

CAPÍTULO 2

Proteínas alternativas: uma solução sustentável para o século XXI

Hugo José Martins Carvalho, Sandra de Oliveira Silva, Adelaine Camargos Batista, Lucas Henrique Ramos de Oliveira, Gabriel Júnio Silva Souza, Mateus Alves Araújo, Raquel Guidetti Vendruscolo

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-21-3.c2>

Resumo

Este capítulo aborda as proteínas alternativas, destacando fontes vegetais e de microrganismos como soluções emergentes para os desafios globais de alimentação, assim como suas limitações. A crescente demanda por estas proteínas é impulsionada pelos danos ambientais causados pela produção de proteínas de origem animal, principalmente a atividade pecuarista, além da preocupação com o bem-estar animal e possíveis prejuízos à saúde humana ocasionados por dietas com consumo de proteínas convencionais. A transição para proteínas vegetais, fúngicas, de algas e de microalgas representa uma estratégia para mitigar os impactos ambientais e atender às exigências de uma alimentação baseada não só na nutrição, mas que também está alinhada a questões éticas e morais. O capítulo também discute sobre alimentos *plant-based* e outros análogos já disponíveis neste mercado crescente.

Palavras-chave: *plant-based*, fungos, algas, microalgas, análogos

1. Introdução

O futuro das proteínas alternativas tem sido amplamente debatido por empresas do setor alimentício, institutos de pesquisa e consumidores,

evidenciando uma mudança nos paradigmas alimentares globais. Com a previsão de que a população mundial ultrapasse os nove bilhões de pessoas até 2050 (Nadathur et al., 2024), surge o desafio de produzir e distribuir alimentos suficientes e sustentáveis para atender essa demanda crescente. Nesse contexto, a transição para fontes de proteínas alternativas, concebidas como substitutos às proteínas de origem animal, apresenta-se como uma das principais soluções para questões ambientais, éticas e de saúde (De Araujo, Brinques & Gurak, 2021).

O mercado de proteínas alternativas já demonstra uma evolução significativa. No Brasil, por exemplo, o faturamento de produtos substitutos à base de plantas alcançou R\$ 821 milhões em 2022, um crescimento de 42% em relação ao ano anterior (GFI Brasil, 2023). Globalmente, projeta-se que o setor atinja US\$ 23,4 bilhões até 2028, impulsionado pela preocupação com o meio ambiente e pela conscientização sobre os benefícios de uma dieta baseada em vegetais (Rana et al., 2024).

Os benefícios ambientais são um dos pilares dessa transição. A pecuária, reconhecida como uma das maiores fontes de impacto ambiental, está diretamente associada a emissões significativas de gases de efeito estufa, escassez hídrica, degradação do solo e perda de biodiversidade (Horgan, 2019). Substituir parte do consumo de proteínas animais por alternativas à base de plantas ou microrganismos pode reduzir esses impactos e contribuir para práticas alimentares mais sustentáveis.

Além do impacto ambiental, as proteínas alternativas atendem a uma demanda crescente por alimentos mais saudáveis e funcionais. Estudos apontam que dietas baseadas em vegetais podem prevenir doenças crônicas, como problemas cardíacos e diabetes, enquanto compostos bioativos presentes em alimentos de origem vegetal oferecem benefícios adicionais à saúde, incluindo propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Shirahigue, 2020).

A tendência de consumo reflete mudanças não apenas nos hábitos alimentares, mas também na consciência coletiva sobre os impactos da alimentação na saúde humana, no meio ambiente e na ética relacionada ao uso de animais (Harray et al., 2022). Diante disso, a indústria de alimentos tem respondido à altura, diversificando suas ofertas e investindo no desenvolvimento

de produtos que alinhem saúde, funcionalidade e sustentabilidade, os produtos análogos.

Em face do exposto, este capítulo tem como objetivo explorar as proteínas alternativas, provenientes de fontes vegetais e de microrganismos, como soluções viáveis para os desafios globais relacionados à nova tendência de alimentação que está aliada a preocupação ambiental, valores éticos e morais.

2. Impactos ambientais, éticos e morais das proteínas animais

A produção de proteínas de origem animal, especialmente pela pecuária, exerce danos significativos ao ambiente, sendo reconhecida como um dos principais responsáveis por problemas globais, incluindo mudanças climáticas, degradação dos solos, escassez hídrica e perda de biodiversidade. Dados indicam que a pecuária responde por no mínimo 16,5% das emissões globais de gases de efeito estufa (Twine, 2021). Em relação aos recursos hídricos, para produzir 1 kg de carne bovina podem ser consumidos até 15.000 litros de água. Ademais, a pecuária exige vasta extensão de terra, obtida, muitas das vezes, por desmatamento (Tullo, Finzi & Guarino, 2019).

Em contrapartida, as proteínas alternativas surgem como uma solução com impacto ambiental significativamente reduzido. Fontes vegetais como soja, ervilha e grão-de-bico, utilizadas na produção de alimentos proteicos, demandam menos água e ocupam áreas menores que a pecuária (Wood & Tavan, 2022; Nolden & Forde, 2023). A biotecnologia de microalgas e fungos, pode ser ainda mais eficiente e sustentável. Esses cultivos consomem frações ínfimas de terra, as quais não precisam ser aráveis, e também não necessitam de água potável, tornando-se uma escolha promissora para atender à demanda alimentar global com menor dano ambiental. Essa transição não apenas reduz a exploração intensiva de recursos naturais, mas também contribui para mitigar os efeitos adversos da atividade humana (Amorim et al., 2021; Wang et al., 2023).

Além das questões ambientais, aspectos éticos e morais têm ganhado espaço nas discussões sobre o consumo de proteínas. A pecuária intensiva é alvo de críticas por suas práticas que frequentemente desconsideram o bem-estar animal, envolvendo confinamento extremo, mutilações e métodos de abate

considerados cruéis. Assim, as proteínas alternativas representam mais do que uma inovação alimentar, elas rejeitam práticas eticamente questionáveis e estão alinhadas com o bem-estar animal (Mylan, Andrews & Maye, 2023).

Outro ponto relevante é a segurança alimentar, uma parcela significativa dos grãos produzidos mundialmente é destinada à alimentação animal, enquanto bilhões de pessoas vivem em vulnerabilidade alimentar (Bekhit, Riley & Hussain, 2022). Cerca de 77% das terras agrícolas no mundo são usadas para a pecuária, mas ela fornece menos de 20% das calorias que são consumidas. A intensificação da industrialização e da comercialização das proteínas alternativas para o consumo humano permitem melhor aproveitamento dos recursos agrícolas, contribuindo para um acesso mais igualitário aos alimentos (Banach et al., 2023).

Assim, a transição para proteínas alternativas, além de ser uma resposta aos desafios ambientais, reflete uma transformação ética e moral na alimentação. Optar por fontes de proteína com menor impacto ambiental é um passo essencial para alinhar o consumo a valores mais sustentáveis e responsáveis.

