenvolvimento e eficácia clínica de formulações dermocosméticas multifuncionais a base de algas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MENEZES, R. S. et al. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. Química Nova, v. 36, n. 1, p. 10-15, 2013.

MICHALAK, I.; DMYTRYK, A.; CHOJNACKA, K. Algae Cosmetics. Encyclopedia of Marine Biotechnology, v. 1, p. 65-85, 2020.

MITURA, S.; SIONKOWSKA, A.; JAISWAL, A. Biopolymers for hydrogels in cosmetics. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v. 31, n. 6, p. 1-14, 2020.

MORAIS, F. L. Carotenóides: características biológicas e químicas. 2006.

MOTA, Cátia Sofia Carvalho. Avaliação do potencial de utilização de microalgas como alimento alternativo na alimentação de animais de produção. 2018.

MOURA, C. W. N. et al. Macroalgas bentônicas, 2015.

MULLER-FEUGA, A. Microalgae for aquaculture. In: RICHMOND, A. (Ed). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell Science, 2004. p.352–364.

MUKHERJEE, P. ; KESHRI, JP Situação atual e desenvolvimento da polpa de algas para a tecnologia de fabricação de papel feita à mão: uma revisão. *Adv Plants Agric Res* , v. 8, n. 1, pág. 18/10/2018.

NASCIMENTO, T. et al. Microalgas E Saúde: Uma Breve Revisão. *Brazilian Journal Of Development*, 2021.

NETO, João Moreira Costa et al. Farinha de algas marinhas (“*Lithothamnium calcareum*”) como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 11, n. 1, 2010.

NEUMANN, E. R. et al. Produção de mudas de batata doce em ambiente protegido com aplicação de extrato de *Ascophyllum nodosum*. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 4, out/dez. 2017. p.490-498.

OLAIZOLA, M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace, 2003.

OLIVEIRA, Carlos de Jesus de et al. Produção de Biodiesel a partir das algas: uma revisão. *Journal Of Agronomic Sciences*, Umuarama, v. 3, p. 202-221, 2014.

OLIVEIRA, Cátia Sofia Domingues. Prospecção de compostos bioativos nas macroalgas *Himanthalia elongata*, *Laminaria ochroleuca* e *Undaria pinnatifida*. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro.

ORTIZ-MORENO, Martha L.; SANDOVAL-PARRA, Karen X.; SOLARTE-MURILLO, Laura V. *Chlorella*, um potencial biofertilizante?. *Orinoquia*, v. 23, n. 2, p. 71-78, 2019.

PALINSKA, K.A.; THOMASIU, C.F.; MARQUARDT, J. & GOLUBIC, S. Phylogenetic Evaluation of Cyanobacteria Preserved as Historic Herbarium Exsiccate. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56: 2253–2263, 2006.

PARK, Hanwool; LEE, Choul-Gyun. Theoretical calculations on the feasibility of microalgal biofuels: utilization of marine resources could help realizing the potential of microalgae. *Biotechnology journal*, v. 11, n. 11, p. 1461-1470, 2016.

PASKALEVA, E.E.; Lin, X.; Li, W. et al. Inhibition of highly productive HIV-1 infection in T cells, primary human macrophages, microglia, and astrocytes by *Sargassum fusiforme*. *AIDS Res Ther*. 2006.

PASKALEVA, E.E.; Lin, X.; Duus, K. et al. *Sargassum fusiforme* fraction is a potent and specific inhibitor of HIV-1 fusion and reverse transcriptase. *Virol J*. 2008.

PASKALEVA, E.E. et al. Palmitic acid is a novel CD4 fusion inhibitor that block HIV entry and infection. (2009).

PEREIRA, Claudio MP et al. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. Química Nova, v. 35, p. 2013-2018, 2012.

PEREIRA, L. et al. Análise comparativa dos ficocolóides produzidos por algas carragenófitas usadas industrialmente e algas carragenófitas portuguesas. Um Mar de Oportunidades, 2007.

