PUBLICAÇÃO TÉCNICA

Potencial de aplicação de algas em produtos de proteínas alternativas

gfi Brasil

Ficha de créditos

Autores

Mariana Demarco Gomes

Revisão

Cristiana Ambiel

Graziele Grossi Bovi Karatay

Projeto Gráfico

Fabio Cardoso

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

G633

Gomes, Mariana Demarco

Potencial de aplicação de algas em produtos de proteínas alternativas: publicação técnica / Mariana Demarco Gomes. – São Paulo: Tiibooks; The Good Food Institute Brasil, 2024.

E-BooK: PDF, 42 p.; IL.; Color

ISBN 978-65-87080-81-9

1. Alimentos. 2. Cadeia Produtiva Alimentar. 3. Tecnologia de Alimentos. 4. Inovação. 5. Proteína Vegetal. 6. Alimentos Vegetais Análogos. 7. Algas. I. Título. II. Publicação técnica. III. Algas como ingredientes para produtos alimentícios: produção e segurança. IV. Potencial técnico, nutricional e sustentável da produção de algas, de ingredientes e produtos alternativos à base de algas. V. Oportunidades de pesquisa na temática de algas e seus ingredientes para produtos alternativos. VI. IFC/Brasil.

CDU 664 **CDD 664**

Catalogação elaborada por Regina Simão Paulino – CRB 6/1154

O Good Food Institute é uma organização sem fins lucrativos que trabalha globalmente para acelerar a inovação do mercado de proteínas alternativas. Acreditamos que a transição para um sistema alimentar mais sustentável é fundamental para enfrentar a crise climática, diminuir o risco de doenças zoonóticas e alimentar mais pessoas com menos recursos. Por isso, colaboramos com cientistas, investidores, empresários e agentes de governo para desenvolver alimentos análogos vegetais, cultivados ou obtidos por fermentação.

Nosso trabalho se concentra em três áreas principais:

Em **Engajamento Corporativo** apoiamos empresas de todos os tamanhos a desenvolverem, lançarem e comercializarem produtos de proteínas alternativas, conectamos startups com investidores, mentores e parceiros, fornecemos inteligência de mercado para ajudar as empresas a tomarem decisões informadas, realizamos pesquisas para identificar e superar os desafios do setor.

Em **Ciência e Tecnologia** financiamos pesquisas de ponta sobre proteínas alternativas, promovemos colaborações entre cientistas, empresas e governos, publicamos dados e descobertas para impulsionar o progresso científico, desenhamos programas educacionais para formar a próxima geração de líderes em proteínas alternativas.

Em **Políticas Públicas** defendemos políticas públicas que apoiam o desenvolvimento e a comercialização de proteínas alternativas, trabalhamos com governos para criar um ambiente regulatório favorável, educamos o público sobre os benefícios das proteínas alternativas, monitoramos o cenário político e defendemos os interesses do setor.

Com esse trabalho, buscamos soluções para:

- **Alimentar de forma segura, justa e sustentável quase dez bilhões de pessoas até 2050;**
- **Conter as mudanças climáticas provocadas pelo atual sistema de produção de alimentos;**
- **Criar uma cadeia de produção de alimentos que não dependa de animais;**
- **Reduzir a contribuição do setor alimentício para o desenvolvimento de novas doenças infecciosas, algumas com potencial pandêmico.**

Em pouco mais de seis anos de atuação no Brasil, o GFI já ajudou o país a se tornar um dos principais atores do mercado global de proteínas vegetais. A intenção é continuar desenvolvendo esse trabalho para transformar o futuro da alimentação, promovendo novas fontes de proteínas e oferecendo alternativas análogas às de origem animal.

Índice

Introdução..... 5

1. Algas como ingredientes para produtos alimentícios: produção e segurança..... 6

1.1. Classificação das algas..... 6

1.1.1. Microalgas..... 6

1.1.2. Macroalgas..... 7

1.2. Aplicação das algas..... 8

1.3. Beneficiamento das algas..... 9

1.3.1. Cultivo..... 9

1.3.2. Coleta..... 10

1.3.3. Secagem..... 10

1.3.4. Extração de proteínas..... 11

1.4. Aspectos de segurança de alimentos..... 11

1.5. Perspectiva brasileira do cultivo e uso alimentar de algas..... 13

2. Potencial técnico, nutricional e sustentável da produção de algas, de ingredientes e produtos alternativos à base de algas..... 14

2.1. Uso alimentar das algas..... 14

2.2. Aplicação de algas como ingredientes para proteínas alternativas..... 16

2.2.1. Aspectos nutricionais e sensoriais..... 16

2.2.2. Aspectos tecnológicos..... 19

2.3. Sustentabilidade..... 20

3. Oportunidades de pesquisa na temática de algas e seus ingredientes para produtos alternativos..... 21

Conclusão..... 24

Referências..... 25

Introdução

Até 2050, a produção global de alimentos deve aumentar entre 70% e 100% em relação aos níveis atuais para suprir a população estimada de quase dez bilhões de pessoas (Tilman et al., 2011; FAO, 2009). A proteína, em particular, é um dos principais nutrientes que podem tornar-se escassos no futuro. Para atender à demanda do consumidor e às projeções globais de requisitos de proteína, são necessárias fontes de proteína alternativas e métodos de fabricação (Neo et al., 2023).

Além das proteínas de origem animal, a proteína vegetal pode ser uma boa fonte alternativa de proteína. As algas tornaram-se fontes viáveis de proteína devido a suas características únicas em comparação com os animais (Chew et al., 2017). As algas crescem rápido, consomem baixa quantidade de água, realizam biorremediação e não promovem competição por terra arável para seu cultivo (Bleakley; Hayes, 2017).

Diante do desafio global de garantir a segurança alimentar para uma população mundial no futuro, é crucial explorar fontes de proteínas alternativas para suprir a crescente demanda por alimentos. Nesse contexto, o Brasil emerge como um potencial mercado estratégico para o desenvolvimento e a expansão dessas alternativas. O The Good Food Institute (GFI) Brasil reconhece a urgência de investigar e compreender as possibilidades oferecidas pelas algas como uma fonte viável de proteína.

As macroalgas e microalgas são consideradas fontes de proteína eficazes e importantes no universo *plant-based* (Chew et al., 2017). Algumas espécies de macroalgas e microalgas têm níveis de proteína comparáveis aos encontrados em fontes de proteína padrão, como leite, ovos e soja. Além disso, as algas têm melhor produtividade e valor nutricional do que culturas ricas em proteínas que são tradicionais, assim, o uso de algas para a síntese de proteínas tem mais vantagens (Bleakley; Hayes, 2017).

Sendo assim, o objetivo deste documento é conduzir um estudo abrangente que não apenas introduza os fundamentos do cultivo, da coleta e da extração de proteínas das algas, mas também explore seu potencial uso na alimentação humana. O estudo também analisará os aspectos nutricionais e tecnológicos das algas como ingredientes alternativos no setor de proteínas e, aspectos relacionados à segurança de alimentos.

Além de contribuir para o conhecimento científico sobre o assunto, o estudo também tem o objetivo de fomentar o desenvolvimento de uma cadeia produtiva sustentável em torno das algas como fonte de proteínas alternativas. Portanto, ao fornecer informações sólidas e abrangentes sobre o potencial das algas como fonte de proteínas, o GFI busca catalisar o avanço desse setor emergente, abrindo caminho para novas pesquisas, inovações e discussões no campo da alimentação sustentável e segura.

1. Algas como ingredientes para produtos alimentícios: produção e segurança

1.1. Classificação das algas

O termo "alga" é empregado para descrever um grupo de organismos capazes de realizar fotossíntese e sintetizar seu próprio alimento. Esses organismos são classificados em quatro reinos: Bacteria, Protozoa, Chromista e Plantae (Guiry, 2012). As algas estão presentes em ambientes terrestres e aquáticos e crescem tanto em águas doces quanto salgadas (Singh; Sharma, 2012). As algas são divididas em microalgas, organismos microscópicos e unicelulares, e macroalgas, as quais apresentam estrutura multicelular. As microalgas são tradicionalmente classificadas de acordo com seus aspectos citológicos e morfológicos, tipo de metabólitos de reserva, componentes da parede celular e pigmentos. As macroalgas são classificadas com base em suas características químicas e morfológicas, especialmente na presença de pigmentos específicos (Dominguez, 2013).

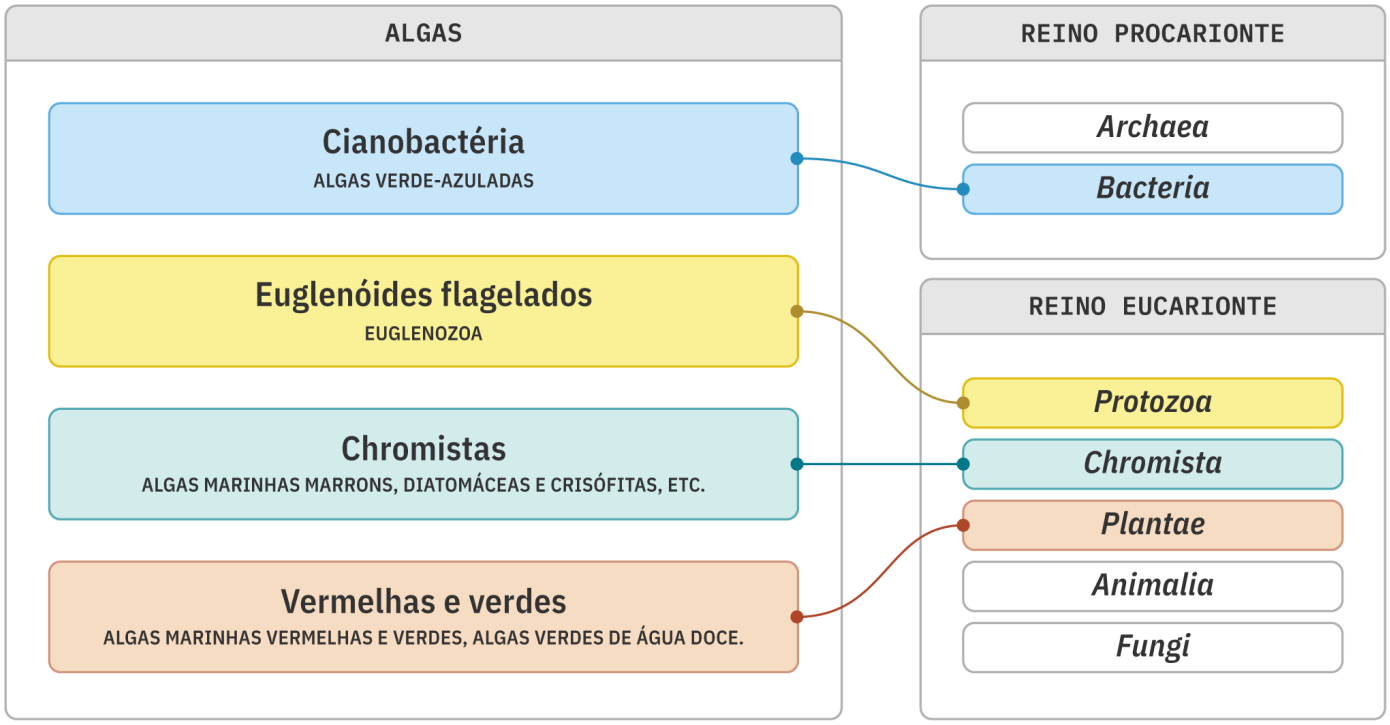

Figura 1. Classificação de algas em reinos de acordo com suas características.

Fonte: Adaptado de GUIRY & KUIPERS [s.d.].

1.1.1. Microalgas

Microalgas, termo usado na ficologia aplicada para se referir às algas microscópicas, são microrganismos encontrados em várias formas, unicelulares ou em colônias, filamentosos ou sifonáceos. Esses microrganismos são caracterizados pela presença de clorofila e outros pigmentos fotossintéticos, como β-caroteno, xantofilas e ficobiliproteínas, que lhes permite realizar fotossíntese oxigênica

(Richmond, 2004; Begum et al., 2015). A diversidade de microalgas é estimada entre 200 mil e 800 mil espécies (Koyande et al., 2019), e elas podem apresentar duas estruturas celulares distintas: a estrutura procariótica, com genoma desorganizado e livre no citoplasma junto com as membranas fotossintéticas, e a estrutura eucariótica, com genoma organizado em cromossomos e envolvido por carioteca. As microalgas com estrutura procariótica pertencem às divisões *Cyanophyta* (cianobactérias) e *Prochlorophyta*, enquanto as com estrutura eucariótica pertencem às divisões *Chlorophyta, Euglenophyta, Rhodophyta, Haptophyta (Prymnesiophyta), Heterokontophyta (Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Xantophyceae* etc.), *Cryptophyta* e *Dinophyta*. Esses organismos são classificados com base nos constituintes de suas paredes celulares, nas substâncias de reserva, na natureza de seus pigmentos e suas aplicações específicas (Richmond, 2004; Begum et al., 2015; Derner et al., 2006).

Além de serem naturalmente autotróficas (produzem energia por meio de luz e dióxido de carbono), as microalgas podem ser cultivadas em ambientes heterotróficos, nos quais utilizam compostos orgânicos como fonte de carbono e energia, e em ambientes mixotróficos, em que empregam simultaneamente os sistemas autotrófico e heterotrófico, utilizando luz e compostos orgânicos como fontes de energia e, compostos orgânicos e dióxido de carbono como fontes de carbono. Para ambos os sistemas de cultivo, são necessárias microalgas com características favoráveis ao crescimento e à proliferação em condições de pouca luz ou ausência dela, bem como a capacidade de se adaptar a novos ambientes (Ferreira et al., 2013).

Assim, as microalgas, como microrganismos que consomem dióxido de carbono do meio ambiente durante seu crescimento e sua multiplicação, contribuem para a redução dos níveis desse gás presente na atmosfera, além de terem alta produtividade de biomassa, que é de interesse nutricional e funcional, especialmente quando se estuda seus compostos bioativos (Ferreira et al., 2013).