3. Proteínas vegetais

As leguminosas se destacam dentre as matrizes vegetais como uma das mais importantes fontes de proteína não animal, com destaque para a soja. Esta leguminosa apresenta de 36% a 40% proteínas em base seca, um dos alimentos de origem vegetal com maior teor proteico (Semba et al., 2021). Entretanto, a soja não se destaca apenas pelo seu elevado conteúdo proteico, a proteína da soja é de alto valor biológico, apresenta em sua constituição todos os aminoácidos essenciais (isoleucina, leucina, valina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e histidina) nas concentrações recomendadas. Esta condição raramente ocorre em vegetais, estes tendem a possuir aminoácidos limitantes, ou seja, ausência de aminoácidos essenciais ou concentração abaixo da necessária. Tornado a soja de grande valia para dietas vegetarianas e veganas (Michelfelder, 2009).

Outras leguminosas, como lentilhas e grão-de-bico, apresentam teores ligeiramente inferiores, entre 20% e 25% de proteína em base seca, mas ainda constituem opções de proteínas alternativas. Ambas apresentam concentrações adequadas de lisina, um aminoácido essencial geralmente limitante em cereais, o que as torna complementares a essas fontes. No caso das lentilhas e grão-de-bico, os aminoácidos limitantes são os sulfurados, metionina e cisteína. Na lentilha a concentração de metionina é de 0,10 a 0,15% e de cisteína de 0,15 a 0,20% (Aryee & Boye, 2017). Já no grão-de-bico, os valores são de 0,15 a 0,20% e de 0,20 a 0,25% para metionina e cisteína, respectivamente, todos os valores reportados em base seca (Khan et al., 2015).

Os cereais, como trigo, milho e arroz, apresentam conteúdo inferior de proteína quando comparados com as leguminosas, os conteúdos proteicos são 10-15% no trigo, 7-9% no milho e 7-8% no arroz, valores que variam de acordo com a cultivar, manejo e fatores edafoclimáticos (Rajnicová et al., 2019). Apesar do conteúdo proteico inferior eles são complementares as leguminosas, pois eles possuem concentrações adequadas dos aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), o aminoácido limitante nestes casos é a lisina. Assim, a combinação de leguminosas e cereais constitui uma fonte de proteína não animal de alto valor biológico, sendo útil também como matéria-prima para produtos *plant-based* e análogos (Patil et al., 2017).

Também podem ser mencionadas como fontes de proteínas vegetais as oleaginosas, amêndoas (20-25% de proteínas), nozes (15-20% de proteínas) e castanhas (14-20% de proteínas), todas contendo a lisina como aminoácido limitante (Kotecka-Majchrzak et al., 2020). As oleaginosas podem ser empregadas em combinação com as leguminosas, afim de suprir a carência de lisina, agregando ao perfil proteico, um alto teor de ácidos graxos poli-insaturados e de minerais (List, 2016).

Ademais, tem-se as sementes, girassol e linhaça podem conter até 25% de proteínas, enquanto chia apresenta até 20%, valores em base seca. Assim como nos cereais e oleaginosas, o aminoácido limitante é a lisina. Se utilizadas em combinação com leguminosas podem fornecer uma proteína de alto valor biológico, aliada a elevadas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados ômega-3, principalmente se empregadas linhaça ou chia. Salienta-se que os

ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 são os de maior benefício para saúde humana (Khan et al., 2010; Kulczyński et al., 2019; Muttagi & Joshi, 2020).

3.1. *Plant-based*

Os produtos à base de plantas, conhecidos como *plant-based*, são elaborados exclusivamente com ingredientes de origem vegetal e buscam replicar as características sensoriais e nutricionais dos produtos de origem animal (Brasil, 2020). Estes produtos incluem potenciais substitutos de carne, laticínios e ovos, por exemplo, oferecendo uma opção mais sustentável no mercado de alimentos. No entanto, é importante destacar que sua presença não implica automaticamente em serem mais saudáveis (Wankenne, 2020).

Atualmente, os alimentos *plant-based* são regulamentados pela Lei nº 9.972/20 e pelo Decreto nº 6.268/07, que tratam de produtos vegetais e seus subprodutos. Porém, essas normas não abordam especificamente os alimentos que mimetizam as características de produtos de origem animal. Para preencher essa lacuna, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) iniciou, em 2023, uma Consulta Pública com o objetivo de definir requisitos de identidade, qualidade, rotulagem e exigências de registro para estes produtos (GFI Brasil, 2023).

Embora o consumo de produtos *plant-based* tenha aumentado nos últimos anos, eles sempre estiveram presentes na alimentação humana, sendo valorizados pela acessibilidade e facilidade de armazenamento, o que contribuiu para sua aceitação (de Camargos, 2023). As bebidas vegetais foram os primeiros produtos *plant-based* a serem introduzidos no Brasil, principalmente para atender às necessidades de populações com restrições alimentares.

O tofu como substituto de queijo e a proteína texturizada de soja como alternativa à carne, já são conhecidos e consumidos há muito tempo, mas os esforços atuais estão no desenvolvimento de produtos com maior similaridade de características sensoriais, incluindo sabor, textura e aparência (Curtain & Grafenauera, 2019). Assim, empresas nacionais e internacionais têm investido milhões para que este objetivo seja alcançado e atenda satisfatoriamente este nicho de mercado crescente.

4. Proteínas fúngicas

As proteínas derivadas de fungos têm sido cada vez mais estudadas devido à sua alta qualidade proteica e eficiência produtiva, que não dependem diretamente da agricultura ou do clima. A produção de proteínas fúngicas apresenta-se como uma abordagem eficiente para mitigar problemas ambientais, pois os fungos podem fazer dos resíduos industriais e agrícolas substratos para a síntese de compostos proteicos de valor agregado, contribuindo significativamente para uma economia circular. Por isso, a proteína fúngica é considerada uma fonte emergente e altamente promissora (Wang et al., 2023).

Os fungos, pertencentes a um dos grupos mais diversos de organismos eucariontes, abrangem desde leveduras unicelulares até cogumelos multicelulares visíveis a olho nu. Eles desempenham funções cruciais na manutenção dos ecossistemas, além de serem fundamentais nos ciclos do carbono e na disponibilização de nitrogênio, fósforo e outros elementos essenciais para a vida na terra (Naranjo-Ortiz et al., 2019). Os fungos podem ser classificados em três categorias principais: unicelulares, multicelulares e macrofilamentares, com destaque para macrofungos, consumidos na dieta humana há séculos (Souza, 2022).

Atualmente, as proteínas derivadas de fungos estão sendo cada vez mais exploradas na indústria alimentícia devido à sua alta disponibilidade, qualidade e funcionalidade. Elas apresentam atividades biológicas diversas, como lectinas, proteínas imunomoduladoras, proteínas semelhantes à ubiquitina, manoproteínas e enzimas. Além disso, peptídeos bioativos derivados de fungos têm sido amplamente estudados por suas propriedades antitumorais, imunomoduladoras, antivirais, anti-inflamatórias, antioxidantes e outros efeitos benéficos à saúde, incluindo o tratamento de doenças (Wang et al., 2023).