PEREIRA, L. As algas marinhas e respectivas utilidades. Monografias, v. 913, p. 1-19, 2008.

PEREIRA, L., As algas na alimentação, Rev. Ciência Elem., V9(1):006, 2021.

PEREZ-GARCIA, O. et al. Heterotrophic Cultures Of Microalgae: Metabolismo And Potencial Products. Water Research, 45, 11-36, 2011.

PIRES, C. R. C. Identificação e análise do potencial antifúngico dos polissacarídeos das algas Saccharina latissima e Laminaria ochroleuca. 2016. Tese de Doutorado.

POOJA, Shetty. Algae used as medicine and food-a short review. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, v. 6, n. 1, p. 33, 2014.

PRIYADARSHAMI, I. e RATH, B. Commercial and industrial applications of micro algae - A review. J. Algal Biomass Utiln. 2012, 3 (4), pp. 89-100, 2012.

PULZ, O.; GROSS, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 65, p. 635-648, 2004.

QUITRAL, V. et al. Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. Revista chilena de nutrición, v. 39, n. 4, p. 196-202, 2012.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia Vegetal. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 234 p.

REIS, M. C. Avaliação Da Capacidade Inovativa Na Indústria No Uso De Algas Sobre A Ótica Patentária Brasileira, 2020.

RISSO, S.; ESCUDERO, C.; ESTEVAO, S.; DE PORTELA, M.L.; FAJARDO, M.A. Chemical composition and seasonal fluctuations of the edible green seaweed *Monostroma undulatum*, Wittrock, from the Southern Argentina coast. Arch. Latinoam. Nutr., v.53, n.3, p. 306-311, 2003.

RIZWAN, M. et al. Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 92, p. 394-404, 2018.

RODRIGUES, J. A. G. et al. Cultivo de camarões tratados com polissacarídeos sulfatados da rodófitas *Halymenia pseudofloresia* mediante uma estratégia profilática. Revista Ciência Agronômica, v. 40, n. 1, p. 71-78, 2009.

RODRIGUES, M. S. Caracterização da composição nutricional da macroalga *Fucus vesiculosus* e a alteração dos compostos bioativos nos diferentes métodos de secagem. Dissertação (Mestrado) - Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Escola Superior Agrária, 2015.

ROGATTO, Gustavo Puggina et al. Influência da ingestão de espirulina sobre o metabolismo de ratos exercitados. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 10, p. 258-263, 2004.

ROMÃO, E. M. et al. Empreendedorismo e inovação no Brasil: Biocombustíveis, uma estratégia para o desenvolvimento, 2021.

SALEEM M. et al. Antimicrobial natural products: an update on future antibiotic drug candidates; The Royal Society of Chemistry, 2010.

SÁNCHEZ-MACHADO, D. I. et al. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry*; 85(3), 439–444, 2004.

DOS SANTOS, Camila Cristina Andrade et al. Prospecção Tecnológica de Patentes Sobre Cultivos de Microalgas Visando à Produção de Biodiesel. *Cadernos de Prospecção*, v. 11, n. 4, p. 1057, 2018.

SANTOS, J. P.; COSTA, E. S. Ficocolóides: Polissacarídeos das Algas Marinhas. *BOTÂNICA NO INVERNO*, p. 132, 2013.

ŚCIESZKA, Sylwia; KLEWICKA, Elżbieta. Algae in food: A general review. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 59, n. 21, p. 3538-3547, 2019.

SCRANTON, Melissa A. et al. Chlamydomonas as a model for biofuels and bio-products production. *The Plant Journal*, v. 82, n. 3, p. 523-531, 2015.

SHICK J. M. e DUNLAP W. C. Aminoácidos semelhantes à micospolina e gadusóis relacionados: biossíntese, acumulação e funções de proteção UV em organismos aquáticos *Annu. Rev. Physiol.*, 64 (2002), pp. 223 - 262, 2002.