1.1.2. Macroalgas

O termo "macroalgas" refere-se principalmente às algas marinhas macroscópicas, pluricelulares, pertencentes ao grupo de plantas conhecido como algas inferiores e com diferentes tipos morfológicos. Essas algas são fortemente integradas aos ecossistemas costeiros rochosos, nos quais permanecem fixas e submersas, encontrando substratos adequados para seu desenvolvimento, embora também possam ser encontradas em costas arenosas e mais expostas durante a maré baixa (Jung et al., 2013; Pereira, 2009). As macroalgas são organismos fotossintetizantes capazes de converter energia luminosa em energia química de forma mais eficiente, o que resulta em maior produção de biomassa em comparação com organismos terrestres. Tanto as macroalgas quanto as microalgas são responsáveis pela maior parte da produção de oxigênio na atmosfera terrestre (Jung et al., 2013; Häder et al., 1997).

As macroalgas abrangem cerca de 9 mil espécies agrupadas em três grandes grupos, classificados de acordo com as colorações particulares dessas algas, derivadas de seus pigmentos fotossintéticos: o filo *Chlorophyta* (algas verdes), o filo *Rhodophyta* (algas vermelhas) e o filo *Phaeophyta* (algas marrons/pardas) (Khan et al., 2009). O filo Chlorophyta é o mais diverso em termos de espécies, incluindo tanto macroalgas quanto microalgas. As macroalgas verdes (aproximadamente 4.500 espécies) têm ampla distribuição em ambientes aquáticos, predominando em ambientes continentais e sendo amplamente utilizadas nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (Bortolucci;

Pedroso-de-Moraes, 2011; Jung et al., 2013; Marmitt et al., 2015). O filo das macroalgas vermelhas inclui de 4 mil a 6 mil espécies registradas, predominando em ambientes marinhos e regiões oceânicas tropicais, com produtos de interesse para a indústria farmacêutica, cosmética, alimentícia e de tinturaria (Bortolucci; Pedroso-de-Moraes, 2011; Marmitt et al., 2015). Por sua vez, as macroalgas pardas têm sua maior produção de biomassa concentrada em costões rochosos em zonas temperadas e tropicais (Khan et al., 2009). São organismos predominantemente marinhos e se destacam no setor agrícola, sendo amplamente utilizadas para a produção de biofertilizantes em relação aos outros dois grandes grupos de macroalgas; além disso, apresentam interesse para as indústrias têxtil, alimentícia, farmacêutica e cosmética (Marmitt et al., 2015; Dapper et al., 2014).

1.2. Aplicação das algas

As macroalgas têm sido parte da dieta de populações asiáticas há muitos anos e são consumidas diretamente como alimento (Fitzgerald et al., 2011). Além disso, as macroalgas também são processadas industrialmente para extrair hidrocoloides, como ágar e alginato (Rioux; Beaulieu; Turgeon, 2017), que são amplamente utilizados na indústria de alimentos.

Por sua vez, as microalgas têm uma aplicação mais limitada na produção de alimentos. Para consumo humano, *Arthrospira, Chlorella, Aphanizomenon, Dunaliella e Haematococcus* são os mais amplamente utilizados, embora nem todos sejam aprovados pela Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (EFSA), limitando seu consumo como alimento na Europa (Niccolai et al., 2019). As regulamentações europeias sobre novos alimentos, segurança alimentar, nutrição e alegações de saúde alimentar claramente afetam o marketing de produtos de microalgas (Vigani et al., 2015).

O crescente interesse em produtos contendo algas, no entanto, desencadeou os esforços da União Europeia para aumentar a produção economicamente eficiente de macroalgas cultivadas, em vez das colhidas, para impulsionar sua incorporação nos mercados de alimentos e melhorar sua segurança alimentar (Banach et al., 2020; DG MARE, 2018).

As algas são fontes de produtos de alto valor nutricional, como ácidos graxos poli-insaturados, ômega-3, polifenóis, esteróis e pigmentos, além de proteínas, lipídios, carboidratos, polissacarídeos, vitaminas e minerais como cálcio, sódio, magnésio, fósforo, potássio, zinco, iodo, entre outros. Algumas algas marinhas podem conter até 100 vezes mais vitaminas e minerais por unidade de matéria seca do que alimentos de origem vegetal ou animal. Vários estudos demonstram que as algas podem ser exploradas por suas propriedades antioxidantes, antibacterianas, antivirais, antidiabéticas, antifúngicas, anti-inflamatórias, imunomoduladoras, neuroprotetoras, anticoagulantes, prebióticas e anticancerígenas (Ścieszka; Klewicka, 2019). O potencial para explorar as propriedades metabólicas de diferentes espécies é imenso, dada a diversidade de espécies de algas.

As algas têm diversas aplicações biotecnológicas além de seu uso como suplemento proteico. Elas são utilizadas na alimentação animal, na produção de biocombustíveis, como biofertilizantes, em processos de biorremediação e, também, têm potencial terapêutico (Fonseca, 2016).

No Brasil, a maioria das pesquisas tem se concentrado no estudo do uso das algas como biocombustível (Matos, 2021), no entanto, focar no seu uso para o desenvolvimento de produtos alimentícios é de grande valia visto a necessidade de encontrar possíveis soluções para superar o grande desafio que é como vamos alimentar quase dez bilhões de pessoas em 2050 de maneira sustentável, saudável, eficiente e segura.

A exploração das algas como fonte alternativa de proteínas apresenta vantagens importantes, como alta eficiência fotossintética, baixo consumo de recursos hídricos e de área para cultivo, além da capacidade de armazenar carbono, possibilitando uma produção sustentável (Geada et al., 2021).

1.3. Beneficiamento das algas

1.3.1. Cultivo

Existem algumas características de produção semelhantes entre macroalgas e microalgas. Ambos os grupos requerem luz, CO2 e outros nutrientes dissolvidos na água, como açúcares, nitratos e oxigênio. No entanto, algumas particularidades de cada grupo devem ser consideradas na determinação dos melhores métodos de cultivo. Tamanho, ciclo de vida, reprodução, características estruturais, área necessária para a produção, rendimento, métodos de coleta e sistemas de produção diferem entre microalgas e macroalgas (Chauton et al., 2021).

Antes de iniciar o processo de cultivo em larga escala, é necessário considerar alguns fatores para maximizar os rendimentos e minimizar as perdas. O crescimento da macroalga e a qualidade da biomassa dependem do local escolhido para o cultivo, das características da água (temperatura, pH e salinidade), do ambiente de crescimento (para evitar contaminações por patógenos e competição por nutrientes), da espécie cultivada e do tipo de reprodução e propagação da macroalga (Radulovich et al., 2015). A produção pode ser realizada tanto em áreas costeiras relativamente rasas no mar, para permitir a penetração adequada da radiação solar e o crescimento de todas as mudas, quanto em terra, utilizando tanques (GFI Índia).

O cultivo em tanques oferece a vantagem de permitir um melhor acompanhamento do crescimento das algas, pois possibilita o controle dos fatores necessários para crescimento ótimo e maior rendimento. Além disso, o cultivo em tanques ajuda a manter as características qualitativas das algas, evitando contaminações que podem ocorrer em ambientes marinhos abertos (Radulovich et al., 2015).

O cultivo de microalgas, assim como o de macroalgas, pode ser realizado em sistemas fechados e sistemas abertos. No cultivo em sistema fechado, são utilizados diversos tipos de fotobiorreatores, como os verticais, horizontais e planos, cada um com vantagens e desvantagens em termos de consumo de energia, custo-benefício (produtividade em relação aos custos de produção) e possibilidade de escala de produção, entre outros critérios. Já o cultivo em sistema aberto pode ser realizado em lagoas e lagos naturais, lagoas circulares, sistemas em cascata ou inclinados. O sistema fechado é principalmente utilizado para produções em pequena escala e permite um melhor controle das condições de produção.

A produção de microalgas pode ser realizada em diferentes sistemas de cultivo, incluindo sistemas fotoautotróficos, heterotróficos e mixotróficos. No sistema fotoautotrófico, as microalgas utilizam luz solar e dióxido de carbono (CO2) como substrato para a biossíntese, sendo adequado para a produção de derivados que dependem da luz para se formarem, como pigmentos carotenóides. O cultivo em sistemas fechados, como os fotobiorreatores, oferece maior controle de produção, mas tem custos mais elevados. Já o cultivo em sistemas abertos, como lagoas, é mais econômico, mas pode resultar em menor qualidade da biomassa e é afetado pela sazonalidade. No cultivo heterotrófico, as microalgas utilizam fontes de carbono orgânico, como acetato e glicose, não dependendo da luz solar. Esse método oferece maior produtividade de biomassa, porém, requer o uso de substratos orgânicos e inorgânicos, como glicerol e nitrogênio, aumentando os custos de produção. O cultivo mixotrófico combina características dos dois métodos anteriores, permitindo o crescimento contínuo em situações sem luz e a flexibilidade de alternar entre as condições heterotróficas e autotróficas, dependendo da disponibilidade de luz e substratos.

1.3.2. Coleta

A colheita de microalgas envolve a separação da biomassa de seu meio de cultivo no momento em que a densidade celular apropriada é alcançada (Soni et al., 2017). A escolha do método de colheita depende de vários fatores, incluindo a espécie de microalga, o tamanho do cultivo, as condições de crescimento, a finalidade do produto e seu valor comercial. Os principais métodos de colheita de biomassa de microalgas incluem a centrifugação, a floculação seguida de sedimentação, a filtração e a combinação dessas técnicas. Além disso, outros métodos, como a sedimentação por gravidade, a flotação e a eletrocoagulação, também são utilizados (Marino, 2018; Leitão, 2015).

No caso das macroalgas, a produtividade está relacionada à qualidade do genoma cultivado, às condições ambientais e à gestão das culturas (Santelices, 1999). Conforme Titlyanov e Titlyanova (2010), alcançar uma alta produtividade no sistema de cultivo desejado e garantir uma colheita eficaz exigem, além do conhecimento da produtividade natural da macroalga escolhida, otimizações específicas das condições de cultivo mencionadas anteriormente. O período entre o cultivo e a colheita varia de acordo com a taxa de crescimento alcançada e o momento em que as macroalgas atingem seu maior valor comercial, geralmente quando apresentam alto teor de polissacarídeos ou propriedades de sabor ideais. A colheita das macroalgas é tipicamente realizada à mão, deixando um número de frondes no meio de cultivo para manter a produção contínua (Titlyanov; Titlyanova, 2010). Atualmente, muitas colheitas comerciais, utilizadas na alimentação humana e em outras aplicações, são realizadas principalmente por meio de propagação vegetativa (Roesijadi, 2010).

1.3.3. Secagem

Os métodos mais comuns utilizados na secagem de algas são secagem por ar quente, secagem solar, liofilização, secagem à vácuo e secagem por atomização (Wang et al., 2019). Compreender como diferentes macroalgas reagem a diversas condições de secagem, como temperatura, tempo e aplicação de vácuo, desempenha um papel essencial no desenvolvimento de estratégias destinadas a otimizar a

qualidade desses produtos finais (Stévant et al., 2018). No entanto, cada uma dessas técnicas individuais apresenta suas limitações, incluindo desafios para otimizar a eficiência do processo sem comprometer as propriedades nutricionais e físico-químicas da biomassa desidratada (Wang et al., 2019). Portanto, para superar essas limitações, combinações de diferentes métodos de secagem podem ser uma estratégia eficaz (Wang et al., 2019; Xie et al., 2017).

Nesse contexto, várias pesquisas estão investigando pré-tratamentos e tratamentos combinados com métodos de secagem, como ultrassom, micro-ondas e desidratação osmótica, para preservar a qualidade nutricional, funcional e físico-química dos alimentos durante o processamento. Estudos que exploram o uso de ultrassom como pré-tratamento ou em combinação com a secagem de alimentos (Fernandes et al., 2008; Duan et al., 2008; Fernandes; Rodrigues, 2007; Kebitsamang et al., 2011; Tekin et al., 2017; Dehghannya et al., 2015; Nowacka et al., 2012; Ricce et al., 2016; Zlabur et al., 2019; Rodríguez et al., 2018; Szadzinska et al., 2018; Bagheri; Dinani, 2019) se destacam na literatura, demonstrando a eficácia dessa técnica na melhoria da qualidade do produto final e na significativa redução do tempo de secagem, resultando em economia de custos no processo (Zhu et al., 2020).

1.3.4. Extração de proteínas

O processo de extração da proteína ocorre após as etapas de cultivo, coleta e secagem (em alguns casos) das algas, seguidas pela ruptura celular para obter a proteína desejada. É importante destacar que, ao contrário da biomassa vegetal que contém lignina associada à celulose na parede celular, as algas têm apenas celulose, o que facilita a extração de compostos bioativos (Michalak; Chojnacka, 2014). No que diz respeito a fatores como digestibilidade, biodisponibilidade, bioatividade e propriedades funcionais, o nível de processamento da biomassa e, consequentemente, a pureza da proteína são determinantes para aumentá-los ou não. Biomassa pouco processada, embora apresente aspectos positivos, como menor risco de degradação por mudanças de pH e desnaturação, tem biodisponibilidade e bioatividade reduzidas em comparação com outras fontes proteicas, pois as proteínas estão protegidas por envoltórios celulares compostos por polissacarídeos, como alginato e ágar, que são pouco metabolizados por enzimas do trato gastrointestinal (Geada et al., 2021; Soto-Sierra; Stoykova; Nikolov, 2018). No entanto, o grau de processamento pode ser benéfico ou não, dependendo dos objetivos da indústria ao utilizar a proteína derivada das algas, seja para propriedades funcionais tecnológicas, como capacidade espumante e emulsificante, ou para aspectos nutricionais da proteína.