A biomassa fúngica é uma alternativa nutritiva com propriedades bioativas, sendo utilizada como substituta da carne na dieta humana. As proteínas fúngicas processadas podem reproduzir textura, devido a matriz fibrosa desta biomassa, como também sabor e aparência da carne animal, sendo empregadas satisfatoriamente em análogos cárneos com problemas mínimos de

alergenicidade (Zhang et al., 2024). Ademais, as propriedades funcionais das micoproteínas, como solubilidade, capacidade de formação de fibras e fácil digestibilidade, influenciam positivamente no processamento e na textura destes análogos (Kurek et al., 2022).

Dentre os fungos com maior produtividade proteica podem ser mencionadas as leveduras *Candida utilis* e *Saccharomyces cerevisiae* que podem acumular em suas células até 55 e 50% de proteínas, respectivamente, em base seca. Já dentre os fungos filamentosos de maior concentração proteica estão *Fusarium venenatum* (45%), *Aspergillus oryzae* (40%), *Rhizopus oligosporus* (40%), *Neurospora intermedia* (35%) e *Aureobasidium pullulans* (35%). Vale mencionar que a biomassa de *Fusarium venenatum*, além de apresentar a maior concentração de proteínas, as mesmas são de alto valor biológico e possuem textura naturalmente semelhante à carne (Hashempour-Baltork et al., 2020).

A maioria dos fungos, incluindo os mencionados acima, pode ser cultivada em resíduos da indústria de alimentos, constituindo assim uma excelente opção para a economia circular, na qual efluentes são convertidos em produtos de valor agregado, como proteínas e outros nutrientes, além de minimizar os impactos ambientais e atender a questões éticas e morais (Dean, 2022).

5. Proteínas de algas e microalgas

A biomassa derivada de algas marinhas e microalgas surge como uma fonte potencial de proteína não animal, sendo considerada uma fonte alternativa relevante devido a diversas vantagens sobre a biomassa terrestre, incluindo baixo custo de cultivo, maiores taxas de crescimento e produção, baixo consumo de água (ou até mesmo crescimento em água do mar), não competir com a produção de alimentos por terra, emissões de carbono neutras, biorremediação (tratamento de resíduos), ausência ou baixo teor de lignina (facilitando processos de extração), baixa alergenicidade e a possibilidade de produção de elevado conteúdo de proteínas e uma ampla gama de compostos bioativos (Geada et al., 2021; Chen et al., 2019; Ijaola et al., 2023; Vendruscolo et al., 2021).

As macroalgas, ou "algas marinhas", são organismos multicelulares, autotróficos e não embriófitos, com grande diversidade de formas e tamanhos, podendo ser classificadas em três grandes grupos com base em sua pigmentação: algas marrons (*Phaeophyceae*), algas vermelhas (*Rhodophyceae*) e algas verdes (*Chlorophyceae*). Em contraste, as microalgas são organismos fotossintéticos, tanto procariontes quanto eucariontes, microscópicos, e podem ser classificadas em algas verde-azuladas (*Cyanobacteria*), diatomáceas (*Bacillariophyta*) e dinoflagelados (*Dinophyceae*). Ambas são caracterizadas por se desenvolverem em vários habitats aquáticos (lagos, lagoas, rios, oceanos e águas residuais) (Samarakoon & Jeon, 2012; Vendruscolo et al., 2019; Ba et al., 2016).

A composição proteica de algas e microalgas pode representar de 40% a 70% do peso seco da biomassa para microalgas e de 4% a 22% em média para algas. O perfil de aminoácidos totais dessas fontes é equilibrado, sendo semelhante a fontes animais, como ovos e carne, apresentando todos os aminoácidos essenciais. Contudo, a qualidade das proteínas pode variar drasticamente, dependendo da digestibilidade e da disponibilidade desses aminoácidos essenciais. Além do potencial como fonte alternativa de proteína, as proteínas de algas e microalgas podem fornecer peptídeos bioativos e outros compostos proteicos de alto valor biológico, com grande impacto benéfico na saúde, exibindo propriedades antioxidantes, antiproliferativas, anti-inflamatórias, anti-hipertensivas, antidiabéticas, antiateroscleróticas, anticoagulantes e antimicrobianas (Bleakley & Hayes, 2017; Lucakova, Branyikova, & Hayes, 2022; Geada et al., 2022).

Além das propriedades biológicas fornecidas à saúde humana associadas às proteínas obtidas de algas e microalgas, diversas funções são desempenhadas por elas nos alimentos que vão além de seu valor nutricional, como a implementação de características desejáveis e seu comportamento físico durante o preparo, transformação e armazenamento. Nesse contexto, as algas podem apresentar aplicações tanto tecnofuncionais quanto biofuncionais (figura 1) (Ijaola et al., 2023; Samarakoon & Jeon, 2012). As propriedades funcionais mais comuns de proteínas derivadas dessas fontes são capacidade de emulsificação e formação de espuma.

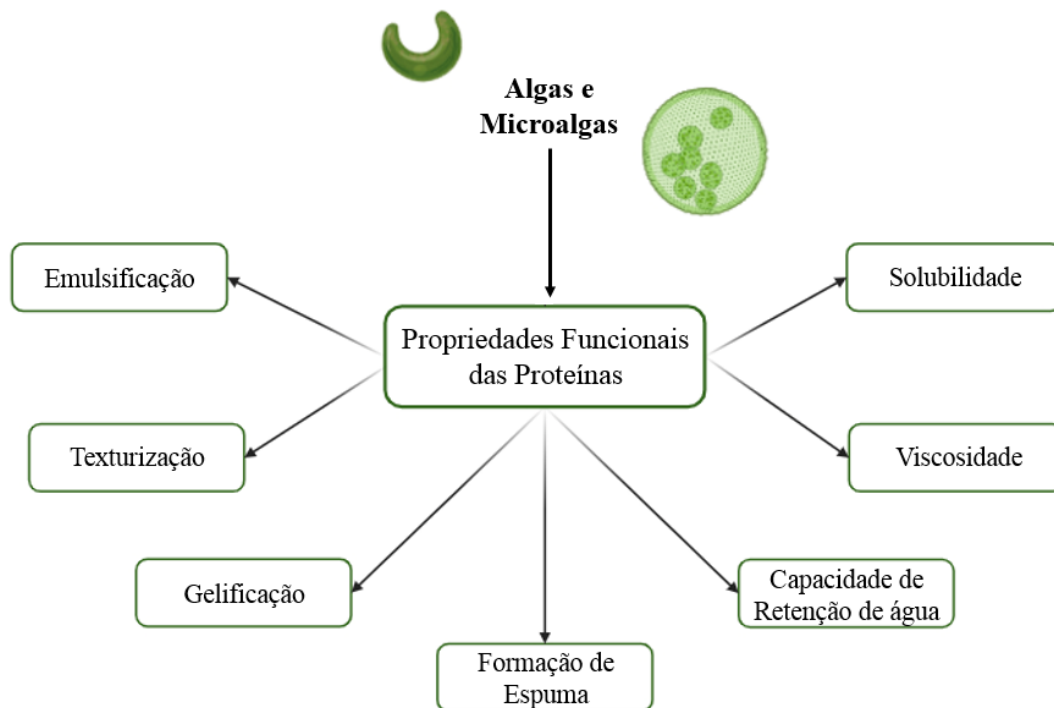


Figura 1. Propriedades das proteínas de origem algal e microalgal.