SCHMITZ, Caroline et al. Compostos fotoprotetores que absorvem radiação UV-VIS em algas pardas (Phaeophyceae) da Costa do Brasil. 2017.

SEBASTIEN, Nyamien Yahaut; GRANJA, Rafael Pereira. Cultivo de *Scenedesmus*: alimento vivo para a manutenção de organismos planctônicos e implementação na dieta humana. *Varia Scientia*, v. 5, n. 10, p. 113-121, 2006.

SHOW, Pau Loke et al. A holistic approach to managing microalgae for biofuel applications. *International journal of molecular sciences*, v. 18, n. 1, p. 215, 2017.

SILVA, Bárbara de Fátima Rodrigues; VILELA, Pamela Cardoso; BERNSTEIN, Any. A busca por uma matriz energética sustentável por meio do biodiesel de algas: características, implicações e perspectivas.

SILVA, F.C. et al. Cultivo de microalgas marinhas. In: POLI, C.R. et al. (Orgs). *Aqüicultura: experiências brasileiras*. Florianópolis: Multitarefa, 2003. p.93-120.

SILVA, G. C. Bioatividade de extratos de algas frente à bactérias com fatores de virulência, resistentes a antimicrobianos. 2012. 61 f. Dissertação (mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SILVA, K. L.; CHAGAS, K. C.; CRUZ, M. C. P. Produção de biocombustíveis a partir de resíduos vegetais, 2012.

SILVA, L. G. et al. Desempenho de cordeiros Ile de France alimentados com farinha de algas marinhas (*Schizochytrium* sp.) e vitamina E.

SILVA, V. L. Prospecção Científica: Biomoléculas Obtidas De Algas Marinhas E Suas Potenciais Perspectivas Para O Tratamento Do HIV-1. *Scire Salutis*, v. 11, n. 2, 2021.

SIMÕES , M. et al. *Biocientífica Das Microalgas. Algas Cultiváveis E Sua Aplicação Biocientífica*, 2016.

SOARES, L. P.; FUJII, M. T. Novas ocorrências de macroalgas marinhas bentônicas no estado de Pernambuco, Brasil. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, n.3, p.557-570, 20 jul. 2012.

STIRK, W. A., NOVAK, M. S., VAN STADEN, J. Cytokinins in macroalgae. *Plant Growth Regulation*. n. 41, 2003, p. 13–24.

STOLZ, P. e OBERMAYER, B. Fabricação de microalgas para o cuidado da pele, 120, pp. 99 - 106, 2005.

TAJIRI, K. & SHIMIZU Y. Branched-chain amino acids in liver diseases. *World Journal Gastroenterology*, 19(43), 7620–7629, 2013.

TANG, D. Y. Y., et al. Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of Brazilian Journal of Development natural products. *Bioresource Technology*, 2020.

TEXEIRA, V. L.; KELECOM, A.; GOTTLIEB, O. R. *Produtos naturais de algas marinhas*, 1991.

TINOCO, Natália AB; TEIXEIRA, Cláudia Maria LL; DE REZENDE, Claudia M. O Gênero *Dunaliella*: Biotecnologia e Aplicações. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 4, p. 1421-1440, 2015.

TORRES, P. B. et al. Ensaio do potencial antioxidante de extratos de algas através do sequestro do ABTS•+ em microplaca, 2017.

TRICHEZ, D.; BERGMANN, J. C.; GARCIA, L. C. and JUNGSMANN, L. How many bioethanol generations can we have? In: TREICHEL, H.; ALVES JÚNIOR, S. L.; FONGARO, G.; MÜLLER, C. *Ethanol as a green alternative fuel: insight and perspectives*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, cap. 2. p. 21-25, 2019.