A partir do extrato concentrado e isolado, as proteínas podem ser hidrolisadas e, ao passar por etapas adicionais de purificação, é possível obter peptídeos bioativos. É importante destacar que a hidrólise proteica também pode ser realizada diretamente pela ruptura celular com solventes. No caso das algas, a maioria das proteínas hidrolisadas é produzida por meio desse último método (Soto-Sierra; Stoykova; Nikolov, 2018). Portanto, percebe-se que os custos de produção e processamento da biomassa são determinantes para a competitividade no mercado, tendo em vista que na Europa a extração corresponde a 38% dos custos de fabricação de produtos à base de microalgas, a redução desses custos é o primeiro desafio para uma posição competitiva no mercado europeu de algas (Enzing et al., 2014).

1.4. Aspectos de segurança de alimentos

As preocupações com a segurança de alimentos têm sido uma questão primordial que desestimula o consumo de alimentos vindos de ambientes aquáticos ou marinhos (Ahern, Thilsted e Oenema, 2021). O consumo de algas marinhas também pode contribuir para a exposição a determinados riscos de segurança de alimentos (por exemplo, metais pesados ou contaminações por microcistina) ou acarretar riscos à saúde devido à ingestão excessiva de certos elementos, como, por exemplo, o iodo (Bouga e Combet, 2015). No entanto, esse desafio pode ser superado caso as algas sejam produzidas em tanques, nos quais as condições podem ser cuidadosamente controladas para minimizar tais riscos.

Diversos fatores podem influenciar a presença de riscos de segurança em macroalgas e microalgas, incluindo espécie/cepa, fisiologia, estação, localização, método de colheita e tratamento pós-colheita, entre outros (Banach et al., 2020).

As algas, sendo uma fonte alimentar valiosa, apresentam diversos fatores químicos que demandam atenção para garantir a segurança do consumo. Primeiramente, a quantidade de sais nas macroalgas *Laminaria digitata* e *Palmaria palmata* excede a de alguns alimentos conhecidos por seu teor elevado de sódio, como o bacon. Esse alto teor de cloreto de sódio destaca a necessidade de monitorar a ingestão desses minerais. O iodo, um elemento crucial para a síntese hormonal da tireóide, também está presente nas algas, sendo essencial controlar a ingestão diária de acordo com as diretrizes da OMS (Zava; Zava, 2011). No entanto, esse desafio pode ser superado ao se utilizar as algas em quantidades limitadas, garantindo uma ingestão balanceada e controlada desses elementos.

No entanto, a presença de metais pesados, como arsênio, alumínio, cádmio, chumbo, entre outros, representa um desafio significativo. A exposição das algas a esses metais, provenientes do ambiente de cultivo, pode variar, sendo vital uma monitorização contínua (Desideri et al., 2016; Hwang et al., 2010). O arsênio, presente nas algas principalmente como arsenoaçúcares, apresenta riscos à saúde, sendo associado a danos no DNA e carcinogênese. Algumas espécies, como hijiki, ágar e nori, podem conter níveis preocupantes de arsênio, exigindo cautela no consumo (Feldmann; Krupp, 2011; Arslan et al., 2017; Taylor et al., 2017).

Outro fator crítico é o dióxido de enxofre, encontrado nas algas tanto por adsorção quanto pela adição intencional durante o processamento (Zang et al., 2016). O excesso desse composto pode causar danos à saúde, especialmente em asmáticos e pessoas sensíveis, levando a irritações respiratórias, dores de cabeça e até mesmo riscos cancerígenos (Guerrero; Cantos-Villar, 2015). Órgãos reguladores, como a Comissão do Codex Alimentarius (CAC) e a Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos (FDA), estabeleceram limites específicos para dióxido de enxofre em alimentos, mas sua presença deve ser controlada rigorosamente por empresas de alimentos à base de algas (Qian et al., 2020). Em conjunto, esses fatores químicos destacam a importância da regulamentação e do monitoramento rigorosos para garantir a segurança de alimentos à base de algas. Cautela no cultivo, processamento e consumo desses produtos é essencial para mitigar riscos à saúde humana. Além disso, a busca contínua por tecnologias de dessulfurização e métodos de remoção de contaminantes químicos são cruciais para promover um consumo seguro de algas (Santos et al., 2012; Wu et al., 2022).

Em relação aos fatores biológicos de segurança em algas, os testes microbiológicos abrangem a contagem de colônias, coliformes, bolores e a detecção de bactérias patogênicas como Salmonella

enterica, *Vibrio parahaemolyticus, Staphylococcus aureus* e *Shigella flexneri*. Bactérias patogênicas em algas podem causar tanto infecções quanto intoxicações alimentares. Um surto de Salmonella entérica, em 2016, relacionado a algas destaca a importância do monitoramento para garantir a segurança alimentar (King et al., 2020; Hayat et al., 2006). O método tradicional de detecção de microrganismos patogênicos em algas envolve várias etapas, mas avanços na metagenômica e biologia molecular, como o sequenciamento de alto rendimento (HTS), oferecem novas abordagens eficientes. Além disso, as fitotoxinas produzidas por algas, especialmente neurotoxinas em algas azuis-verdes, apresentam riscos à saúde humana, causando danos irreversíveis ao fígado, rins e sistema reprodutivo. A pesquisa nesse campo busca tecnologias inovadoras para detectar e entender melhor os efeitos e mecanismos das toxinas de algas (Gasanov, Hughes, Hansbro, 2005; Blikra et al., 2019). Por fim, no contexto de algas geneticamente modificadas, embora tenham sido processadas com sucesso em produtos nutracêuticos, surgem preocupações sobre sua segurança, potencial sensibilização e a presença de substâncias tóxicas de genes exógenos. Estudos indicam que reações alérgicas e possíveis impactos ambientais devem ser considerados ao avaliar a segurança de alimentos derivados de algas geneticamente modificadas (Nethravathy et al., 2019).

Em síntese, com controle de qualidade adequado, regulamentação eficaz e práticas de fabricação seguras, as algas representam uma opção alimentar segura e nutritiva para aqueles preocupados com a saúde e o bem-estar. A segurança das algas como alimento é reforçada por regulamentações e padrões de controle de qualidade estabelecidos pelas autoridades de saúde em muitos países, abrangendo todas as etapas, desde o cultivo até a embalagem. A longa história de consumo de algas em diversas culturas, como no Japão, Coreia e China, sugere um histórico de segurança e benefícios para a saúde associados a seu consumo.

1.5. Perspectiva brasileira do cultivo e uso alimentar de algas

Em 2008, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária estabeleceu regulamentações para o uso de macroalgas na alimentação humana, permitindo a produção de cápsulas e tabletes. Atualmente, o Brasil apresenta um catálogo de aproximadamente 700 espécies de macroalgas, mas sua exploração comercial no país ainda é limitada. No entanto, devido à crescente demanda por hidrocolóides de macroalgas, amplamente utilizados nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica, prevê-se um potencial crescimento na comercialização dessas matérias-primas.

De acordo com Reis, Bastos & Góes (2007) e Sepulveda (2022), clones de *Kappaphycus alvarezii* foram introduzidos no Brasil, nas regiões de São Paulo (1995) e Rio de Janeiro (1998), para avaliar a viabilidade de cultivo. A espécie mostrou boa adaptação à região sudeste e, atualmente, é cultivada no litoral de Santa Catarina (Santana, 2017). Vários estudos brasileiros têm sido realizados para avaliar a viabilidade do cultivo de *Kappaphycus alvarezii* desde sua introdução no país até os dias atuais, devido ao interesse econômico na extração de suas gomas (De Paula et al., 1999; Paula et al., 2002; Bulboa; Paula, 2005; Hayashi et al., 2007; Reis et al., 2007; Hayashi et al., 2008; Costa et al., 2015; Castelar et al.,

2009). Além disso, espécies de macroalgas *Gracilaria* e *Hypnea* são cultivadas no nordeste do país (Carvalho-Filho, 2004; Marinho-Soriano; Bezerra, 2010). No entanto, a maioria dos estudos realizados até o momento no Brasil com macroalgas está relacionada ao controle de qualidade ambiental (Queiroz; Dias, 2014; Caldeira; Reis, 2019).

Existem empresas brasileiras localizadas em todas as regiões do país que se dedicam à produção de matérias-primas brutas, produtos manufaturados, produtos e subprodutos de microalgas. Essas empresas geralmente estão próximas a regiões onde universidades e grupos de pesquisa colaboram com a indústria na aplicação biotecnológica de microalgas (Andrade et al., 2020).

2. Potencial técnico, nutricional e sustentável da produção de algas, de ingredientes e produtos alternativos à base de algas

2.1. Uso alimentar das algas

Por séculos, as macroalgas têm sido tradicionalmente utilizadas por países asiáticos, como o Japão, a China e a Coréia, devido a suas regiões costeiras ricas em diversas variedades desses organismos, que fornecem uma fonte essencial de nutrientes (Fujiwara-Arasaki et al., 1984; McHugh, 2003; Ferdouse et al, 2018). Existem aproximadamente 221 espécies de macroalgas com valor comercial, das quais dez se destacam em termos de cultivo: as algas pardas Saccharina ou Laminaria japonica (kombu), Undaria pinnatifida (wakame) e *Sargassum fusiforme;* as algas vermelhas *Porphyra spp.* (nori), *Eucheuma spp., Kappaphycus alvarezii* e *Gracilaria spp.;* e as algas verdes *Enteromorpha clathrata, Monostroma nitidum* e *Caulerpa spp.* (Ferdouse et al, 2018).

Até hoje, China, Japão e Coréia permanecem como os maiores consumidores de macroalgas em todo o mundo, utilizando-as amplamente na produção de sushi (nori), como ingredientes em caldos e sopas (kombu e wakame) e em uma variedade de saladas (wakame) (Ferdouse et al, 2018; Prabhasankar et al., 2009). Além disso, devido à crescente popularidade da culinária japonesa e, em especial, do sushi, as macroalgas também têm visto um aumento no consumo na Europa, América do Sul e Estados Unidos. As macroalgas são comercializadas internacionalmente em três formas principais: produtos macroalgais alimentícios, consumidos diretamente como alimentos; macroalgas desidratadas para processamento subsequente; e na forma de hidrocoloides, como ágar, alginato e carragenina (Ferdouse et al, 2018).

As microalgas também apresentam diversas aplicações na indústria de alimentos, melhorando o valor nutricional e servindo como fontes de corantes naturais em uma variedade de produtos, incluindo massas, snacks, doces, bebidas e suplementos. Recentemente, estudos têm explorado a adição direta de biomassa de microalgas em alimentos, especialmente em produtos à base de cereais, como pães, biscoitos e massas. Essas pesquisas avaliam diferentes aspectos de qualidade, como valor nutricional, cor, textura e propriedades sensoriais. A viabilidade de incorporar microalgas em alimentos depende do processo de aplicação, da natureza do alimento e de suas interações com outros ingredientes. Além disso, a escolha da espécie de microalga é crucial para manter a biodisponibilidade de compostos nutricionais e a aceitação do consumidor em relação a sabor, textura e aparência. No mercado global de produtos alimentares à base de algas, a produção de Arthrospira spp. é a mais significativa, seguida por

Chlorella spp., Dunaliella salina, Aphanizomenon flos-aquae, Haematococcus pluvialis, Crypthecodinium cohnii e *Shizochytrium.* Algumas dessas espécies já são reconhecidas como seguras (GRAS) pelo FDA, enquanto outras estão ganhando popularidade no setor de alimentos saudáveis, tanto entre os consumidores quanto na indústria.

As algas ainda podem ser utilizadas e empregadas com o intuito de elevar o valor nutricional de alimentos ou como suplementação alimentar, a partir da extração e obtenção de compostos naturais com alto valor nutricional. As microalgas, por exemplo, são produtoras de ácidos ômega-3. Os ácidos graxos poliinsaturados são importantes na prevenção de doenças crônicas, como doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão, doenças autoimunes e também atuam como antioxidantes exógenos, quando consumidos por meio de microalgas.

A produção de algas como fonte de proteínas oferece diversas vantagens em comparação com outras fontes de proteínas vegetais. As algas têm taxas de crescimento e produção mais elevadas, eficiência fotossintética mais alta, baixo consumo de água, não competem por terras aráveis, têm baixo teor de lignina (facilitando processos de extração) e podem armazenar carbono, contribuindo para uma produção sustentável (Bleakley; Hayes, 2017).

As microalgas são consideradas uma fonte promissora de proteína, apresentando um perfil interessante de aminoácidos, com destaque para os aminoácidos essenciais, sendo até comparáveis a algumas fontes de proteína animal, como o ovo (Koyande et al., 2019; Wells et al., 2017). No entanto, apesar de seu potencial e dos benefícios para a saúde, poucos produtos alimentícios contendo microalgas chegaram ao mercado até o momento. As macroalgas, por outro lado, já são tradicionalmente consumidas como parte da dieta humana há muito tempo, o que facilita seu uso em alimentos sem a necessidade de novas aprovações para consumo humano (Banach et al., 2020). Para aumentar o teor de proteínas das algas, podem ser empregadas estratégias como a exposição à luz, a mistura e a concentração de CO_2/O_2. No entanto, isso pode acarretar desafios no crescimento e produção das algas, especialmente em sistemas de cultivo em fotobiorreatores (PBR).

A demanda por biomassa de microalgas ricas em proteínas tem sido impulsionada principalmente pela popularidade da *Spirulina*, uma cianobactéria com teor de proteína de até 70% (b.s.). A *Spirulina* é amplamente utilizada em alimentos e suplementos alimentares. Outras microalgas, como a *Chlorella vulgaris*, também têm sido comercializadas devido a seu teor proteico de até 60% (b.s.) (Koyande et al., 2019). Embora algumas espécies de algas tenham teores de proteína acima de 50%, as algas marinhas, como a *Porphyra*, apresentam teor máximo de proteína de 47% (Fleurence; Morançais; Dumay, 2018). No entanto, as algas ainda podem ser consideradas como uma fonte alternativa de proteína, embora a baixa densidade das microalgas durante o cultivo e os custos associados à concentração sejam desafios a serem superados.