As propriedades funcionais das proteínas de algas e microalgas apresentam variações que estão relacionadas a fatores como espécie do microrganismo, estrutura da proteína, tamanho, carga líquida, interações proteína-proteína e proteína com outras moléculas em solução. Além disso, o método de extração, o pH e a força iônica também influenciam nestas propriedades (Chen et al., 2019; Ursu et al., 2014; Samarakoon & Jeon, 2012; Ijaola et al., 2023; Matos, 2019).

Proteínas de algas e microalgas tendem a apresentar baixa digestibilidade em sua forma crua e não processada, levando a esforços na pesquisa de métodos para melhorar sua biodisponibilidade (Lucakova, Branyikova & Hayes, 2022). Dentre os métodos convencionais estão hidrólise enzimática (celulases, κ -carragenase, β -agarase, xilanase e β -glucanase), processos físicos (particionamento trifásico, estresse osmótico, alta força de cisalhamento, moagem úmida/seca, congelamento-descongelamento, tratamento aquoso, homogeneização com alta pressão) e químicos (tratamento ácido-alcalino, sistemas bifásicos e alcalino/aquoso). No entanto, esses métodos enfrentam limitações para aplicação comercial devido a desafios de

escalabilidade (Bleakley & Hayes, 2017; Dolganyuk et al., 2023; Ijaola et al., 2023).

Métodos alternativos, como extração assistida por ultrassom, campo elétrico pulsado, micro-ondas e fluidos sub e supercríticos, têm sido explorados para aumentar a eficiência e preservar as propriedades das proteínas. Contudo, a obtenção de proteínas puras continua sendo um desafio, pois frequentemente são coextraídas com compostos como polissacarídeos, lipídeos e minerais. Processos de purificação, como diálise e cromatografia de troca iônica, são necessários em muitas aplicações, mas elevam os custos de produção (Acquah et al., 2021; Lucakova, Branyikova, & Hayes, 2022; Amorim et al., 2021; Matos, 2019).

Entre as algas, as espécies do gênero *Porphyra* destacam-se pelo alto teor proteico, apresentando valores entre 25% e 50% em base seca. Outras espécies, como *Palmaria palmata* e *Undaria pinnatifida*, também possuem concentrações significativas, variando de 10% a 30%. Essas algas já são amplamente consumidas na alimentação humana, especialmente em países asiáticos, devido não apenas ao conteúdo proteico, mas também ao perfil de aminoácidos essenciais que apresentam. Ademais, algas marrons, como as do gênero *Laminaria*, embora possuam menor teor de proteínas (5% a 15%), se destacam por seu potencial funcional (Geada et al., 2021; Ijaola et al., 2024).

Já as microalgas são reconhecidas pelo maior teor proteico quando comparadas as algas, sendo as espécies *Chlorella vulgaris* e *Spirulina platensis* amplamente estudadas como fontes de proteínas. A *Spirulina*, por exemplo, pode conter entre 60% e 70% de proteínas em base seca, enquanto a *Chlorella* apresenta teores de 40% a 60% (Ramírez-Rodrigues et al., 2021; Albaqami, 2024). Outra espécie de destaque é a *Scenedesmus obliquus*, com valores que chegam a 50%. Condições de cultivo favoráveis (incidência de luz, fontes de carbono, nitrogênio e fósforo, disponibilidade de micronutrientes, temperaturas entre 20-30 °C e pH levemente básico) proporcionam síntese de proteínas de alto valor biológico, constituindo uma excelente fonte alternativa destes compostos (Vendruscolo et al., 2022).

A produção de proteínas de origem algal e microalgal apresenta diversas vantagens em comparação as fontes tradicionais, como alimentos de origem

animal e soja. Estes microrganismos possuem alta eficiência na conversão de recursos naturais, como luz solar, dióxido de carbono e nutrientes, em biomassa com altos teores proteicos, utilizando menor quantidade de terra e água. Além disso, os cultivos podem ser realizados em sistemas controlados, como biorreatores ou tanques, possibilitando a produção em áreas não agrícolas, como regiões costeiras e desertos. Outra vantagem significativa é a possibilidade do uso de efluentes como meio de cultivo e a captura de dióxido de carbono através da fotossíntese. Por fim, as proteínas de algas e microalgas são naturalmente isentas de fatores alergênicos como glúten e lactose (Espinosa-Ramírez et al., 2023; Williamson et al., 2024; Yang et al., 2024).

No entanto, a consolidação das proteínas de algas e microalgas enfrenta barreiras como variação no conteúdo proteico devido a fatores sazonais e ambientais, desafios de escalabilidade, segurança alimentar devido ao acúmulo de metais pesados, por exemplo, e custos elevados dos processos de extração e purificação. Além disso, questões de digestibilidade e biodisponibilidade das proteínas destes microrganismos ainda requerem mais estudos in vivo para conclusões definitivas (Bleakley & Hayes, 2017).

6. Produtos análogos

6.1. Análogos de carne

Os análogos de carne à base de plantas são produtos projetados para substituir a carne animal em sua funcionalidade, apresentando semelhanças significativas em termos de propriedades sensoriais, tais como textura, sabor, aparência e aroma. Além disso, esses produtos podem ser preparados pelo consumidor da mesma forma que a carne animal. Essa similaridade com a carne animal é de suma importância para atrair os consumidores que atualmente ainda optam pelo consumo de carne (Hoek et al., 2011).

A maioria dos produtos desta categoria encontrados no Brasil são fabricados a partir de soja nacional. Eles são produzidos a partir de ingredientes como a farinha de soja desengordurada, concentrado proteico de soja e isolado de proteína de soja (Singh et al., 2021). No entanto, eles podem ser elaborados

utilizando uma combinação de várias matérias-primas vegetais, como grãos, frutas, tubérculos, raízes tuberosas, entre outros.

A soja é reconhecida por seus notáveis benefícios nutricionais e funcionais. Seu perfil de nutrientes essenciais e sua associação com menor incidência de doenças cardiovasculares, a tornam uma opção interessante para substituir parcialmente ou integralmente as carnes em dietas variadas (Kumar et al., 2017).