TRIPATHI, U. et al. Production of astaxanthin in *Haematococcus pluvialis* cultured in various media. *Bioresource Technology*, n.68, p.197-199, 1999.

USHIMARU, P. I. Aplicação de metodologias de isolamento de bactérias ainda 'não-cultivadas' em ecossistemas marinhos. 2011. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Biotecnologia, University of São Paulo, São Paulo, 2011.

VALENTIN , Y. Y. *Macroalgas Marinhas E Biotecnologia, Companheiras Inseparáveis*, 2010.

VASCONCELOS, B. M. F. Utilização da macroalga *Gracilaria birdiae* no desenvolvimento de produtos alimentícios. 2015.

VIDOTTI, E. C. et al. *Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica*, 2004.

WANG, H-M. D. et al. (2015). Exploring the potential of using algae in cosmetics.

WELLS, Mark L. et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, v. 29, n. 2, p. 949-982, 2017.

WOJCIECHOWSKI, J. et al. Isolamento e cultivo de microalgas, 2013.

YANG, P. F. et al. Biohydrogen production from cheese processing wastewater by anaerobic fermentation using mixed microbial communities. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 32, p. 4761-4771, 2007.

YOKOYA, N. S. Bioprospecção e Aplicações Biotecnológicas das Macroalgas Marinhas. 62o Reunião anual da SBPC. Natal–RN, 2010.



## ANEXOS

### Anexo I - Principais referências dos potenciais encontrados

ARTIGO	POTENCIAIS ENCONTRADOS
FELÍCIO, Rafael de; DEBONSI, Hosana Maria; YOKOYA, Nair Sumie. 4-(Hidroximetil)-Benzenossulfonato de potássio: Metabólito inédito isolado da alga marinha <i>Bostrychia tenella</i> (Rhodomelaceae, ceramiales). <i>Química nova</i> , v. 31, n. 4, p. 837-839, 2008.	Moléculas bioativas (Agarana)
PEREIRA, Leonel et al. Análise comparativa dos ficocolóides produzidos por algas carragenófitas usadas industrialmente e algas carragenófitas portuguesas. <i>Um Mar de Oportunidades</i> , 2007.	Moléculas bioativas (Carragenana)
TEXEIRA, V. L.; KELECOM, A.; GOTTLIEB, O. R. <i>Produtos naturais de algas marinhas</i> , 1991.	Saúde e alimentação
CHALLAGULLA, Vineela; FABBRO, Larelle; NAYAR, Sasi. Biomass, lipid productivity and fatty acid composition of fresh water microalga <i>Rhopalosolen saccatus</i> cultivated under phosphorous limited conditions. <i>Algal research</i> , v. 8, p. 69-75, 2015.	Moléculas bioativas
CECATO, Adilson; MOREIRA, Gláucia Cristina. Aplicação de extrato de algas em alface. <i>Revista Cultivando o Saber</i> , v. 6, n. 2, p. 89-96, 2013	Agricultura
ARAÚJO, Isaac B.; PERUCH, Luiz AM; STADNIK, Marciel J. Efeito do extrato de alga e da argila silicatada na severidade da alternariose e na produtividade da cebolinha comum ( <i>Allium fistulosum</i> L.). <i>Tropical Plant Pathology</i> , v. 37, p. 363-367, 2012.	Agricultura
DA SILVA, T. A. P. <i>Uso de Biofertilizantes (Extrato De Algas–ascophyllum Nodosum) Na Cultura Do Milho</i> , 2018.	Agricultura
DA SILVA, A. C. et al. Biofertilizantes de microalgas: desafios para uma produção competitiva e sustentável. In: Embrapa Agroenergia-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE BIODIESEL, 7., 2019.	Agricultura
ANGELL, Alex R. et al. Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. <i>Trends in food science &amp; technology</i> , v. 54, p. 74-84, 2016.	Alimentação