Em geral, as algas, tanto as microalgas quanto as macroalgas, têm potencial como fontes alternativas de proteínas, sendo nutritivas, sustentáveis e apresentando diversas aplicações em alimentos e outras indústrias. O desenvolvimento contínuo de tecnologias e pesquisas é fundamental para tornar sua produção e uso mais viáveis e acessíveis no futuro.

Figura 2. Potencial do uso de algas.

Fonte: Adaptado de SCHMID-STAIGER, [s.d.].

2.2. Aplicação de algas como ingredientes para proteínas alternativas

As proteínas desempenham um papel crucial na formulação de alimentos vegetais análogos de carne, não apenas pelo seu valor nutricional, mas também pelas suas funcionalidades tecnológicas (Bohrer, 2019). Elas contribuem para características importantes, como retenção de água e óleo, solubilidade, viscosidade, textura, emulsificação e formação de gel (Kyriakopoulou et al., 2021; Sun et al., 2021). Além das proteínas, outros nutrientes vitais, como vitaminas e minerais, especialmente as vitaminas do complexo B, como B12, ferro e zinco, são essenciais nos análogos de carne. Ingredientes

comuns para a base de produtos alternativos de carne incluem grãos, leguminosas e oleaginosas. As principais fontes de proteína são proteína de soja, proteína de ervilha e glúten de trigo (Kyriakopoulou et al., 2019).

Nesse contexto, as algas estão ganhando cada vez mais destaque visto que podem ser utilizadas como ingrediente para produção de alimentos vegetais análogos. Embora os estudos com essa fonte biológica remontam a séculos, apenas a partir da década de 1950 ela vem sendo explorada como fonte de proteína na dieta e nas últimas décadas, quando um crescente interesse global no uso de microalgas para alimentação se tornou evidente, sendo fundamentalmente apoiado pela vasta biodiversidade na composição química da biomassa e seus possíveis efeitos na saúde e na produção sustentável (Fernandes et al., 2023).

2.2.1. Aspectos nutricionais e sensoriais

As algas são geralmente consideradas uma fonte de proteína viável, com composição de aminoácidos essenciais atendendo aos requisitos da FAO e frequentemente comparável com outras fontes de proteína, como soja e ovo (FAO, 1991). As microalgas geralmente contêm teor de proteína mais elevado, podendo chegar a até 40-60% (b.s.) (Wang, Tibbetts, McGin, 2021).

As microalgas têm se destacado como microrganismos promissores para a produção de proteínas microbianas alternativas ou proteínas unicelulares não vegetais (Tzachor et al., 2021). Estima-se que a utilização desses microrganismos contribuirá para a expansão dos alimentos substitutos de carne. Sabe-se que a biomassa de microalgas é rica em proteínas, compondo mais de 50% do peso seco em algumas espécies e condições de cultivo (Becker, 2007; Singh et al., 2021). A espécie *Arthrospira maxima*, em particular, tem sido relatada como tendo níveis de proteína superiores a 50% (Becker, 2007). Consequentemente, a proteína tem sido amplamente estudada e utilizada como um componente alimentar valioso em matrizes de microalgas (Jacob-Lopes et al., 2019). Pesquisas recentes de Fu et al. (2021) demonstraram que as microalgas apresentam um teor de proteína substancialmente maior em comparação com a maioria das fontes de proteína comercial, incluindo carne de origem animal e soja, que é a principal fonte de proteína em análogos de carne à base de plantas.

A grande vantagem das proteínas de microalgas está na constituição de aminoácidos em suas estruturas, pois apresentam um perfil completo de aminoácidos essenciais que muitas vezes não são encontrados em outras fontes vegetais (Koyande et al., 2019). Esses compostos essenciais incluem histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina. Outros aminoácidos, como arginina, cisteína, glutamina, glicina, prolina, tirosina e ácido aspártico, também estão presentes na fração proteica de algumas espécies (Mobin et al., 2019; Torres-Tiji et al., 2020). A presença de aminoácidos essenciais é muito significativa para a elaboração de análogos de carne e outras propriedades nutricionais e funcionais favoráveis, como baixa alergenicidade, alto teor e boa digestibilidade de proteínas (Becker, 2007; Soto-Sierra et al., 2018). O coeficiente de digestibilidade de proteínas de algumas espécies de microalgas, como *Chlorella sp.* e *Arthrospira sp.*, é melhor do que o glúten de trigo e comparável à proteína de soja. Elas também têm propriedades físico-químicas desejáveis para diferentes aplicações, como solubilidade, emulsificação, geleificação e formação de espuma (Fu et al., 2021).

Outra classe de macronutrientes importantes em microalgas é a fração lipídica. A maioria das cepas de microalgas apresenta níveis de lipídios de 20% a 50% da biomassa seca, dependendo da espécie e das condições de cultivo (Barkia et al., 2019). O perfil lipídico das microalgas consiste principalmente em moléculas de triacilgliceróis, ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e ácidos graxos poliinsaturados (AGPI) (Tang et al., 2020). O perfil de AGPI nas microalgas inclui ácidos graxos ômega-6, como ácido linoleico (LNA, 18:2n-6), ácido gama-linolênico (GLA, 18:3n-6) e ácido araquidônico (ARA, 20:4n-6), bem como ácidos graxos ômega-3, que incluem ácido alfa-linolênico (ALA, 18:3n-3), ácido docosapentaenóico (DPA, 22:5n-3), ácido docosahexaenóico (DHA, 22:6n-3) e ácido eicosapentaenóico (EPA, 20:5n-3). O EPA atua em processos inflamatórios e reações imunológicas; já o DHA atua na promoção de saúde visual e neurológica. (De Morais et al., 2015; Katiyar, Arora, 2020).

Além do alto teor de proteínas e outros macronutrientes, as microalgas também podem fornecer micronutrientes essenciais em análogos de carne. Muitas espécies apresentam altos níveis de vitaminas essenciais em comparação com alimentos básicos e podem sintetizar vitaminas hidrofílicas, incluindo complexo B (tiamina-B1, riboflavina-B2, niacina-B3, ácido pantotênico-B5, piridoxina-B6, biotina-B7, ácido fólico-B9 e cobalamina-B12) e vitamina C; e vitaminas lipofílicas, como provitamina A, vitamina E e K. A vitamina B12 é de particular interesse para a elaboração de análogos de carne, uma vez que a principal fonte dessa vitamina é a alimentação de origem animal. Em um estudo conduzido por Edelmann et al. (2019), foi demonstrado que o teor ativo de B12 em *Chlorella sp.* era tão alto que uma porção de 5g de biomassa forneceria mais do que a ingestão diária recomendada. As microalgas também contêm um teor significativo de minerais (por exemplo, Na, K, Ca, Mg). Minerais importantes em produtos de carne, como ferro e zinco, muitas vezes ausentes em análogos de carne à base de plantas, também estão presentes na composição das microalgas. Além disso, as microalgas são fontes potenciais de moléculas bioativas caracterizadas por substâncias fisiologicamente ativas com propriedades funcionais a nível metabólico. Essas biomoléculas de microalgas desempenham atividades essenciais na regulação da saúde e prevenção de doenças, como fixação de nitrogênio, atividade antioxidante, antitumoral, anti-inflamatória, antiviral, antitrombótica, entre outras. Esses dados, juntamente com outros estudos relatados na literatura, confirmam o potencial sustentável que as microalgas podem exercer em processos destinados a fornecer alimentos com propriedades nutricionais essenciais equilibradas e com impactos ambientais reduzidos (Torres-Tiji et al., 2020; Tzachor et al., 2021).

Apesar da produção ainda limitada, pesquisas no Brasil têm explorado os impactos positivos da incorporação de biomassa de microalgas em alimentos. Em um estudo realizado por Figueira et al. (2011), foi observado um notável aumento na qualidade nutricional de pães sem glúten enriquecidos com biomassa seca de *Spirulina*. A adição, em concentrações de 2 a 5% com base na farinha, resultou em um acréscimo significativo de 39,04% no teor proteico, além de aprimorar os aminoácidos essenciais, mantendo uma boa aceitação nos testes sensoriais. Outro estudo, conduzido por Rabelo et al. (2013), constatou incremento nos níveis de proteínas, fibras, lipídios e minerais em rosquinhas elaboradas com farinha de mandioca e incorporadas com biomassa seca de S. platensis, variando de 2,59% a 5,41% em peso. Hossain et al. (2017) explorou os benefícios à saúde humana ao produzir cookies enriquecidos com biomassa de microalga *Haematococcus pluvialis,* destacando melhorias nas propriedades antioxidantes e menor liberação de glicose durante a digestão *in vitro*. Em um contexto semelhante, Lucas et al. (2018) desenvolveram snacks enriquecidos com 2,6% de biomassa seca de *Spirulina*, resultando em aumentos

expressivos nos teores de proteínas, lipídios e minerais, com um índice de aceitação sensorial alcançando 82%. Bolanho et al. (2014) optaram por enriquecer cookies com biomassa seca de *S. platensis*, obtendo elevações notáveis de 20% no teor proteico, 30% em minerais, 96% em fibras, 64% em compostos fenólicos e 37% na capacidade antioxidante em comparação com amostras controle contendo apenas farinha de trigo. Essas descobertas evidenciam o potencial do uso de algas como ingredientes em diversos produtos alimentícios com a finalidade de melhorar e/ou enriquecer os aspectos nutricionais do produto.

A adição de macroalgas em alimentos, seja em sua forma bruta ou por meio de componentes isolados, pode proporcionar melhor sabor e textura a diversos produtos (Rioux et al., 2017). O aumento da palatabilidade muitas vezes se deve ao aminoácido glutamato, presente em várias macroalgas e responsável pelo sabor umami, cuja descoberta remonta a 1908, quando foi identificado no dashi, um caldo à base de Kombu (*Saccharina japonica*) e Dulse (*Palmaria palmata*) amplamente consumido no Japão. As macroalgas Dulse, ricas em umami, são usadas em produtos que requerem a característica desse sabor (Ninomiya, 2015; Rioux et al., 2017). Outro agente que contribui para a palatabilidade é o manitol, um poliol encontrado em espécies como *Laminaria* e *Saccharina*, com potencial aplicação em produtos dietéticos, proporcionando doçura com baixas calorias (Rioux et al., 2017).

Além disso, algumas macroalgas podem ser utilizadas como substitutos do sal em formulações de alimentos, visando reduzir o teor de sódio no produto final. Nesse contexto, a *Laminaria japonica* se destaca devido ao seu alto teor de potássio, que pode substituir o sódio quando incorporado (Chaude et al., 2015; Rioux et al., 2017).

Outros compostos de interesse na indústria de alimentos e suplementação são os corantes, e podemos dividi-los em dois grupos: carotenos e xantofilas. Os carotenóides são os pigmentos mais comumente encontrados na natureza e destacam-se por suas propriedades antioxidantes, as quais desempenham funções preventivas em patologias humanas relacionadas ao stress oxidativo. Os carotenóides passam pelo processo de extração a partir das células e são utilizados em alimentos devido às suas propriedades de cor, que elevam a percepção de qualidade dos consumidores. O emprego de carotenóides em alimentos vem crescendo, visto que desempenham um papel essencial na promoção da saúde, proporcionando aos produtos um valor nutracêutico elevado. O β-caroteno e a astaxantina são compostos extraídos de espécies como *Dunaliella salina* e *Haematococcus pluvialis,* respectivamente, e são os dois carotenóides mais reconhecidos e com maior demanda no mercado global, atualmente. A fucoxantina é o principal pigmento biofuncional encontrado em macroalgas pardas, além de serem amplamente distribuídos na natureza.

Apesar disso, o uso de algas como produto alimentício ou ingrediente enfrenta desafios significativos, principalmente devido à presença de uma cor intensa indesejada e ao forte sabor e aroma relacionados ao mar. Esses elementos estão associados a pigmentos, compostos contendo enxofre e voláteis derivados de lipídios, influenciando negativamente os atributos sensoriais do produto final (Batista et al., 2013; Lafarga, 2019; Roohinejad et al., 2017). Por outro lado, a aplicação de biomassa microalgal em alguns produtos em concentrações muito baixas sugere que seu uso está mais voltado para a coloração ou para fins de marketing, direcionados a consumidores veganos e àqueles que preferem produtos orgânicos, em detrimento da busca por vantagens nutricionais ou tecnológicas das microalgas como ingredientes alimentares (Lafarga, 2019). A adição de extratos e biomassa completa de

outras macroalgas também pode melhorar as propriedades nutricionais devido aos seus compostos bioativos, conforme resumido por Roohinejad et al. (2017).

2.2.2. Aspectos tecnológicos

Além dos interessantes efeitos na saúde humana, as proteínas têm diversas funções nos alimentos que vão além de seu valor nutricional, como a implementação de características desejáveis e seu comportamento físico durante o preparo, formulação e armazenamento. Assim, micro e macroalgas podem desempenhar um papel importante por meio de seus biopolímeros estruturais, tendo aplicações tanto tecnológicas quanto biofuncionais (por exemplo, propriedades de emulsificação e formação de espuma) (Bernaerts et al., 2019). A solubilidade das proteínas, que está relacionada às interações hidrofóbicas e hidrofílicas em água, é um requisito essencial quando se pretende aplicá-las na indústria alimentícia (Grossmann et al., 2019). Sua solubilidade influencia outras propriedades funcionais (por exemplo, capacidade de emulsificação/formação de espuma e estado de agregação), sendo determinada pela composição de aminoácidos, pelo estado nativo/desnaturado e por fatores ambientais (por exemplo, temperatura e pH) (Zheng et al., 2020).