O desenvolvimento de produtos cárneos vegetais é comumente realizado por meio do processo de extrusão. No entanto diversas outras tecnologias são empregadas para reproduzir a textura fibrosa da carne em produtos análogos à base de plantas. Alguns exemplos envolvem a técnicas de eletrofiação (Wongkanya et al., 2017) e técnicas de estruturação por congelamento (Lawrence & Jelen, 1982). Ambas as abordagens têm sido utilizadas para a produção de uma gama de produtos análogos à carne reproduzindo fielmente as características da carne convencional.

6.2. Análogos de leite

Os análogos do leite ou extratos vegetais podem ser elaborados a partir de uma variedade de matérias-primas, como quinoa, soja, castanhas, aveia, arroz, amêndoas, entre outras, sendo as bebidas feitas com soja e coco as mais populares. Elas apresentam concentrações consideráveis de proteínas, ácidos graxos insaturados, vitaminas e minerais, o que os torna uma escolha nutricionalmente vantajosa. Além disso, os extratos resultantes, geralmente, possuem uma aparência e cor semelhantes ao leite tradicional (Tangyu, et al., 2019).

O aumento da demanda do consumidor por esse tipo de produto, é uma resposta ao crescente número de pessoas que enfrentam problemas com o consumo de leite de vaca, abrangendo tanto a intolerância à lactose, quanto a alergia a proteína do leite (Jeske et al., 2018). Adicionalmente as bebidas *plant-based*, apresentam um reduzido teor de ácidos graxos saturados e baixo valor calórico, além de serem fontes de vitaminas, minerais e compostos com atividade antioxidantes (carotenoides e compostos fenólicos, por exemplo). Elas

também oferecem uma maior diversidade, dada a grande variedade de opções de origem vegetal (Kim et al., 2021).

Entre as diversas opções para a produção do leite vegetal, a soja se destaca como um dos principais ingredientes, alta concentração de proteína de alto valor biológico e de fibras alimentares, a qual já é amplamente utilizada em escala industrial. No entanto, ela apresenta características não muito palatáveis, como o sabor desagradável de feijão envelhecido, devido à ação enzimática da lipoxigenase ou à auto-oxidação de ácidos graxos poli-insaturados. Para melhorar as características sensoriais desses produtos, uma estratégia é combinar o extrato de soja com arroz (Costa et al., 2017).

Salienta-se que estas combinações de extratos proteicos vegetais são benéficas não apenas por suas propriedades sensoriais, mas também por possibilitarem uma melhora no perfil de aminoácidos essenciais destes análogos, atendendo as necessidades diárias exigidas no consumo humano (Gorissen et al., 2018).

6.3. Análogos de ovos

Os análogos de ovos são produtos desenvolvidos para replicar a textura e o sabor do ovo convencional e têm se tornado populares como alternativas mais saudáveis aos ovos, uma vez que são isentos de colesterol. Essa tendência está alinhada com os dados de mercado, onde cerca 41,2% dos novos lançamentos afirmaram ter teor de colesterol baixo, ausente ou reduzido (Boukid & Gagaoua, 2022).

Além disso, outro motivo para a crescente popularidade desse produto é a alta incidência de alergia ao ovo de galinha, que é a segunda alergia alimentar mais comum na infância, afetando aproximadamente 2,5% das crianças. Diante desse dado, as diretrizes da Academia Americana de Pediatria recomendam adiar a introdução de alimentos alergênicos comuns, como ovos, até os 2-3 anos de idade, levando à prática generalizada de uma introdução gradual ou mesmo à completa evitação de ovos durante a infância (Wen et al., 2023).

Os análogos de ovos podem ser elaborados utilizando um único ingrediente vegetal ou uma combinação de vários ingredientes para replicar as

propriedades dos ovos convencionais. Algumas leguminosas, como ervilha, lentilha, e grão-de-bico, são ricas em proteínas, amidos e fibras, e contêm diversos nutrientes essenciais (vitaminas e minerais) benéficos à saúde. (Boukid et al., 2019). Proteínas provenientes dessas leguminosas, tanto em sua forma natural quanto modificada, podem oferecer funcionalidades interessantes, como gelificação, emulsificação e formação de espuma, para a formulação de ovos veganos (Ladjal-Ettoumi et al., 2016). Essas características permitem que os ovos de origem vegetal sejam utilizados como substitutos de ovos convencionais em produtos de panificação, sobremesas e confeitaria (FactMR, 2021).

Diversas indústrias estão se adaptando às novas demandas dos consumidores, e, como resultado, podemos esperar uma ampla variedade de opções de ovos de origem vegetal. No Brasil, por exemplo, a maior produtora de ovos convencionais também está acompanhando a nova demanda dos consumidores ao lançar sua primeira formulação de ovo *plant-based* em pó. Esta alternativa utiliza ingredientes como proteína de ervilha, amido de ervilha e linhaça dourada, oferecendo características muito semelhantes às de um ovo convencional quando misturado com água, alinhando assim as necessidades do mercado, com saudabilidade e sustentabilidade (Hu & Meng, 2024).

6.4. Análogos de queijo

Os análogos de queijo são produtos elaborados a partir de ingredientes vegetais, projetados para mimetizar aparência, textura e sabor dos queijos de origem animal. Esses queijos são produzidos utilizando-se proteínas vegetais obtidas por meio de fracionamento ou ruptura de tecidos vegetais, resultando em produtos que são dispersões coloidais complexas. Essas dispersões consistem em gotículas lipídicas incorporadas em uma rede viscoelástica de polissacarídeos e/ou proteínas, conferindo-lhes sua estrutura e textura características (Grossmann, 2021).

Embora o termo “produto tipo queijo vegetal” possa parecer recente, muitos desses produtos têm uma longa história de consumo ao longo de séculos, destacando-se como alimentos tradicionais em diversas culturas. Um exemplo é

o tofu fermentado, um tipo de queijo vegetal à base de soja, originário da China, entre outros produtos semelhantes (Grossmann, 2021).

Segundo o Instituto Good Food, as vendas de queijos à base de vegetais registraram um notável aumento de 42% entre 2019 e 2020, alcançando a marca de \$270 milhões em produtos comercializados exclusivamente no mercado varejista dos Estados Unidos em 2020 (GFI Brasil, 2020). Além disso, é previsto um aumento contínuo a uma taxa composta anual de crescimento de 12,6% no período entre 2022 e 2030 (Grand View Research Service, 2024).

Assim como a maioria dos análogos de produtos de origem animal, esse aumento está associado a motivos tais como preocupações com a saúde, bem como a considerações ambientais e de bem-estar animal. Além disso, a busca por variedade na dieta e a disposição para experimentar novos produtos também tem influenciado a opção da população por esses produtos (Craig, Mangels & Brothers, 2022).