MOTA, Cátia Sofia Carvalho. Avaliação do potencial de utilização de microalgas como alimento alternativo na alimentação de animais de produção. 2018.	Alimentação
DERNER, R. B. et al. Microalgas, produtos e aplicações. Ciência Rural, v. 36, p. 1959-1967, 2006.	Alimentação e Moléculas bioativas.
CARLOS, André Carreira et al. Uso da alga <i>Lithothamnium calcareum</i> como fonte alternativa de cálcio nas rações de frangos de corte. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, p. 833-839, 2011	Alimentação animal
NETO, João Moreira Costa et al. Farinha de algas marinhas (" <i>Lithothamnium calcareum</i> ") como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 11, n. 1, 2010.	Alimentação e saúde
KULSHRESHTHA, Garima et al. Feed supplementation with red seaweeds, <i>Chondrus crispus</i> and <i>Sarcodiotheca gaudichaudii</i> , affects performance, egg quality, and gut microbiota of layer hens. Poultry Science, v. 93, n. 12, p. 2991-3001, 2014.	Alimentação e saúde animal
RODRIGUES, José Ariévilto Gurgel et al. Cultivo de camarões tratados com polissacarídeos sulfatados da rodófitca <i>Halymenia pseudofloresia</i> mediante uma estratégia profilática. Revista Ciência Agronômica, v. 40, n. 1, p. 71-78, 2009.	Alimentação Animal
DE CARVALHO, Paulo Reis et al. Influência da adição de fontes marinhas de carotenóides à dieta de galinhas poedeiras na pigmentação da gema do ovo. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science, v. 43, n. 5, p. 654-663, 2006.	Alimentação Animal
DA COSTA, F. T. M. et al. " <i>Chlorella</i> " sp. como suplemento alimentar durante a larvicultura de tilápia do Nilo. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 12, n. 4, 2011.	Alimentação Animal
CARNEIRO, J. G. et al. Potencial nutricional das algas vermelhas <i>Hypnea musciformis</i> e <i>Solieria filiformis</i> : Análises da composição centesimal, 2012.	Alimentação
ROGATTO, Gustavo Puggina et al. Influência da ingestão de espirulina sobre o metabolismo de ratos exercitados. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v. 10, p. 258-263, 2004.	Alimentação
ALVES FILHO, Francisco Messias et al. Alga marrom ("	Alimentação Animal

Ascophyllum nodosum") para alevinos de tilápia do Nilo. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 12, n. 4, 2011.	
SEBASTIEN, Nyamien Yahaut; GRANJA, Rafael Pereira. Cultivo de scenedesmus: alimento vivo para a manutenção de organismos planctônicos e implementação na dieta humana. Varia Scientia, v. 5, n. 10, p. 113-121, 2006.	Alimentação
SILVA, L. G. et al. Desempenho de cordeiros Ile de France alimentados com farinha de algas marinhas (Schizochytrium sp.) e vitamina E.	Alimentação Animal
FIGUEIREDO, S. A.; BARBOSA, E. C. A.; LOPES, R. M. B. RIOS EUTROFIZADOS COMO FONTE DE OBTENÇÃO DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.	Biocombustíveis
KHAN, Muhammad Imran; SHIN, Jin Hyuk; KIM, Jong Deog. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. Microbial cell factories, v. 17, n. 1, p. 1-21, 2018.	Biocombustíveis
SCRANTON, Melissa A. et al. Chlamydomonas as a model for biofuels and bio-products production. The Plant Journal, v. 82, n. 3, p. 523-531, 2015.	Biocombustíveis
ALAM, Firoz et al. Biofuel from algae-Is it a viable alternative?. Procedia Engineering, v. 49, p. 221-227, 2012.	Biocombustíveis
ADENIYI, Oladapo Martins; AZIMOV, Ulugbek; BURLUKA, Alexey. Algae biofuel: current status and future applications. Renewable and sustainable energy reviews, v. 90, p. 316-335, 2018.	Biocombustíveis
CHEN, Zhipeng et al. Determination of microalgal lipid content and fatty acid for biofuel production. BioMed research international, v. 2018, 2018.	Biocombustíveis
BHATT, Neha Chamoli et al. Coupling of algal biofuel production with wastewater. The Scientific World Journal, v. 2014, 2014.	Biocombustíveis
PARK, Hanwool; LEE, Choul-Gyun. Theoretical calculations on the feasibility of microalgal biofuels: utilization of marine resources could help realizing the potential of microalgae. Biotechnology journal, v. 11, n. 11, p. 1461-1470, 2016.	Biocombustíveis