Estudos de diferentes fontes de microalgas *(Arthrospira maxima* e *Nannochloropsis gaditana*) demonstraram que, apesar das diferenças na composição de isolados proteicos, ao utilizar o mesmo procedimento de isolamento e baixa força iônica, as proteínas tornaram-se completamente solúveis em pH > 6,5, apresentando menores rendimentos de solubilização em valores de pH mais baixos (4,0–4,5), o que foi explicado pela proximidade do ponto isoelétrico calculado (Teuling et al., 2017; Bashir et al., 2016). Bashir et al. (2016) estudaram as propriedades funcionais de isolados proteicos de *Spirulina platensis* e observaram que os isolados apresentaram boas propriedades de gelificação quando comparados à suspensão celular de *Spirulina*.

Produtos alimentícios contendo algas podem ser divididos em dois grupos principais: aqueles que contêm a biomassa algal e aqueles que contêm compostos derivados de algas. As macroalgas são principalmente utilizadas para produzir hidrocolóides (por exemplo, alginato, ágar-ágar e carragenina). Esses compostos derivados de macroalgas são empregados no processamento de carne e aves, laticínios, peixes enlatados, sobremesas e gelatinas, devido às suas propriedades espessantes, gelificantes e estabilizantes (Orkesterjournalen, 2018). Polissacarídeos como ágar, alginato e carragena são amplamente usados na indústria de alimentos como agentes clarificantes, gelificantes, emulsificantes, estabilizantes, espessantes e floculantes em diversos produtos alimentícios, como sorvetes, iogurtes, doces, carnes e bebidas. Os ficocolóides extraídos de algas são substâncias mucilaginosas, compostas por polissacarídeos coloidais que, quando em meio aquoso, formam substâncias viscosas, incluindo géis, que podem se solidificar, com o decréscimo da temperatura. São classificados em: alginatos, ágar e carragenanas (Rioux et al., 2017).

Os ficocolóides são amplamente empregados em alimentos modernos, não apenas por seu valor nutricional, mas também pelas propriedades específicas que conferem aos produtos, tais como aumento de viscosidade, força de gel e estabilidade a misturas aquosas, soluções e emulsões. Essas substâncias são aceitas como aditivos para gêneros alimentícios, e suas propriedades específicas, juntamente com a não toxicidade do produto, oferecem vantagens sobre outras gomas industriais. A viscosidade em

sistemas aquosos está relacionada à habilidade de ligar moléculas de água, determinando o espessamento do produto. Além disso, a propriedade estabilizante dos ficocolóides, intimamente ligada à viscosidade, atua em sistemas complexos para manter partículas ou pequenas gotículas distribuídas na água, prevenindo a precipitação de substâncias. Quanto à gelificação, os ficocolóides são capazes de formar gel mediante o abaixamento da temperatura ou adição de cátions como Ca+ ou K+.

2.3. Sustentabilidade

Comparadas às outras fontes de proteína vegetal, as algas apresentam: i) taxas de crescimento e produção mais elevadas; ii) eficiência fotossintética superior; iii) baixo consumo de água (em linha com a produção de insetos); iv) ausência de competição por terras aráveis; v) ausência ou baixo teor de lignina (facilitando processos de extração); e vi) capacidade de armazenamento de carbono e emissões neutras de carbono. Além disso, oceanos e mares ocupam mais de 70% da superfície do planeta, possibilitando o cultivo sustentável e a colheita de uma quantidade enorme desse potencial insumo. No que diz respeito aos aspectos ambientais, o cultivo de algas pode ocorrer em espaços menores quando comparada à agricultura tradicional, e sua produção pode derivar de subprodutos agroindustriais, criando não apenas um sistema amigável ao meio ambiente, mas também impulsionando a economia circular. Além disso, elas são capazes de remover de dez a 50 vezes mais CO2 do que plantas terrestres, tornando-as a candidata ideal para suprir uma fração muito significativa da demanda alimentar com o mínimo impacto ambiental (de Mendonça et al., 2021).

O cultivo de algas pode acarretar uma contribuição importante para a segurança alimentar das gerações futuras, especialmente em regiões do mundo onde, devido ao crescimento populacional, a área cultivável disponível pode ser insuficiente. O cultivo de algas poderia reduzir as perdas de nutrientes e as emissões de gases de efeito estufa, além de fornecer energia verde (Ullmann; Grimm, 2021). Visto que a produção de algas requer não apenas água e dióxido de carbono, mas também uma variedade de macronutrientes, como nitrogênio e fósforo, ela poderia ser o sistema de produção ideal para gerar biomassa a partir de certos fluxos de resíduos (Michalak et al. 2013).

Em termos de sustentabilidade, as algas são consideradas recursos sustentáveis e renováveis devido a sua capacidade de converter dióxido de carbono e energia solar em biomoléculas de alto valor. Elas também podem contribuir para o meio ambiente ao evitar a escassez de água e a degradação do solo. Além disso, apresentam peculiaridades como requisitos simples de cultivo, taxa de crescimento rápida e capacidade de sobreviver em condições adversas, como gases de escape e águas residuais (Torres-Tiji et al., 2020; Tzachor et al., 2021).

O cultivo de microalgas em sistemas de lagoas abertas ou fotobiorreatores, por exemplo, pode ocorrer em regiões áridas, como no deserto de Arava (Israel), no Deserto do Atacama ou no deserto costeiro do Marrocos (SuSeWi, 2020). Estudos demonstram que os análogos de carne à base de microalgas cultivadas por métodos autotróficos, sob condições de qualidade alimentar, apresentam um menor impacto ambiental do que a carne bovina. Além disso, o impacto ambiental pode ser melhorado

consideravelmente quando as microalgas são cultivadas a partir de cultivo heterotrófico em correntes secundárias industriais ou em matéria orgânica subutilizada, apresentando potencial para resultar em substitutos de carne mais sustentáveis, comparáveis em impacto aos análogos de plantas, insetos ou frango (Torres-Tiji et al., 2020; Tzachor et al., 2021).

Os indicadores de viabilidade econômica, estimados para uma média de 25 balsas de algas, têm demonstrado um rendimento líquido anual, incluindo retornos em dinheiro moderados, para um investimento de USD 253 e uma taxa benefício-custo (BCR) igual a 1,19 (Ginigaddara & Lankapura, 2018). A tecnologia para a colheita de algas é relativamente simples e requer baixo investimento de capital inicial. A colheita pode ser realizada em cerca de seis semanas e as algas podem ser posteriormente desidratadas. O cultivo de algas é um sistema que pode ser replicado em outras localidades ao redor do mundo. Na América do Sul, no Brasil, por exemplo, o cultivo de algas também é identificado como uma fonte significativa de renda para famílias individuais. Além dos efeitos econômicos favoráveis para as famílias agrícolas individuais, o cultivo de algas tem efeitos benéficos estendidos para toda a economia de certos países (Rebours et al., 2014).

3. Oportunidades de pesquisa na temática de algas e seus ingredientes para produtos alternativos

As algas representam fontes potenciais de alimentos nutricionalmente equilibrados, ricos em proteínas e outros compostos com alta demanda na dieta humana. Diferentes espécies de microalgas podem ser pesquisadas por meio da bioprospecção de espécies, destacando a importância dos organismos nativos e seus potenciais biotecnológicos. Devido às qualidades biologicamente inerentes presentes nas microalgas, elas podem ser integradas à cadeia de produção de alimentos no futuro (de Oliveira; Bragotto, 2022).

A padronização dos perfis nutricionais da biomassa de algas será possível com os avanços nas tecnologias de processamento, um campo em rápido crescimento. Diversos tipos de produtos alimentícios, além de suplementos tradicionais, podem ser desenvolvidos por meio da biomassa de algas, atraindo o crescente interesse de consumidores e da indústria. No entanto, a padronização dos sistemas de cultivo e do processamento da biomassa é uma exigência para a segurança e estabelecimento de níveis seguros de substâncias tóxicas. A otimização de processos e o conhecimento das etapas de cultivo e seus reagentes são cruciais para o controle de qualidade. Para esse propósito, órgãos responsáveis pela saúde pública, pesquisadores, indústrias e outros devem unir esforços para o estabelecimento robusto desse segmento (de Oliveira; Bragotto, 2022).

Para que a utilização de algas como alternativa proteica em alimentos se torne realidade, a produção de algas precisa se tornar mais econômica, a fim de competir com outros produtos ou fontes proteicas disponíveis no mercado. Novas tecnologias e ampliação da produção de algas, conforme já ocorre hoje, podem fazer uma diferença significativa. Para os produtores de algas, a valorização do cultivo de cepas e recursos genéticos, assim como patentes, novas aplicações, tecnologias e desenvolvimentos de produtos, é uma maneira importante de avançar.

Em uma escala maior, no entanto, é crucial que os governos apoiem programas de pesquisa sobre o cultivo e processamento de algas e introduzam legislação que incentive a produção sustentável, desencorajando a poluição, por exemplo, mediante a introdução de um imposto sobre carbono ou medidas similares relacionadas à poluição por excesso de fertilizantes. Isso poderia ser um passo importante em direção ao desenvolvimento de uma bioeconomia, ao mesmo tempo em que cria oportunidades educacionais, inovações, serviços e empregos (Ullmann; Grimm, 2021).

Para impulsionar o desenvolvimento de uma bioeconomia de algas e estimular o crescimento no setor, é crucial focar em pontos estratégicos. Primeiramente, a criação de centro(s) de pesquisa básica e aplicada é essencial com foco no desenvolvimento de produtos, tecnologias e processos, além da publicação e comercialização de patentes. Outro aspecto crucial é a formação de coleções/catálogos de cepas comerciais locais, visando comercializar cepas locais, bem como explorar recursos biológicos e genéticos. Além disso, ela serve como meio de monitoramento biológico de mudanças ambientais e conservação natural. No âmbito educacional, é vital introduzir novos temas de estudo em escolas e universidades, destacando a "Biotecnologia de Algas" como um exemplo relevante. Isso contribuirá para o desenvolvimento de profissionais capacitados e atualizados com as últimas inovações no campo. O apoio a empresas iniciantes é um ponto estratégico fundamental. A criação de uma rede sólida é essencial para o desenvolvimento de estratégias promissoras de entrada no mercado, proporcionando um ambiente favorável para o crescimento e sucesso dessas empresas. Finalmente, o desenvolvimento de ferramentas para financiar projetos e pesquisas é necessário para sustentar as iniciativas e avançar nas descobertas e inovações no campo da bioeconomia de algas. Esses cinco pontos estratégicos trabalham em conjunto para impulsionar a pesquisa, a inovação e o crescimento sustentável no setor das algas (Ullmann; Grimm, 2021).

A rotina alimentar humana requer estratégias inovadoras para fontes saudáveis de proteínas, minerais essenciais, vitaminas e outros, enquanto os consumidores estão cada vez mais conscientes da importância de conhecer a origem dos produtos, fazendo perguntas relacionadas aos sistemas de produção e às medidas de sustentabilidade. Assim, o fornecimento de alimentos deve apurar o crescimento populacional, atendendo aos requisitos de qualidade e segurança, bem como a acessibilidade aos produtos. Portanto, estudos para quantificar contaminantes químicos em suplementos alimentares e alimentos com biomassa de microalgas devem ser realizados para monitorar os níveis desses compostos, dados ainda limitados ou não relatados e extremamente relevantes considerando sua demanda crescente. O estabelecimento e monitoramento de parâmetros de qualidade são importantes na comercialização em larga escala de microalgas e, consequentemente, de produtos alimentícios; e a

gestão aplicada para transformar a biomassa deve ser investigada. Assim, monitorar os níveis de resíduos e contaminantes é essencial para a proteção da saúde humana (de Oliveira; Bragotto, 2022).

Além disso, os sistemas de produção de biomassa de microalgas estão atualmente em fase de exploração tecnológica, impulsionados pela necessidade de buscar alternativas sustentáveis. Nesse contexto, a exploração das microalgas emerge como uma opção economicamente viável. A tecnologia de carne cultivada evidencia a urgência de produtos sustentáveis alternativos, para os quais as microalgas podem desempenhar um papel crucial. Uma das principais aplicações das microalgas nesse cenário é como fonte de ingredientes para suplementação de meios de cultivo de carne cultivada, o uso de extratos ou hidrolisados de microalgas, por exemplo, pode substituir o uso de soro fetal bovino (FBS) ou, de meios quimicamente definidos. Sua utilização como substituto do FBS é promissora devido ao alto teor de proteínas e valores nutricionais das microalgas, e esforços têm demonstrado sua capacidade de promover a viabilidade e proliferação de linhagens celulares de mamíferos (Nickolay Rojas-Tavara; Jesus Donayre-Torres, 2023; Ng et al., 2020). Além de servirem como suplementos de meios de cultivo, as algas podem desempenhar um papel importante na produção de scaffolds. O alginato, um polissacarídeo extraído de algas marrons, é considerado um material de suporte promissor para a carne cultivada (Bomkamp et al., 2021).

As microalgas desempenham um papel fundamental na busca por alternativas sustentáveis na indústria alimentícia, destacando-se o heme. Reconhecido não apenas como uma fonte importante de ferro, mas também como um promissor agente aromatizante, o heme tem sido objeto de estudos recentes. Pesquisas indicam que essa molécula é responsável pelo sabor e aroma distintivos da carne. Essas descobertas sugerem que microalgas ricas em heme e proteínas podem servir como substitutos de carne à base de plantas e ser incorporadas em alimentos fortificados com heme. Essa abordagem inovadora oferece uma alternativa promissora às fontes tradicionais de ferro, independentemente de sua origem ser vegetal, animal ou sintética, ampliando as opções para vegetarianos e veganos e fornecendo uma maneira mais eficaz de atender às necessidades nutricionais essenciais na dieta humana. As microalgas possuem as vias biossintéticas necessárias para a produção de heme, são relativamente simples de cultivar e apresentam uma produtividade de biomassa muito superior aos sistemas de produção terrestres de animais e culturas (Lithi et al., 2024).

Conclusão

Em síntese, a exploração das algas como fonte alternativa de proteínas revela um vasto potencial para contribuir significativamente à sustentabilidade e diversificação da produção alimentar. As vantagens, como alta eficiência fotossintética e baixo consumo de recursos hídricos e de área para cultivo, tornam as algas uma opção promissora para atender às crescentes demandas por alimentos nutritivos em um contexto global de mudanças climáticas e pressões ambientais. Embora o Brasil disponha de uma rica diversidade de macroalgas, a exploração comercial ainda enfrenta desafios, apesar do aumento previsto na comercialização de hidrocolóides derivados desses organismos.