6.5. Análogos de manteigas

As manteigas à base de plantas são excelentes fontes de proteínas, fibras, ácidos graxos essenciais e outros nutrientes, semelhantes aos encontrados nos produtos de manteiga láctea, mas sem colesterol (Gorrepati, Balasubramanian & Chandra, 2015). Por se tratarem de produtos elaborados a partir de nozes e sementes vegetais como amendoim, amêndoa, caju, avelã, entre outros, elas apresentam uma proporção mais elevada de ácidos graxos insaturados em comparação com a manteiga convencional. Além disso, são ricas em diversos minerais, como zinco, cálcio e magnésio (Joshi & Bisht, 2020).

Inicialmente, a manteiga de amendoim era a única alternativa à manteiga láctea. No entanto, ao longo dos anos, o avanço tecnológico e a conscientização do consumidor impulsionaram o desenvolvimento de inúmeras variedades de manteigas vegetais, derivadas de diferentes nuts e sementes. Atualmente, o mercado oferece diversas opções de manteigas vegetais, incluindo manteiga de amendoim, manteiga de soja, manteiga de amêndoa, manteiga de pistache, manteiga de caju e manteiga de gergelim (Gorrepati, Balasubramanian & Chandra, 2015).

De acordo com o relatório do Meticulous Research (2023), o mercado de manteigas à base de plantas está previsto para experimentar um notável crescimento nos próximos anos. A projeção indica uma taxa de crescimento anual composto de 10,8% no período entre 2023 e 2030, culminando em uma avaliação do mercado atingindo a marca de US\$ 2,08 bilhões até o desta década.

7. Conclusão

As proteínas alternativas representam uma solução promissora para enfrentar os desafios globais de sustentabilidade, saúde e ética alimentar. A transição para fontes vegetais, fúngicas, de algas e de microalgas oferece uma alternativa viável às proteínas animais, aliando nutrição com menor impacto ambiental e bem-estar animal. Entretanto, a medida que o mercado de proteínas alternativas cresce, a inovação tecnológica e as mudanças nos hábitos de consumo são fundamentais para a expansão e fortalecimento deste mercado.

8. Referências

- ACQUAH, C., EKEZIE, F. G., & UDENIGWE, C. C. (2021). Potential applications of microalgae-derived proteins and peptides in the food industry. In *Cultured microalgae for the food industry* (pp. 97–126). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821080-2.00011-3>
- ALBAQAMI, N. M. (2024). *Chlorella vulgaris* as unconventional protein source in fish feed: A review. *Aquaculture*, 741, 404. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.741404>
- AMORIM, M. L., SOARES, J., COIMBRA, J. S. D. R., LEITE, M. D. O., ALBINO, L. F. T., & MARTINS, M. A. (2021). Microalgae proteins: Production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 1976-2002. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1745727>
- ARYEE, A. N., & BOYE, J. I. (2017). Comparative study of the effects of processing on the nutritional, physicochemical and functional properties of lentil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e12824. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12824>
- BA, F., URSU, A. V., LAROCHE, C., & DJELVEH, G. (2016). *Haematococcus pluvialis* soluble proteins: Extraction, characterization,

concentration/fractionation, and emulsifying properties. *Bioresource Technology*, 200, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.012>

BANACH, J. L., VAN DER BERG, J. P., KLETER, G., VAN BOKHORST-VAN DE VEEN, H., BASTIAAN-NET, S., POUVREAU, L., & VAN ASSELT, E. D. (2023). Alternative proteins for meat and dairy replacers: Food safety and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(32), 11063–11080. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2233787>

BEKHIT, A. E. D. A., RILEY, W. W., & HUSSAIN, M. A. (Eds.). (2022). *Alternative Proteins: Safety and Food Security Considerations*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367447024>

BLEAKLEY, S., & HAYES, M. (2017). Algal proteins: Extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6(5), 33. <https://doi.org/10.3390/foods6050033>

BOUKID, F., & GAGAOUA, M. (2022). Vegan egg: A future-proof food ingredient? *Foods*, 11(2), 161. <https://doi.org/10.3390/foods11020161>

BRASIL. (2020, 22 de maio). Lei nº 9.972, de 22 de maio de 2020. Dispõe sobre a classificação de produtos vegetais, subprodutos e resíduos de valor econômico. *Diário Oficial da União*. Recuperado em 26 de outubro de 2024, de <https://www.in.gov.br>

CHEN, Y., CHEN, J., CHANG, C., CHEN, J., CAO, F., ZHAO, J., ZHENG, Y., & ZHU, J. (2019). Physicochemical and functional properties of proteins extracted from three microalgal species. *Food Hydrocolloids*, 96, 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.025>

COSTA, K. K. F. D., et al. (2017). Changes of probiotic fermented drink obtained from soy and rice byproducts during cold storage. *LWT - Food Science and Technology*, 78, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.048>

CRAIG, W. J., MANGELS, A. R., & BROTHERS, C. J. (2022). Nutritional profiles of non-dairy *plant-based* cheese alternatives. *Nutrients*, 14(6), 1247. <https://doi.org/10.3390/nu14061247>

CURTAIN, F., & GRAFENAUER, S. (2019). *Plant-based* meat substitutes: Nutritional, health and environmental perspective. *Nutrients*, 11(11), 2601. <https://doi.org/10.3390/nu11112601>

DE ARAUJO, N. C., BRINQUES, G. B., & GURAK, P. D. (2021). Análogos de carne: Uma revisão narrativa e pesquisa comercial online. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 28, e021037-e021037. <https://doi.org/10.20396/san.v28i0.8667202>

DE CAMARGOS, F. C., RODRIGUES, A. P. B., BORGES, D. P., & MORAES, R. F. (2023). Alimentos *plant-based*: Análise da percepção do consumidor pelo uso de Word Association. *Brazilian Journal of Development*, 9(5), 16915–16934. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n5-196>

DEAN, D., ROMBACH, M., KONING, W. D., VRIESEKOOOP, F., SATYAJAYA, W., YULIANDARI, P., & AGUIAR, L. K. (2022). Understanding key factors influencing consumers' WILLINGNESS to try, buy, and pay a price premium for mycoproteins. *Nutrients*, 14(16), 3292. <https://doi.org/10.3390/nu14163292>

DOLGANYUK, V., SUKHIKH, S., KALASHNIKOVA, O., IVANOVA, S., KASHIRSKIKH, E., PROSEKOV, A., MICHAUD, P., & BABICH, O. (2023). Food proteins: Potential resources. *Sustainability*, 15(7), 5863. <https://doi.org/10.3390/su15075863>

ESPINOSA-RAMÍREZ, J., MONDRAGÓN-PORTOCARRERO, A. C., RODRÍGUEZ, J. A., LORENZO, J. M., & SANTOS, E. M. (2023). Algae as a potential source of protein meat alternatives. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1254300. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1254300>

FACTMR. (2022). *Plant-based Food Market by Product Type, Source and Distribution Channel - Global Forecast to 2027*. Retrieved from <https://www.factmr.com/report/plant-based-food-market>