MEDIPALLY, Srikanth Reddy et al. Microalgae as sustainable renewable energy feedstock for biofuel production. <i>BioMed research international</i> , v. 2015, 2015.	Biocombustíveis
SHOW, Pau Loke et al. A holistic approach to managing microalgae for biofuel applications. <i>International journal of molecular sciences</i> , v. 18, n. 1, p. 215, 2017.	Biocombustíveis
SILVA, Bárbara de Fátima Rodrigues; VILELA, Pamela Cardoso; BERNSTEIN, Any. A busca por uma matriz energética sustentável por meio do biodiesel de algas: características, implicações e perspectivas.	Biodiesel
DUARTE, Iolanda Cristiny Nascimento et al. Extração, hidro-esterificação e metilação dos lipídios da macroalga <i>Gracilaria Caudata</i> , aplicando catalise heterogênea na preparação do biodiesel. <i>REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS</i> , v. 5, n. 1, p. 1752-1763, 2015.	Biodiesel
DE SOUZA, Maiara Priscilla et al. As Microalgas Como Uma Alternativa Para a Produção De Biocombustíveis Parte I: Bioetanol. <i>Tecno-Lógica</i> , v. 16, n. 2, p. 108-116, 2012.	Bioetanol
MAGRO, Francisco Gerhardt et al. Produção de bioetanol utilizando microalgas: uma revisão. <i>Semina: Ciências exatas e tecnológicas</i> , v. 37, n. 1, p. 159-174, 2016.	Bioetanol
CARNEIRO, Gillianne Assis et al. Uso de microalgas para produção de biodiesel. <i>Research, Society and Development</i> , v. 7, n. 5, p. e1075181, 2018.	Biodiesel
MARTINS, Marcio Arêdes et al. NOTA TÉCNICA: AS MICROALGAS COMO ALTERNATIVA À PRODUÇÃO DE BIOCMBUSTÍVEIS. <i>Revista Engenharia na Agricultura-REVENG</i> , v. 20, n. 5, p. 389-403, 2012.	Biocombustíveis
DEFANTI, Leonardo S.; SIQUEIRA, Nathalia S.; LINHARES, Paolla C. Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes. <i>Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e If Fluminense, Rio de Janeiro</i> , p. 11-21, 2010.	Biocombustíveis
DOS SANTOS, Camila Cristina Andrade et al. Prospecção Tecnológica de Patentes Sobre Cultivos de Microalgas Visando à Produção de Biodiesel. <i>Cadernos de Prospecção</i> , v. 11, n. 4, p. 1057, 2018.	Biodiesel
PEREIRA, Claudio MP et al. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas.	Biodiesel