No âmbito das microalgas, o país já apresenta iniciativas empresariais em diversas regiões, nas quais a colaboração entre universidades e indústria impulsiona a aplicação biotecnológica desses microrganismos. A capacidade das algas, tanto micro quanto macro, de elevar o valor nutricional dos alimentos e de servir como suplementação alimentar é notável. A composição rica em aminoácidos essenciais, comparável a fontes tradicionais de proteínas como soja e ovo, destaca seu potencial como alternativa viável e nutritiva.

O elevado teor de proteína nas microalgas, atingindo até 40-60%, reforça sua atratividade como ingrediente alimentar. Contudo, para que as algas se consolidem como alternativa proteica em alimentos, os desafios econômicos precisam ser superados. O desenvolvimento de novas tecnologias e a expansão da produção de algas são cruciais para tornar essa opção preferível a produtos convencionais em termos de custo e disponibilidade.

As algas apresentam um vasto potencial de aplicação em produtos de proteínas alternativas, não apenas devido aos seus efeitos benéficos na saúde humana, mas também por suas propriedades funcionais e tecnológicas. Por intermédio de seus biopolímeros estruturais, as algas podem contribuir para a melhoria das características dos alimentos, incluindo propriedades de emulsificação, formação de espuma e estabilização. Os compostos derivados de macroalgas, como os ficocolóides, são amplamente utilizados como aditivos alimentares, conferindo propriedades específicas aos produtos, como aumento de viscosidade, gelificação e estabilização de emulsões. Portanto, as algas representam uma fonte versátil e promissora de ingredientes alimentares alternativos, que podem desempenhar um papel significativo na produção de alimentos saudáveis e sustentáveis para o futuro.

Embora a produção de algas para uso alimentar ainda seja limitada no Brasil, as pesquisas em andamento têm explorado de maneira positiva os benefícios da incorporação de biomassa de microalgas em alimentos. O caminho para a aceitação generalizada de algas como fonte proteica requer avanços na eficiência econômica, mas o atual cenário de pesquisa e desenvolvimento sugere um horizonte promissor. A superação desses desafios não apenas consolidará as algas como uma alternativa sustentável e nutritiva, mas também contribuirá para a diversificação e inovação na indústria alimentícia, alinhando-se às demandas crescentes por soluções mais ecológicas e saudáveis.

Referências

AHERN, Molly; THILSTED, Shakuntala H.; OENEMA, Stineke. *The role of aquatic foods in sustainable healthy diets*. Rome: UN Nutrition, mai. 2021. Disponível em: www.unnutrition.org/wp-content/uploads/FINAL-UN-Nutrition-Aquatic-foodsPaper_EN_.pdf

ANDRADE, D.S.; TELLES, T. S.; CASTRO, G. H. L. The Brazilian microalgae production chain and alternatives for its consolidation. Journal of Cleaner Production, vol. 250, 2020.

ANVISA. Lista dos Novos Alimentos aprovados. 2008. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/novos_alimentos.htm. Acesso em: 28 de nov. de 2023.

ARSLAN, Beste; DJAMGOZ, Mustafa B. A.; AKÜN, Ertan. ARSENIC: A Review on Exposure Pathways, Accumulation, Mobility and Transmission into the Human Food Chain. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 243, p. 27–51, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/398_2016_18

BAGHERI, Niloufar; DINANI, Somayeh Taghian. Investigation of ultrasound-assisted convective drying process on quality characteristics and drying kinetics of zucchini slices. *Heat And Mass Transfer*, v. 55, n. 8, p. 2153–2163, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s00231-019-02573-6

BANACH, J. L.; HOEK-VAN DEN HIL, E. F.; VAN DER FELS-KLERX, H. J.. Food safety hazards in the European seaweed chain. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 19, n. 2, p. 332–364, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12523

BARKIA, Ines; SAARI, Nazamid; MANNING, Schonna R.. Microalgae for High-Value Products Towards Human Health and Nutrition. *Marine Drugs*, v. 17, n. 5, p. 304, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/md17050304.

BASHIR, Shahid; SHARIF, Mian Kamran; BUTT, Masood Sadiq; SHAHID, Muhammad. Functional Properties and Amino acid Profile of Spirulina platensis Protein Isolates. Biological Sciences - Pjsir, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 12-19, 2016. PCSIR-Scientific Information Center. http://dx.doi.org/10.52763/pjsir.biol.sci.59.1.2016.12.19.

BATISTA, Ana Paulo; GOUVEIA, Luísa; BANDARRA, Narcisa M.; FRANCO, José M.; RAYMUDO, Anabela. Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products. *Algal Research,* v. 2, n. 2, p. 164–173, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2013.01.004

BECKER, E. W. Micro-algae as a source of protein. Biotechnol. Adv. 25:207–10, 2007.

BEGUM, Hasina; YUSOFF, Fatimah MD.; BANERJEE, Sanjoy; KHATOON, Helena; SHARIFF, Mohamed. Availability and Utilization of Pigments from Microalgae. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 56, n. 13, p. 2209–2222, 2015. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2013.764841

BERNAERTS, T. M. M.; GHEYSEN, L.; FOUBERT, I.; HENDRICKX, M. E.; LOEY A. M. V. The potential of microalgae and their biopolymers as structuring ingredients in food: A review. Biotechnology Advances, vol. 37, n. 8, p. 107419, 2019.

BEZERRA, A.F. & MARINHO-SORIANO, E. Cultivation of the red seaweed Gracilaria birdiae (Gracilariales, Rhodophyta) in tropical waters of northeast Brasil. Biomass and Bioenergy 34: 1813-1817, 2010.

BLIKRA, Marthe J.; LØVDAL, Trond; VAKA, Mette R. *et al*. Assessment of Food Quality and Microbial Safety of Brown Macroalgae (Alaria esculenta and Saccharina latissima). Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 99, n. 3, p. 1198–1206, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.9289

BLEAKLEY, Stepehen; HAYES, Maria. Algal proteins: Extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, v. 6, n. 5, p. 1–34, 2017. DOI: https://doi.org/10.3390/foods6050033

BOHRER, Benjamin. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, v. 8, n. 4, p. 1–34, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006

BOMKAMP, Claire; SKAALURE, Stacey C.; FERNANDO, Gonçalo F.; BEN-ARYE, Tom; SWARTZ, Elliot W.; SPECHT, Elizabeth A.. Scaffolding Biomaterials for 3D Cultivated Meat: Prospects and Challenges. *Advanced Science*, v. 9, n. 3, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/advs.202102908

BORTOLUCCI, P. D.; PEDROSO-DE-MORAES, C.. Produção de material didático referente à “macroalgas” marinhas das divisões Chlorophyta, Phaeophyta e Rhodophyta. *Scientia Plena*, v. 7, n. 4, p. 1–2, 2011.

BOUGA, Maria; COMBET, Emilie. Emergence of seaweed and seaweed-containing foods in the UK: focus on labeling, iodine content, toxicity and nutrition. *Foods*, v. 4, n. 2, p. 240–253, 2015. DOI: https://doi.org/10.3390/foods4020240

BULBOA, C.R., PAULA E.J. Introduction of non-native species of Kappaphycus (Rhodophyta, Gigartinales) in subtropical waters: Comparative analysis of growth rates of Kappaphycus alvarezii and Kappaphycus striatum in vitro and in the sea in south-eastern Brazil. Phycol Res 53:183–188, 2005.

CAI, J.; LOVATELLI, A.; AGUILAR-MANJARREZ, J.; CORNISH, L. *et al*. *Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development*. Rome: FAO, 2021. DOI: https://doi.org/10.4060/cb5670en

CALDEIRA, A. Q., & REIS, R. P. Brazilian macroalgae assemblages analyzed using the ecological evaluation index (EEI-c). Ocean & Coastal Management, 182, 104927, 2019. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104927

CARVALHO FILHO, J. Algas: Uma alternativa para as comunidades pesqueiras? Panorama da Aqüicultura, 2004. Disponível em: http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/84/Algas84.asp Acesso em: 21. nov. de 2023.

CASTELAR, B., REIS, R.P., MOURA, A.L., KIRK, R. Invasive potential of Kappaphycus alvarezii off the south coast of Rio de Janeiro State, Brazil: a contribution to environmentally secure cultivation in the tropics. Bot Mar 52:283–289, 2009.

CHAUDE, L. ; COSSIC, S.; GUILLOT, C.; LE KER, C; VIMONT, A.. *Ingredient alimentaire d'origine algale et son utilisation comme substitut de sel et exhauteur de gout*. République française, FR3012293 (A1). France, 2015.

CHAUTON, Matilde Skogen; FORBORD. Silje; MÄKINEN, Sari; SARNO, Antonio *et al*. Sustainable resource production for manufacturing bioactivesfrom micro- and macroalgae: Examples from harvesting and cultivation in the Nordic region. *Physiologia Plantarum*, v. 173, n. 2, p. 495–506, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/ppl.13391

CHEW, K. W., YAP, J. Y., SHOW, P. L., SUAN, N. H., JUAN, J. C., LING, T. C., LEE, D., & CHANG, J. Microalgae biorefinery: High value products perspectives. Bioresource Technology, 229, 53-62, 2017. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.006

COSTA, M. A. da. Marine seaweed extract potential evaluation Kappaphycus alvarezii as organic fertilizer, parapara use via seed treatment and foliar spray in soybean. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2015.

DAPPER, Taiomara Butzke; PUJARRA, Suélen; DE OLIVEIRA, Andressa Jacqueline; DE OLIVEIRA, Fernando Garrido; PAULERT, Roberta. Potencialidades das Macroalgas Marinhas na Agricultura: Revisão. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 7, n. 2, p. 295–313, 2014.

DEHGHANNYA, Jalal; NAGAVI, Enayat-Allah; GHANBARZADEH, Babak. Frying of Potato Strips Pretreated by Ultrasound-Assisted Air-Drying. *Journal Of Food Processing And Preservation*, v. 40, n. 4, p. 583–592, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/jfpp.12636

DE MENDONÇA, Henrique V.; ASSEMANY, Paula; ABREU, Marina; COUTO, Eduardo *et al*. Microalgae in a global world: New solutions for old problems? *Renewable Energy*, v. 165, n. 1, p. 842–862, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.014

DE MORAIS, Michele Greque; VAZ, Bruna da Silva; DE MORAIS, Etiele Greque; COSTA, Alberto Vieira. Biologically active metabolites synthesized by microalgae. *Biomed Research International*, v. 2015, p. 835761, 2015. DOI: https://doi.org/10.1155/2015/835761

DE OLIVEIRA, Ana Paula Ferreira; BRAGOTTO, Adriana Pavesi Arisseto. Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*, v. 6, p. 100157, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100157

DERNER, Roberto; OHSE, Silvana; VILLELA, Maurício; DE CARVALHO, Sabrina M.; FETT, Roseane. Microalgas, produtos e aplicações. *Ciência Rural*, v. 36, n. 6, p. 1959–1967, 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000600050

DESIDERI, D.; CANTALUPPI, C.; CECCOTTO, F *et al*. Essential and toxic elements in seaweeds for human consumption. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, v. 79, n. 3, p. 112–122, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/15287394.2015.1113598

DG MARE — Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries. *Blue bioeconomy*: Situation report and perspectives. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018.

DOMINGUEZ, H. Algae as a source of biologically active ingredients for the formulation of functional foods and nutraceuticals. In: DOMINGUEZ, H. (org.). *Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals*. [s. l.]: Woodhead Publishing Series, 2013. p. 1–19. DOI: https://doi.org/10.1533/9780857098689.1

DUAN, Xu; ZHANG, Min; Li, Xinlin; MUJUMDAR, Arun S. Ultrasonically enhanced osmotic pretreatment of sea cucumber prior to microwave freeze drying. *Drying Technology,* v. 26, n. 4, p. 420–426, 2008. DOI: https://doi.org/10.1080/07373930801929201

EDELMANN, Minnamari; AALTO, Sanni; CHAMLAGAIN, Bhawani; KARILUOTO, Susanna; PIIRONEN, Vieno. Riboflavin, niacin, folate and vitamin B12 in commercial microalgae powders. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 82, p. 103226, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.05.009

ENZING, Christien; PLOEG, Matthias; BARBOSA, Maria; SIJTSMA, Lolke. *Microalgae-based products for the food and feed sector*: an outlook for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. DOI: https://doi.org/10.2791/3339

FAO — Food and Agriculture Organization; WHO — World Health Organization. *Protein Quality Evaluation—Report of Joint FAO/WHO Expert Consultation*. Rome: FAO, 1991.

FAO — FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *How to Feed the World in 2050*. Rome: FAO, 2009. Disponível em:

www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf

FELDMANN, Jörg; KRUPP, Eva M.. Critical review or scientific opinion paper: arsenosugars--a class of benign arsenic species or justification for developing partly speciated arsenic fractionation in foodstuffs? *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 399, n. 5, p. 1735-41, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00216-010-4303-6

FERDOUSE, F.; LOVSTAD HOLDT, S.; SMITH, R.; MURÚA, P.; YANG, L.. *The global status of seaweed production, trade and utilization. Globefish Research Programme Volume 124*. Rome: FAO, 2018.