GEADA, P., MOREIRA, C., SILVA, M., NUNES, R., MADUREIRA, L., ROCHA, C. M., ... & TEIXEIRA, J. A. (2021). Algal proteins: Production strategies and nutritional and functional properties. *Bioresource Technology*, 332, 125125. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125125>

GFI BRASIL. (2020). O consumidor brasileiro e o mercado *plant-based*. The Good Food Institute. Retrieved from <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2021/02/O-consumidor-brasileiro-e-o-mercado-plant-based.pdf>

GORISSEN, S. H., et al. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available *plant-based* protein isolates. *Amino Acids*, 50, 1685-1695. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2636-6>

GORREPATI, K., BALASUBRAMANIAN, S., & CHANDRA, P. (2015). *Plant-based* butters. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3965–3976. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1572-7>

GRAND VIEW RESEARCH SERVICE. (2021). Vegan Cheese Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (Mozzarella, Ricotta), By Source (Soy Milk, Cashew Milk), By End Use (Household, Foodservice), By Region, and Segment Forecasts, 2021–2028. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/vegan-cheese-market>

GROSSMANN, L., & MCCLEMENTS, D. J. (2021). The science of *plant-based* foods: Approaches to create nutritious and sustainable *plant-based* cheese analogs. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 207-229. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.012>

HARRAY, A. J., BOUSHEY, C. J., POLLARD, C. M., DHALIWAL, S. S., MUKHTAR, S. A., DELP, E. J., & KERR, D. A. (2022). Healthy and Sustainable Diet Index: Development, application, and evaluation using image-based food records. *Nutrients*, 14(18), 3838. <https://doi.org/10.3390/nu14183838>

HASHEMPOUR-BALTORK, F., KHOSRAVI-DARANI, K., HOSSEINI, H., FARSHI, P., & REIHANI, S. F. S. (2020). Mycoproteins as safe meat substitutes. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119958. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119958>

HAYES, M., SKOMEDAL, H., SKJÅNES, K., MAZUR-MARZEC, H., TORUŃSKA-SITARZ, A., CATALA, M., HOSOGLU, M. I., & GARCÍA-VAQUERO, M. (2017). Microalgal proteins for feed, food, and health. In *Microalgae-based biofuels and bioproducts* (pp. 347–368). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00015-7>

HOEK, A. C., LUNING, P. A., WEIJZEN, P., ENGELS, W., KOK, F. J., & DE GRAAF, C. (2011). Replacement of meat by meat substitutes: A survey on person-and product-related factors in consumer. *Appetite*, 56(3), 663-672. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.01.018>

HORGAN, G. W., et al. (2019). Social, temporal and situational influences on meat consumption in the UK population. *Appetite*, 138, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.04.009>

HU, X., & MENG, Z. (2024). Flourless *plant-based* egg analogue based on protein and curdlan: Thermogel behavior regulation and foam stabilization analysis. *Food Hydrocolloids*, 110346. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.110346>

IJAOLA, A. O., AKAMO, D. O., GEORGE, T. T., SENGUL, A., ADEDIJI, M. Y., & ASMATULU, E. (2023). Algae as a potential source of protein: A review on cultivation, harvesting, extraction, and applications. *Algal Research*, Article 103329. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103329>

JESKE, S., ZANNINI, E., & ARENDT, E. K. (2018). Past, present and future: The strength of *plant-based* dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, 110, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.053>

JOSHI, H., & BISHT, B. (2020). A review: Nutritional benefits of *plant-based* seed-nut butter. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(1), 471-473. ISSN 2455-2143.

KHAN, M. A., AMMAR, M. H., MIGDADI, H. M., EL-HARTY, E. H., OSMAN, M. A., FAROOQ, M., & ALGHAMDI, S. S. (2015). Comparative nutritional profiles of various faba bean and chickpea genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17(3), 449-457.

KHAN, M. L., SHARIF, M., SARWAR, M., & AMEEN, M. (2010). Chemical composition of different varieties of linseed. *Pakistan Veterinary Journal*, 30(2), 88-90.

KIM, T. J., SEO, K. H., CHON, J. W., YOUN, H. Y., KIM, H. J., KIM, Y. S., ... & SONG, K. Y. (2021). Development of *plant-based* milk analogues as alternatives to cow milk: Current status and future prospects. *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 39(4), 129-144. <https://doi.org/10.1186/s13594-021-00453-z>

- KOTECKA-MAJCHRZAK, K., SUMARA, A., FORNAL, E., & MONTOWSKA, M. (2020). Oilseed proteins—Properties and application as a food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 160-170. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.009>
- KULCZYŃSKI, B., KOBUS-CISOWSKA, J., TACZANOWSKI, M., KMIECIK, D., & GRAMZA-MICHAŁOWSKA, A. (2019). The chemical composition and nutritional value of chia seeds—Current state of knowledge. *Nutrients*, 11(6), 1242. <https://doi.org/10.3390/nu11061242>
- KUMAR, P., et al. (2017). Meat analogues: Health-promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 923-932. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1109927>
- KUREK, M. A., JANKOWSKA, A., GROBELNA, N., & GAJOS, M. (2022). Functional properties of fungal proteins as meat analogues. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1230–1240. <https://doi.org/10.1007/s11483-021-01768-1>
- LADJAL-ETTOUMI, Y., et al. (2016). Isolados de proteína de ervilha, grão de bico e lentilha: caracterização físico-química e propriedades emulsificantes. *Biofísica de Alimentos*, 11, 43-51.
- LAWRENCE, R. A., & JELEN, P. (1982). Freeze-induced fibre formation in protein extracts from residues of mechanically separated poultry. *Food Structure*, 1(1), 91-97.
- LIST, G. R. (2016). Oilseed composition and modification for health and nutrition. In *Functional dietary lipids* (pp. 23-46). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100524-0.00002-5>
- LUCAKOVA, S., BRANYIKOVA, I., & HAYES, M. (2022). Microalgal proteins and bioactives for food, feed, and other applications. *Applied Sciences*, 12(9), 4402. <https://doi.org/10.3390/app12094402>
- MAIA, A. F., BRAZ, D. R., & HERRERO, M. (2016). Aspectos econômicos e impactos ambientais da pecuária bovina de corte brasileira. *Revista de Agricultura*, 20(3), 1-15. <https://csr.ufmg.br/dinamica>
- MATOS, Â. P. (2019). Microalgae as a potential source of proteins. In *Proteins: Sustainable source, processing and applications* (pp. 63–96). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816695-6.00003-9>
- METICULOUS RESEARCH. (2022). *Plant-based Food Market by Product Type, Source and Distribution Channel - Global Forecast to 2027* (314 p.).
- MICHELFELDER, A. J. (2009). Soy: A complete source of protein. *American Family Physician*, 79(1), 43-47. <https://www.aafp.org/afp/2009/0101/p43.html>
- MUTTAGI, G. C., & JOSHI, N. (2020). Physico-chemical composition of selected sunflower seed cultivars. *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 2095-2100.