Química Nova, v. 35, p. 2013-2018, 2012.	
HENRARD, Adriano A. et al. Produção de Biogás a partir de biomassa microalgal. In: III Congresso Brasileiro de Carvão. Gramado, RS. 2011.	Biogás
FERNÁNDEZ-LINARES, Luis Carlos et al. Producción de biocombustibles a partir de microalgas. Ra Ximhai, v. 8, n. 3, p. 101-115, 2012.	Biocombustíveis
MENEZES, Rafael Silva et al. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. Química Nova, v. 36, n. 1, p. 10-15, 2013.	Biodiesel
GRANDO, Rafaela Lora; DE SOUZA ANTUNES, Adelaide Maria; DE OLIVEIRA, Cláudia Braga Jacques Foss. Panorama do Biodiesel utilizando prospecção tecnológica. Ciência & Tecnologia, v. 8, n. 1, 2016.	Biodiesel
OLIVEIRA, Carlos de Jesus de et al. Produção de Biodiesel a partir das algas: uma revisão. Journal Of Agronomic Sciences, Umuarama, v. 3, p. 202-221, 2014.	Biodiesel
BAGNOUD-VELÁSQUEZ, Mariluz et al. Opportunities for Switzerland to contribute to the production of algal biofuels: the hydrothermal pathway to bio-methane. CHIMIA International Journal for Chemistry, v. 69, n. 10, p. 614-621, 2015.	Biocombustíveis
BIKKER, Paul et al. Biorefinery of the green seaweed <i>Ulva lactuca</i> to produce animal feed, chemicals and biofuels. Journal of applied phycology, v. 28, n. 6, p. 3511-3525, 2016.	Biocombustíveis
MARREIRO, Hívila Maria Pontes; DE OLIVEIRA, Andressa Sales; LOPES, Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa. Potencial energético da microalga <i>Oedogonium</i> sp. na produção de biocombustível sólido. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 4, p. 578-585, 2019.	Biocombustível sólido
JAHAN, Afroz et al. Algal bioactive compounds in the cosmeceutical industry: a review. Phycologia, v. 56, n. 4, p. 410-422, 2017.	Cosméticos
TEIXEIRA, Valéria L. Produtos naturais de algas marinhas bentônicas. Revista Virtual de Química, v. 5, n. 3, p. 343-362, 2013.	Compostos bioativos
AGROENERGIA, EMBRAPA. Agroenergia em revista:	Potenciais em geral

microalgas. Embrapa Agroenergia-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E), 2016.	
CHEW, Kit Wayne et al. Microalgae biorefinery: high value products perspectives. <i>Bioresource technology</i> , v. 229, p. 53-62, 2017.	Potenciais em geral
COELHO, Michele Silveira et al. Potential utilization of green tide-forming macroalgae from Patos Lagoon, Rio Grande-RS, Brazil. <i>Journal of Aquatic Food Product Technology</i> , v. 25, n. 7, p. 1096-1106, 2016.	Potenciais em geral
SIMÕES, Mirela Assunção et al. Algas cultiváveis e sua aplicação biotecnológica. 2016.	Potenciais em geral
FELÍCIO, Rafael de; OLIVEIRA, Ana Ligia Leandrini de; DEBONSI, Hosana Maria. Bioprospecção a partir dos oceanos: conectando a descoberta de novos fármacos aos produtos naturais marinhos. <i>Ciência e Cultura</i> , v. 64, n. 3, p. 39-42, 2012.	Potenciais em geral
VIDOTTI, Eliane Cristina; ROLLEMBERG, Maria do Carmo E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. <i>Química nova</i> , v. 27, p. 139-145, 2004.	Tratamento de Efluentes
MARQUES, Sâmia Momesso; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Algas como bioindicadores da qualidade da água. <i>Revista Científica ANAP Brasil</i> , v. 10, n. 19, 2017.	Tratamento de Efluentes
MUKHERJEE, P .; KESHRI, JP Situação atual e desenvolvimento da polpa de algas para a tecnologia de fabricação de papel feita à mão: uma revisão. <i>Adv Plants Agric Res</i> , v. 8, n. 1, pág. 18/10/2018.	Produção de papel
EVANS, F. D.; CRITCHLEY, A. T. Seaweeds for animal production use. <i>Journal of applied phycology</i> , v. 26, n. 2, p. 891-899, 2014.	Alimentação animal
WELLS, Mark L. et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. <i>Journal of applied phycology</i> , v. 29, n. 2, p. 949-982, 2017.	Alimentação
BHATT, Neha Chamoli et al. Coupling of algal biofuel production with wastewater. <i>The Scientific World Journal</i> , v. 2014, 2014.	Biocombustíveis
POOJA, Shetty. Algae used as medicine and food-a short review. <i>Journal of Pharmaceutical Sciences and Research</i> , v. 6, n. 1, p. 33, 2014.	Alimentação e saúde