FERNANDES, Andressa Silva; SCHETINGER, Luísa C.; NORNBERG, Marcele L.; DO NASCIMENTO, Tatiele C.. (2023). Microalgae as a key ingredient in meat analogues. In: JACOB0LOPEZ, Eduardo; MARONEZE, Mariana M.; QUEIROZ, Maria Isabel; ZEPKA, Leila Queiroz. *Handbook of Food and Feed From Microalgae*. [s. l.]: Academic Press, 2023. p. 305–316. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99196-4.00046-2

FERNANDES, Fabiano A. N.; RODRIGUES, Sueli. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. *Journal Of Food Engineering*, v. 82, n. 2, p. 261–267, 2007.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.032

FERNANDES, Fabiano A. N.; GALLÃO, Maria I.; RODRIGUES, Sueli. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. *LWT – Food Science And Technology*, v. 41, n. 4, p. 604–610, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.007

FERREIRA, Shana Pires; DE SOUZA-SOARES, Leonor; COSTA, Jorge Alberto Vieira. Revisão: microalgas: uma fonte alternativa na obtenção de ácidos gordos essenciais. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 36, n. 3, p. 275–287, jul. 2013.

FIGUEIRA, F. da S.; CRIZEL, T. de M.; SILVA, C. R.; SALAS-MELLADO, M. de las M. Pão sem gluten enriquecido com a microalga Spirulina platensis. Braz. J. Food Technol. 2011, vol. 14, n.4, pp.308-316.

FITZGERALD, Ciarán; GALLAGHER, Eimear; TASDEMIR, Deniz; HAYES, Maria. Heart health peptides from Macroalgae and their potential use in functional foods. Journal *of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 13, p. 6829–6836, 2011. DOI: https://doi.org/10.1021/jf201114d

FLEURENCE, J.; MORANÇAIS, M.; DUMAY, J.. Seaweed proteins. In: YADA, Rickey Y.. *Proteins in Food Processing*. 2. ed. [s.l.]: Woodhead Publishing, 2018. p. 245–262.
DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00010-3.

FONSECA, Juliana Azevedo. *Aplicação de Algas na Indústria Alimentar e Farmacêutica.* 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) — Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2016.

FUJIWARA-ARASAKI, Teruko; MINO, Noriko; KURODA, Mitsue. The protein value in human nutrition of edible marine algae in Japan. *Hydrobiologia*, v. 116, p. 513–516, 1984. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00027735.

FU, Yunlei; CHEN, Tianpeng; CHEN, Stephenie H. Y.; LIU, Bin; SUN, Peipei; SUN, Han; CHEN, Feng. The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, v. 112, p. 188–200, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050.

GASANOV, Uta; HUGHES, Denise; HANSBRO, Philip M.. Methods for the Isolation and Identification of Listeria Spp. and Listeria monocytogenes: A Review. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 29, n. 5, p. 851–875, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.12.002.

GINIGADDARA, Gas; LANKAPURA, Aya. Farmer's perspective on importance and constraints of seaweed farming in Sri Lanka. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, v. 3, n. 1, 2018. DOI: https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.03.000151.

GEADA, Pedro, MOREIRA, Catarina; SILVA, Maria; NUNES, Rafaela *et al*. Algal proteins: Production strategies and nutritional and functional properties. *Bioresource Technology*, v. 332, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125125.

GFI India — Good Food Institute India. *Technological Review of Algae-based Proteins for Alternative Protein Applications*. [s.l: s.n.], [s.d.].

GROSSMANN, L., HINRICHS, J., & WEISS, J. Cultivation and downstream processing of microalgae and cyanobacteria to generate protein-based technofunctional food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(17), 2961–2989, 2019. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1672137

GUERRERO, Raúl F.; CANTOS-VILLAR, Emma. Demonstrating the Efficiency of Sulphur Dioxide Replacements in Wine: A Parameter Review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 42, n. 1, p. 27–43, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.11.004.

GUIRY, Michael D. How many species of algae are there? *Journal of Phycology*, v. 48, n. 5, p. 1057–1063, 2012. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x.

GUIRY, M. D.; KUIPERS, P. Algae and Seaweed, [s.d.]. Disponível em: https://www.seaweed.ie/qanda/index.html. Acesso em: 26 de out. de 2023.

HÄDER, Donat-P.; FIGUEROA, Felix L.. Photoecophisiology of Marine Macroalgae. *Photochemistry and Photobiology*, v. 66, n. 1, p. 1–14, 1997. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1997.tb03132.x.

HAYASHI, L., OLIVEIRA, E.C., BLEICHER-LHONNEUR, G., BOULENGUER, P., PEREIRA, R.T.L., VON SECKENDORFF, R., SHIMODA, V.T., LEFLAMAND, A., VALLÉE, P., CRITCHLEY, A.T. Carrageenan analyses of Kappaphycus alvarezii (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivated in different conditions in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. J Appl Phycol 19:505–511, 2007.

HAYASHI, L., YOKOYA, N.S., OSTINI, S., PEREIRA, R.T.L., BRAGA, E.S., OLIVEIRA, E.C. Nutrients removed by Kappaphycus alvarezii (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. Aquaculture 277:185–191, 2008.

HOSSAIN, A. K. M. M.; BRENNAN, M. A.; MASON, S. L.; GUO, X.; ZENG, X. A.; BRENNAN, C. S. The Effect of Astaxanthin-Rich Microalgae "Haematococcus pluvialis" and Wholemeal Flours Incorporation in Improving the Physical and Functional Properties of Cookies. Foods, 6 (8), 57, 2017.

HWANG, Y. O.; PARK, S. G.; PARK, G. Y. *et al*. Total Arsenic, Mercury, Lead, and Cadmium Contents in Edible Dried Seaweed in Korea. *Food Addit. Contam. Part B Surveill*., v. 3, n.1, p. 7–13, 2010. DOI: https://doi.org/10.1080/19440040903532079.

JACOB-LOPES, Eduardo; MARONEZE, Mariana M.; DEPRÁ, Mariany C.; SARTORI, Rafaela B.; DIAS, Rosangela R.; ZEPKA, Leila Q.. Bioactive food compounds from microalgae: an innovative framework on industrial biorefineries. *Current Opinion Food Science*, v. 25, p. 1–7, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.12.003.

JUNG, Kyung A.; LIM, Seong-Rin; KIM, Yoori; PARK, Joong Moon. Potentials of macroalgae as feedstocks for biorefinery. *Bioresourse Technology*, v. 135, p. 182–190, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.025.

KATIYAR, Richa; ARORA, Amit. Health promoting functional lipids from microalgae pool: a review. *Algal Research*, v. 46, p. 101800, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101800.

KEBITSAMANG, Mothibe J.; ZHANG, Min; NSOR-ATINDANA, John; WANG, Yu-Chuan. Use of Ultrasound Pretreatment in Drying of Fruits: drying rates, quality attributes, and shelf life extension. *Drying Technology*, v. 29, n. 14, p. 1611-1621, 2011. DOI: https://doi.org/10.1080/07373937.2011.602576.

KHAN, Wajahatullah; RAYITH, Usha P.; SUBRAMANIAN, Sowmyalakshmi; JITHESH, M. N.; RAYORATH, P.; HODGES, D. M.; CRITCHLEY, A. T.; CRAIGIE, J. S.; NORRIE, J.; PRITHIVIRAJ, B.. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 28, p. 386–399, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x.

KING, Nicola; POWELL, Jan; CRESSEY, Peter *et al*. *Food Safety during Pregnancy*. Wellington: New Zealand Food Safety; Ministry for Primary Industries, 2020. Disponível em: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/43111-Food-and-pregnancy-report-.

KOYANDE, Apurav Krishna; CHEW, Kit Wayne; RAMBABU, Krishnamoorthy; TAO, Yang; CHU, Dinh-Toi; SHOW, Pau-Lake. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, v. 8, n. 1, p. 16–24, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001.

KYRIAKOPOULOU, Konstantina; DEKKERS, Birgit; VAN DER GOOT, Atze Jan. 2018. Plant-based meat analogues. In: GALANAKIS, Charis M.. *Sustainable Meat Production and Processing*. [s. l.]: Academic Press, Elsevier Inc, 2019. p. 103–126. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12- 814874-7.00006-7.

KYRIAKOPOULOU, Konstantia; KEPPLER, Julia K.; VAN DER GOOT, Atze Jan. Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods*, v. 10, n. 3, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/foods10030600.

LAFARGA, Tomas. Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products. *Algal Research*, v. 41, p. 101566, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101566.

LEITÃO, Patrícia Filomena Carramão. *Utilização de tecnologias low cost para a produção, colheita e secagem de biomassa microalgal*: comparação com as tecnologias convencionais. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

LITHI, Ulfat J.; LAIRD, Damian W.; GHASSEMIFAR, Reza; WILTON, Steve D.; MOHEIMANI, Navid R.. Microalgae as a source of bioavailable heme. *Algal Research*, v. 77, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103363.

LUCAS, B. F.; DE MORAIS, M. G.; DUARTE, S. T.; VIEIRA, C. J. A. Spirulina for snack enrichment: nutritional, physical and sensory evaluations. LWT Food Sci Technol. (2018) 90:270–6.

MAHMUD, Zahid Hayat; KASSU, Afeword; MOHAMMAD, Alizade *et al.* Isolation and Molecular Characterization of Toxigenic Vibrio Parahaemolyticus from the Kii Channel, Japan. *Microbiology Research*, v. 161, n.1, p. 25–37, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.04.005.

MARINO, Victor Fernando. *Análises dos parâmetros de cultivo da microalga Chlorella vulgaris*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2018.

MARMITT, Diego; FREITAS, Elisete M.; MARCZINSKI, Fabiele; FLESH, Adriane; BLASI, Édina A. R.. Avaliação quali-quantitativa de algas marinhas macrófitas ocorrentes na Praia da Vigia, Garopaba/SC. *Revista CEPSUL – Biodiversidade e Conservação Marinha*, v. 4, n. 1. p. 5–6, 2015.
DOI: https://doi.org/10.37002/revistacepsul.vol4.4465-15.

MATOS, Ângelo Paggi. Advances in Microalgal Research in Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 64, n. 10, p. 1–15, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021200531.

MCHUGH, D. J.. *A guide to the seaweed industry*. Rome: FAO, 2003.

MICHALAK, Anna M.; ANDERSON, Eric J.; DMITRY, Beletsky *et al.* Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 110, n. 16, p. 6448–6452, 2013. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1216006110.

MICHALAK, Izabela; CHOJNACKA, Katarzyna. Algal extracts: Technology and advances. *Engineering in Life Sciences*, v. 14, p. 581–591, 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/elsc.201400139.

MOBIN, Saleh M. A.; CHOWDHURY, Harun; ALAM, Firoz. Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications – a review. *Energy Procedia*, v. 160, p. 752–760, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.183.

MUYLAERT, K.; BASTIANES, L.; VANDAMME, D.; GOUVEIA, L.. Harvesting of microalgae: Overview of process options and their strengths and drawbacks. In: GONZALEZ-FERNANDEZ, Cristina; MUÑOZ, Raúl. *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*: From Feedstock Cultivation to EndProducts. [s.l.]: Elsevier Inc., 2017. p. 113–132. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00005-4.

NEO, Yi Ting; CHIA, Wen Yi; LIM, Siew Shee; NGAN, Cheng L.; KURNIAWAN, Tonni A; CHEW, Kit W.. Smart systems in producing algae-based protein to improve functional food ingredients industries. *Food Research International*, v. 165, mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112480.

NETHRAVATHY, M. U.; MEHAR, Jitendra G.; MUDLIAR, Sandeep N.; SHEKH, Ajam Y.. Recent Advances in Microalgal Bioactives for Food, Feed, and Healthcare Products: Commercial Potential, Market Space, and Sustainability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 18, n. 6, p. 1882–1897, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12500.

NG, Jian Yao; CHUA, Mei Ling; ZHANG, Chi; HONG, Shiqi; KUMAR, Yogesh, GOKHALE, Rajeev; EE, Pui Lai Rachel. Chlorella vulgaris Extract as a Serum Replacement That Enhances Mammalian Cell Growth and Protein Expression. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. v. 8, 2020. DOI: https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.564667.

NICCOLAI, Alberto; ZITTELLI, Graziella C.; RODOLFI, Liliana; BIONDI, N.; TREDICI, M. R.. Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. *Algal Research*, v. 42, p. 101617, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101617.

NINOMIYA, Kumiko. Science of umami taste: Adaptation to gastronomic culture. *Flavour*, v. 4, n. 13, p. 1–5, 2015. DOI: https://doi.org/10.1186/2044-7248-4-13.

NOWACKA, Małgorzata; WIKTOR, Artur; ŚLEDŹ, Magdalena; JUREK, N.; WITROWA-RAJCHERT, D.. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal Of Food Engineering*, v. 113, n. 3, p. 427–433, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.013.

ORKESTERJOURNALEN, L. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1023 of 23 July 2018 correcting implementing regulation (EU) 2017/2470 establishing the Union list of novel foods. Off. J. Eur. Union, 187, 1-133, 2018.

PAULA E.J., PEREIRA R.T.L., OHNO M. Strain selection in Kappaphycus alvarezii var. alvarezii (Solieriaceae, Rhodophyta) using tetraspore progeny. J Appl Phycol 11:111–121, 1999.

PAULA E.J., PEREIRA R.T.L., OHNO M. Growth rate of carragenophyte Kappaphycus alvarezii (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. Phycol. Res., 50:1–9, 2002.

PEREIRA, Leonel. *Guia ilustrado das macroalgas*: conhecer e reconhecer algumas espécies da flora portuguesa. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2009. p. 9–16.

PRABHASANKAR, P.; GANESAN, P.; BHASKAR, N.; HIROSE, A.; STEPHEN, N.; GOWDA, L. R.; HOSOKAWA, M.; MIYASHITA, K.. Edible Japanese seaweed, wakame (Undaria pinnatifida) as an ingredient in pasta: chemical, functional and structural evaluation. *Food Chemistry*, v. 115, n. 2, p. 501–508, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.047.

QUEIROZ, R., & DIAS, T. Molluscs associated with the macroalgae of the genus Gracilaria (Rhodophyta): importance of algal fronds as microhabitat in a hypersaline mangrove in Northeastern Brazil. Brazilian Journal of Biology, 74(3), S052–S063, 2014. https://doi.org/10.1590/1519-6984.20712

QIAN, Bing; ZHAO, Jing; HE, Yan *et al*. Miniaturized Dielectric Barrier Discharge-Molecular Emission Spectrometer for Determination of Total Sulfur Dioxide in Food. *Food Chemistry*, v. 317, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126437.