MYLAN, J., ANDREWS, J., & MAYE, D. (2023). The big business of sustainable food production and consumption: Exploring the transition to alternative proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(47), e2207782120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2207782120>

NADATHUR, S., WANASUNDARA, J. P., MARINANGELI, C. P. F., & SCANLIN, L. (2024). Proteins in our diet: Challenges in feeding the global population. In *Sustainable protein sources* (pp. 1–29). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822361-9.00001-X>

NARANJO-ORTIZ, M. A., & GABALDÓN, T. (2019). Fungal evolution: Major ecological adaptations and evolutionary transitions. *Biological Reviews*, 94(5), 1443–1476. <https://doi.org/10.1111/brv.12510>

NOLDEN, A. A., & FORDE, C. G. (2023). The nutritional quality of *plant-based* foods. *Sustainability*, 15(4), 3324. <https://doi.org/10.3390/su15043324>

PATIL, S., BRENNAN, M. A., MASON, S., & BRENNAN, C. S. (2017). Investigation of the combination of legumes and cereals in the development of extrudate snacks and its effect on physico-chemical properties and in vitro starch digestion. *Journal of Food & Nutrition Research*, 56(1).

RAJNINCOVÁ, D., SPALEKOVÁ, A., GÁLOVÁ, Z., & ROMANAVÁ, K. (2019). The protein profile of cereals, pseudocereals and legumes. *Journal of Food Science and Technology*, 7, 49-53. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-01224-4>

RAMÍREZ-RODRIGUES, M. M., ESTRADA-BERISTAIN, C., METRI-OJEDA, J., PÉREZ-ALVA, A., & BAIGTS-ALLENDE, D. K. (2021). *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development. *Sustainability*, 13(12), 6849. <https://doi.org/10.3390/su13126849>

RANA, S., KAPOOR, S., BALA, M., SURASANI, V. K. R., AGARWAL, A., & THAKUR, M. (2024). Optimization and characterization of tomato seed protein isolate: A sustainable source of functional protein. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-02077-2>

SAMARAKOON, K., & JEON, Y. J. (2012). Bio-functionalities of proteins derived from marine algae—A review. *Food Research International*, 48(2), 948–960. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.013>

SEMBA, R. D., RAMSING, R., RAHMAN, N., KRAEMER, K., & BLOEM, M. W. (2021). Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Security*, 28, 100520. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100520>

SHIRAHIGUE, L. D., & Ceccato-Antonini, S. R. (2020). Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries. *Ciência Rural*, 50. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200492>

SINGH, M., et al. (2021). *Plant-based* meat analogue (PBMA) as a sustainable food: A concise review. *European Food Research and Technology*, 247(11), 2499–2526. <https://doi.org/10.1007/s11483-021-01585-w>

- SOUZA, J. R. (2022). Fungal proteins as alternatives to animal proteins: Potential applications in food. *Food Science International Journal*, 34(3), 45–55.
- TANGYU, M., et al. (2019). Fermentation of *plant-based* milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23), 9263-9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10181-9>
- TULLO, E., FINZI, A., & GUARINO, M. (2019). Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*, 650, 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.289>
- TWINE, R. (2021). Emissions from animal agriculture—16.5% is the new minimum figure. *Sustainability*, 13(11), 6276. <https://doi.org/10.3390/su13116276>
- URSU, A. V., MARCATI, A., SAYD, T., SANTE-LHOUTELLIER, V., DJELVEH, G., & MICHAUD, P. (2014). Extraction, fractionation, and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 157, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.071>
- VENDRUSCOLO, R. G., DEPRÁ, M. C., PINHEIRO, P. N., FURLAN, V. J. M., BARIN, J. S., CICHOSKI, A. J., ... & WAGNER, R. (2022). Food potential of *Scenedesmus obliquus* biomasses obtained from photosynthetic cultivations associated with carbon dioxide mitigation. *Food Research International*, 160, 111590. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111590>
- VENDRUSCOLO, R. G., FAGUNDES, M. B., JACOB-LOPES, E., & WAGNER, R. (2019). Analytical strategies for using gas chromatography to control and optimize microalgae bioprocessing. *Current Opinion in Food Science*, 25, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.02.008>
- VENDRUSCOLO, R. G., FERNANDES, A. S., FAGUNDES, M. B., ZEPKA, L. Q., DE MENEZES, C. R., JACOB-LOPES, E., & WAGNER, R. (2021). Development of a new method for simultaneous extraction of chlorophylls and carotenoids from microalgal biomass. *Journal of Applied Phycology*, 33, 1987–1997. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02470-8>
- WANG, B., SHI, Y., LU, H., & CHEN, Q. (2023). A critical review of fungal proteins: Emerging preparation technology, active efficacy and food application. *Trends in Food Science & Technology*, 104178. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104178>
- WANG, Y., LI, X., ZHANG, L., & LIU, Z. (2023). Mycoproteins: A sustainable solution for food security and environmental challenges. *Food Research International*, 170, 112953. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112953>
- WANKENNE, M. (2020). Alimentos *plant-based* vs. dieta *plant-based*. *Revista Food Ingredients Brasil*, 48, 1–20.

WEN, X., et al. (2023). Frequency of infant egg consumption and risk of maternal-reported egg allergy at 6 years. *The Journal of Nutrition*, 153(1), 364-372. <https://doi.org/10.1093/jn/nxz271>

WILLIAMSON, E., ROSS, I. L., WALL, B. T., & HANKAMER, B. (2024). Microalgae: Potential novel protein for sustainable human nutrition. *Trends in Plant Science*, 29(3), 370-382. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2024.01.003>

WONGKANYA, R., CHUYSINUAN, P., PENGSAK, C., TECHASAKUL, S., LIRDPRAPAMONGKOL, K., SVASTI, J., & NOOEAD, P. (2017). Eletrofiação de nanofibras isoladas de alginato/proteína de soja e suas características de liberação para aplicações biomédicas. *Journal of Science: Dispositivos de Materiais Avançados*, 2(3), 309-316.

WOOD, P., & TAVAN, M. (2022). A review of the alternative protein industry. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100869. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100869>

YANG, S., XU, H., CHEN, J. H., LIU, B., & CHENG, K. W. (2024). Microalgae as a sustainable protein source: Key issues related to their production, application, and the way forward. *Food and Bioprocess Technology*, 17(8), 1-33. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-02857-5>

ZHANG, T., WANG, H., & MA, L. (2024). Advances in fungal proteins for meat analogs: Textural and nutritional perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 135, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.010>

Autores

Hugo José Martins Carvalho, Sandra de Oliveira Silva, Adelaine Camargos Batista, Lucas Henrique Ramos de Oliveira, Gabriel Júnio Silva Souza, Mateus Alves Araújo, Raquel Guidetti Vendruscolo

Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 39100-000, Diamantina, MG, Brasil.