ARIEDE, Maíra Bueno et al. Cosmetic attributes of algae-A review. <i>Algal research</i> , v. 25, p. 483-487, 2017.	Cosméticos
ORTIZ-MORENO, Martha L.; SANDOVAL-PARRA, Karen X.; SOLARTE-MURILLO, Laura V. Chlorella, um potencial biofertilizante?. <i>Orinoquia</i> , v. 23, n. 2, p. 71-78, 2019.	Agricultura
BECKER, A. J. S. & SILVA, V. N. Tratamento de sementes de alface com bioestimulantes à base de algas. <i>Acta Biológica Catarinense</i> , v. 8, n. 1, p. 11-17, 2021.	Agricultura
FRIEDRICH, J. C. C. et al. Bioestimulante: uso em produção de mudas e resultados na produção comercial. <i>Brazilian Journal of Development</i> , v. 6, n. 5, p. 27392-27409, 2020.	Agricultura
MELO, G. B. et al. Tratamento de sementes com doses do bioestimulante à base de algas. <i>Brazilian Journal of Development</i> , v. 7, n. 1, p. 1418-1431, 2021.	Agricultura
PEREIRA, L., As algas na alimentação, <i>Rev. Ciência Elem.</i> , V9(1):006, 2021.	Alimentação
SILVA, V. L. Prospecção Científica: Biomoléculas Obtidas De Algas Marinhas E Suas Potenciais Perspectivas Para O Tratamento Do HIV-1. <i>Scire Salutis</i> , v. 11, n. 2, 2021.	Saúde
NASCIMENTO, T. et al. Microalgas E Saúde: Uma Breve Revisão. <i>Brazilian Journal Of Development</i> , 2021.	Saúde
DA SILVA, C. P.; CRIVELARI, A. D. CORREA, J. S. Desenvolvimento De Mudas De Alface E Rúcula Tratadas Com Biofertilizante De Extrato De Algas. <i>Científica-Multidisciplinary Journal</i> , v. 8, n. 1, p. 1-10, 2021.	Agricultura
ALMEIDA, B. K. C. et al. O Uso De Algas Em Cosméticos: Um Estudo Cienciométrico. <i>Journal of Biology &amp; Pharmacy and Agricultural Management</i> , 2020.	Cosméticos
ARAÚJO, L. A. et al. Processos Biotecnológicos Na Remoção De Metais Pesados. <i>Saber Científico (1982-792X)</i> , v. 8, n. 2, p. 135-145, 2021.	Remoção de metais pesados
AGUILAR, Paloma Camacho; FLÓREZ-CASTILLO, J. M. Microalgas y sus aplicaciones biotecnológicas.	Potenciais em geral
DE FREITAS, M. S. et al. GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE NABO FORRAGEIRO TRATADAS COM EXTRATO DE ALGAS. <i>Anais do Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão</i> , 2020.	Agricultura

<p>TINOCO, Natália AB; TEIXEIRA, Cláudia Maria LL; DE REZENDE, Claudia M. O Gênero Dunaliella: Biotecnologia e Aplicações. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 4, p. 1421-1440, 2015.</p>	<p>Potenciais em geral</p>
<p>DE CASTRO OLIVEIRA, Wemerson et al. Cianobactérias: Uma revisão sobre potencial nutricional e alguns aspectos biotecnológicos. BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports, v. 2, n. 1, p. 49-67, 2013.</p>	<p>Potenciais em geral</p>