RADULOVICH, Ricardo; NEORI, Amir; VALDERRAMA, Diego; REDDY, C. R. K.; CRONIN, Holly; FORSTER, John. Farming of seaweeds. In: TIWARI, Brijesh K.; TROY, Declan J.. *Seaweed Sustainability*: Food and Non-Food Applications. [s.l.]: Elsevier Inc., 2015. p. 27–59. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00003-9

RABELO, S. F.; LEMES, A. C.; TAKEUCHI, K. P.; FRATA, M. T.; CARVALHO, J. C. M. de; DANESI, E. D. G. Development of cassava doughnuts enriched with Spirulina platensis biomass. Braz. J. Food Technol, vol. 16, n.1, 2013.

REBOURS, Celine; MARINHO-SORIANO, Eliane; ZERTUCHE-GONZÁLEZ, José A. *et al*. Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p. 1939–1951, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-014-0304-8

REIS, R. P.; BASTOS, M.; GÓES, H. G. Cultivo de Kappaphycus alvarezii no litoral do Rio de Janeiro: subsídio ao monitoramento ambiental da produção em escala industrial. Panorama da Aquicultura, n. 9, p. 42–47, 2007.

RICCE, Cinthia; ROJAS, Meliza L.; MIANO, Alberto C.; SICHE, Raul; AUGUSTO, Pedro E. D. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, v. 89, p. 701–708, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030

RICHMOND, Amos (org.). *Handbook of microalgal culture*: biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell Science, 2004. DOI: https://doi.org/10.1002/9780470995280

RIOUX, Laurie-Eve; BEAULIEU, Lucie; TURGEON, Sylvie. Seaweeds: A traditional ingredients for new gastronomic sensation. *Food Hydrocolloids*, v. 68, p. 255–265, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.005.

RODRÍGUEZ, Óscar; EIM, Valeria; ROSSELLÓ, Carmen; FEMENIA, Antoni; CÁRCEL, Juan A.; SIMAL, Susana. Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: effects on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 98, n. 5, p. 1660–1673, 2018. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.8673.

ROESIJADI, Guritno; JONES, Susanne B.; SNOWDEN-SWAN, Lesley J.; ZHU, Yunhua. *Macroalgae as a Biomass Feedstock:* A Preliminary Analysis. Richland: U. S. Department of Energy; Pacific Northwest National Laboratory, 2010. DOI: https://doi.org/10.2172/1006310.

ROJAS-TAVARA, Arturo Nickolay; DONAYRE-TORRES, Alberto Jesus. Microalgae in lab-grown meat production. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 41, n. 6, p. 406–418, 2023. DOI: https://doi.org/10.17221/69/2023-CJFS.

ROOHINEJAD, Shahin; KOUBAA, Mahamed; BARBA, Francisco J.; SALJOUGHIAN, Sania; AMID, Mehrnoush; GREINER, Ralf. Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Research International*, v. 99, p. 1066–1083, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.016

SANTELICES, Bernabe. A conceptual framework for marine agronomy. *Hydrobiologia*, v. 398, p. 15–23, 1999. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1017053413126

SANTANA, Max, William de Pinho. Prospecção De Areas Propicias Para O Cultivo De Macroalgas Na Região Da Costa Negra, Ceará, Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará, Instituto do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2017.

SANTOS, Mickael C.; NUNES, Cláudia J.; SARAIVA, Jorge A. Chemical and Physical Methodologies for the Replacement/Reduction of Sulfur Dioxide Use during Winemaking: Review of Their Potentialities and Limitations. *European Food Research and Technology*. v. 234, p. 1–12, 2012.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-011-1614-6

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.
DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1496319.

SCHMID-STAIGER, U. MICROALGAE BIOTECHNOLOGY AT FRAUNHOFER IGB - ALGAE PROTEINS, [s.d.]. Disponível em: https://www.igb.fraunhofer.de/en/publications.html. Acesso em: 26 de out. de 2023.

SEPULVEDA, Miguel. Maricultura Da Macroalga Kappaphycus Alvarezii Como Suporte Ao Desenvolvimento Sócio Econômico No Litoral Do Estado Do Rio De Janeiro. Aquaculture Brasil, 2022. Disponível em: https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/170/maricultura-da-macroalga-kappaphycus-alvarezii-como-suporte-ao-desenvolvimento-socio-economico-no-litoral-do-estado-do-rio-de-janeiro. Acesso em: 21 de nov. de 2023.

SINGH, Meenakshi; TRIVEDI, Nitin; ENAMALA, Manoj; KUPPAM, Chandrasekhar; PARIKH, Punita; NIKOLOVA, Maria P.; CHAVALI, Murthy. Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: a concise review. European Food Research and Technology, v. 247, n. 10, p. 2499–2526, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-021-03810-1

SINGH, Ramesh N.; SHARMA, Shaishav. Development of suitable photobioreactor for algae production–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 4, p. 2347–53, 2012.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.026.

SONI, R. A., SUDHAKAR, K., & RANA, R. Spirulina – From growth to nutritional product: A review. Trends in Food Science & Technology, 69, 157-171, 2017. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010

SOTO-SIERRA, Laura; STOYKOVA, Petya; NIKOLOV, Zivko L. Extraction and fractionation of microalgae-based protein products. *Algal Research*, v. 36, p. 175–192, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.10.023.

STÉVANT, Pierrick; INDERGÅRD, Erlend; ÓLAFSDÓTTIR, Aðalheiður; MARFAING, H.; LARSSEN, W. E.; FLEURENCE, J.; ROLEDA, M. Y.; RUSTAD, T.; SLIZYTE, R.; NORDTVEDT, T. S.. Effects of drying on the nutrient content and physico-chemical and sensory characteristics of the edible kelp Saccharina

latissima. *Journal Of Applied Phycology*, v. 30, n. 4, p. 2587–2599, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-018-1451-0.

SUN, Cuixia; GE, Jiao; HE, Jun; GAN, R.; FANG, Y.. Processing, quality, safety, and acceptance of meat analogue products. *Engineering*, v. 7, n. 5, p. 674– 678, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.10.011.

SZADZINSKA, Justyna; ŁECHTAŃSKA, Joanna; PASHMINEHAZAR, Reihaneh; KHARAGHANI, A.; TSOTSAS, E.. Microwave- and ultrasound-assisted convective drying of raspberries: drying kinetics and microstructural changes. *Drying Technology*, v. 37, n. 1, p. 1–12, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1433199.

TAYLOR, Vivien F.; LI, Zhigang; SAYARATH, Vicki *et al*. Distinct arsenic metabolites following seaweed consumption in humans. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017. |
DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-03883-7.

TANG, D.Y.Y., YEW, G.Y., KOYANDE, A.K. et al. Green technology for the industrial production of biofuels and bioproducts from microalgae: a review. Environ Chem Lett 18, 1967–1985, 2020.
https://doi.org/10.1007/s10311-020-01052-3

TEKIN, Zeynep H.; BAŞLAR, Mehmet; KARASU, Salih; KILICLI, Mahmut. Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters. *Journal Of Food Processing And Preservation*, v. 41, n. 6, p. 13227, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1111/jfpp.13227.

TEULING, Emma; SCHRAMA, Johan W.; GRUPPEN, Harry; WIERENGA, Peter A. Effect of cell wall characteristics on algae nutrient digestibility in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) and African catfish (Clarus gariepinus). Aquaculture, [S.L.], v. 479, p. 490-500, 2017. Elsevier BV.
http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.025.

TILMAN, David; BALZER, Christian; HILL, Jason; BEFORT, Belinda L.. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108.

TITLYANOV, E. A.; TITLYANOVA, T. V. Seaweed cultivation: methods and problems. : Methods and problems. *Russian Journal Of Marine Biology*, v. 36, n. 4, p. 227–242, 2010.
DOI: https://doi.org/10.1134/S1063074010040012.

TORRES-TIJI, Yasin; FIELDS, Francis J.; MAYFIELD, Stephen P.. Microalgae as a future food source. *Biotechnology Advances*, v. 41, p. 107536, 2020. DOI:
https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107536

TZACHOR, Asaf; RICHARDS, Catherine E.; HOLT, Lauren. Future foods for risk-resilient diets. *Nature Food*, v. 2, n. 5, p. 326–329, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s43016-021-00269-x

ULLMANN, Jörg; GRIMM, Daniel. Algae and their potential for a future bioeconomy, landless food production, and the socio-economic impact of an algae industry. *Organic Agriculture*, v. 11, p. 261–267, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s13165-020-00337-9.

VIGANI, Mauro; PARISI, Claudia; RODRÍGUEZ-CEREZO, Emilio; BARBOSA, M. J.; SIJTSMA, L.; PLOEG, M.; ENZING, C.. Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. *Trends in Food Science & Technology*, v. 42, n. 1, p. 81–92, 2015.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.12.004

WANG, Yanwen; TIBBETTS, Sean M.; MCGINN, Patrick J.. Microalgae as Sources of High-Quality Protein for Human Food and Protein Supplements. *Foods*, v. 10, n. 12, p. 3002, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/foods10123002

WANG, Xinxin; FOSSE, Hilde K; LI, Keshua; CHAUTON, Matilde S.; VADSTEIN, O.; REITAN, K. I.. Influence of Nitrogen Limitation on Lipid Accumulation and EPA and DHA Content in Four Marine Microalgae for Possible Use in Aquafeed. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, n. 95, 2019.
DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00095

WELLS, Mark L.; POTIN, Philippe; CRAIGIE, James S.; RAVEN, John A.; MERCHANT, S. S.; HELLIWELL, K. E.; SMITH, A. G.; CAMIRE, M. E.; BRAWLEY, S. H. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal Of Applied Phycology*, v. 29, n. 2, p. 949–982, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5

WU, Guowei; ZHUANG, Dingling; CHEW, Kit Wayne *et al*. Current Status and Future Trends in Removal, Control, and Mitigation of Algae Food Safety Risks for Human Consumption. *Molecules*, v. 27, n. 19, 2022.
DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27196633

XIE, Long; MUJUMDAR, Arun S.; FANG, Xiao-Ming; WANG, Jun; DAI, Jian-Wu; DU, Zhi-Long; XIAO, Hong-Wei; LIU, Yanhong; GAO, Zhen-Jiang. Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (Lycium barbarum L.): effects on drying kinetics and quality attributes. *Food And Bioproducts Processing*, v. 102, p. 320–331, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.01.012

ZHAO, Bingtao; SU, Yaxin; LIU, Dunyu; ZHANG, Hang *et al*. SO2/NOx emissions and ash formation from algae biomass combustion: Process characteristics and mechanisms. *Energy*, v. 113, p. 821–830, 2016.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.107

ZHENG, J., YIN, H., SHEN, C., ZHANG, L., REN, D., & LU, J. Functional and structural properties of spirulina phycocyanin modified by ultra-high-pressure composite glycation. Food Chemistry, 306, 125615, 2020.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125615

ZHU, Xiang; ZHANG, Zhihang; HINDS, Laura M.; SUN, Da-Wen; TIWARI, Brijesh K.. Applications of Ultrasound to Enhance Fluidized Bed Drying of Ascophyllum Nodosum: drying kinetics and product quality assessment. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 70, p. 105298, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105298

ZLABUR, Jana. Š.; COLNAR, Dario; VOĆA, Sandra *et al*. Effect of ultrasound pre-treatment and drying method on specialized metabolites of honeyberry fruits (Lonicera caerulea var. kamtschatica). *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 56, p. 372–377, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.034

ZAVA, Theodore T.; ZAVA, David T.. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Research*, v. 4, n. 14, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14

Equipe do GFI Brasil

Alexandre Cabral
Vice-presidente de Políticas Públicas

Alysson Soares
Especialista de Políticas Públicas

Ana Carolina Rossettini
Gerente de Desenvolvimento

Amanda Leitolis, Ph.D.
Especialista de Ciência e Tecnologia

Ana Paula Rossettini
Analista de Recursos Humanos

Bruno Filgueira
Analista de Engajamento Corporativo

Camila Nascimento
Analista de Finanças e Operações

Camila Lupetti
Especialista de Engajamento Corporativo

Cristiana Ambiel, MS.
Gerente de Ciência e Tecnologia

Fabio Cardoso
Analista de Comunicação

Gabriela Garcia, MS.
Analista de Políticas Públicas

Gabriel Mesquita
Analista de ESG

Graziele Karatay, Ph.D.
Especialista de Ciência e Tecnologia

Guilherme de Oliveira
Especialista de Engajamento Corporativo

Gustavo Guadagnini
Presidente

Isabela Pereira
Analista de Ciência e Tecnologia

Julia Cadete
Analista de Operações

Karine Seibel
Gerente de Operações e Recursos Humanos

Lorena Pinho, Ph.D.
Analista de Ciência e Tecnologia

Luciana Fontinelle, Ph.D.
Especialista de Ciência e Tecnologia

Lívia Brito, MS.
Analista de Comunicação

Manuel Netto
Analista de Políticas Públicas

Mariana Bernal, MS.
Analista de Políticas Públicas

Mariana Demarco, Ph.D.
Analista de Ciência e Tecnologia

Patrícia Santos
Assistente Executiva

Raquel Casselli
Diretora de Engajamento Corporativo

Victoria Gadelha, MBE.
Analista de Comunicação

Vinícius Gallon
Gerente de Comunicação

gfi Brasil

Todo o trabalho desenvolvido pelo GFI é oferecido gratuitamente à sociedade e só conseguimos realizá-lo pois contamos com o suporte de nossa família de doadores. Atuamos de maneira a maximizar as doações de nossa comunidade de apoiadores, buscando sempre a maior eficiência na utilização dos recursos.

- GFI.ORG.BR
- INSTAGRAM
- TIKTOK
- YOUTUBE
- LINKEDIN

Ajude a construir uma cadeia de alimentos mais justa, segura e sustentável!

Doe para o GFI Brasil