



ANÁLISE CRÍTICA DE MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DE CONCENTRADOS PROTEICOS: VIABILIDADE E TECNOLOGIAS VERDES

ANÁLISIS CRÍTICO DE MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE CONCENTRADOS PROTEICOS: VIABILIDAD Y TECNOLOGÍAS VERDES

CRITICAL ANALYSIS OF METHODS FOR OBTAINING PROTEIN CONCENTRATES: FEASIBILITY AND GREEN TECHNOLOGIES

Apresentação: Comunicação Oral

Silva, O. J. A.¹; Martins, F. F.²; Magalhães, J. L. C.³ Lima, M.⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0045>

RESUMO

A crescente demanda global por proteínas, impulsionada pelo aumento populacional projetado para 9,7 bilhões de pessoas até 2050, associada às pressões por sistemas alimentares mais sustentáveis e à valorização de dietas ricas em proteínas, tem intensificado a busca por métodos eficientes e ambientalmente responsáveis para a obtenção de concentrados proteicos. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo reunir e analisar criticamente informações sobre métodos convencionais e alternativos verdes para a obtenção de concentrados proteicos, avaliando sua viabilidade de aplicação, vantagens, limitações e possibilidades de uso em diferentes matérias-primas. As bases teóricas do trabalho compreendem os conceitos fundamentais sobre proteínas e concentrados proteicos, seus graus de purificação e propriedades funcionais, bem como uma caracterização dos principais métodos de obtenção disponíveis na literatura, que incluem precipitação isoelétrica, alteração de pH, extração aquosa, fermentação microbiana, micro-ondas, ultrassom, campo elétrico pulsado, alta pressão, fluidos supercríticos e extração assistida por enzimas. A metodologia utilizada consistiu em uma revisão sistemática crítica realizada na base de dados *Web of Science Collection*, utilizando termos de busca relacionados aos métodos de obtenção de concentrados proteicos, englobando artigos de revisão e experimentais com diferentes matérias-primas. A pesquisa base resultou em 1.596 artigos, refinados por buscas específicas para cada método avaliado. Observou-se tendência em pesquisas voltadas à substituição de proteínas de fonte animal, impulsionadas pelas culturas veganas e vegetarianas, além da busca por fontes alternativas como insetos e subprodutos. Os resultados demonstraram que a precipitação isoelétrica é um método muito utilizado, sendo aplicada a substratos variados, porém aparenta produzir concentrados com qualidade inferior, devido ao menor conteúdo de aminoácidos essenciais, a métodos como ultrafiltração. Os métodos verdes avaliados apresentaram resultados competitivos, especialmente quando empregados de forma combinada, como no caso de ultrassom combinado com alta pressão, ou extração alcalina combinada com micro-ondas. Técnicas como fermentação apresentaram bons resultados na obtenção de concentrados ricos em aminoácidos essenciais, valorizando esses produtos em aplicações como em rações para animais. Temperatura e pH apresentaram afetar o rendimento em proteínas, onde temperaturas mais brandas ao usar técnicas como micro-ondas levam a um maior conteúdo de proteínas. Conclui-se que não existe um método

¹ Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, ordarlei.silva@ufu.br

² Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, flavio.martins@ufu.br

³ Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, lucasmagalhaes45@ufu.br

⁴ Docente da Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, marieli@ufu.br

universalmente superior, sendo a escolha da técnica determinada pela matéria-prima utilizada, pelo grau de purificação desejado, pelos custos operacionais e pelo impacto ambiental envolvido. As tecnologias verdes apresentam-se como alternativas promissoras e complementares aos métodos convencionais, com potencial para compor processos sustentáveis e eficientes.

Palavras-Chave: proteínas, precipitação isoelétrica, micro-ondas, sustentável, fontes alternativas.

RESUMEN

La creciente demanda mundial de proteínas, impulsada por el aumento poblacional proyectado en 9,7 mil millones de personas hasta 2050, junto con las presiones por sistemas alimentarios más sostenibles y la valorización de dietas ricas en proteínas, ha intensificado la búsqueda de métodos eficientes y ambientalmente responsables para la obtención de concentrados proteicos. Ante esto, el presente trabajo tuvo como objetivo reunir y analizar críticamente información sobre métodos convencionales y alternativos verdes para la obtención de concentrados proteicos, evaluando su viabilidad de aplicación, ventajas, limitaciones y posibilidades de uso en diferentes materias primas. Las bases teóricas del trabajo comprenden los conceptos fundamentales sobre proteínas y concentrados proteicos, sus grados de purificación y propiedades funcionales, así como una caracterización de los principales métodos de obtención disponibles en la literatura, que incluyen precipitación isoeléctrica, cambio de pH, extracción acuosa, fermentación microbiana, microondas, ultrasonido, campo eléctrico pulsado, alta presión, fluidos supercríticos y extracción asistida por enzimas. La metodología utilizada consistió en una revisión sistemática crítica realizada en la base de datos Web of Science Collection, utilizando términos de búsqueda relacionados con los métodos de obtención de concentrados proteicos, abarcando artículos de revisión y experimentales con diferentes materias primas. La búsqueda base resultó en 1.596 artículos, refinados mediante búsquedas específicas para cada método evaluado. Se observó una tendencia en investigaciones orientadas a la sustitución de proteínas de origen animal, impulsadas por las culturas veganas y vegetarianas, además de la búsqueda de fuentes alternativas como insectos y subproductos. Los resultados demostraron que la precipitación isoeléctrica es un método muy utilizado, aplicándose a sustratos variados, aunque parece producir concentrados de calidad inferior, debido al menor contenido de aminoácidos esenciales, en comparación con métodos como la ultrafiltración. Los métodos verdes evaluados presentaron resultados competitivos, especialmente cuando se emplean de forma combinada, como en el caso del ultrasonido combinado con alta presión, o la extracción alcalina combinada con microondas. Técnicas como la fermentación presentaron buenos resultados en la obtención de concentrados ricos en aminoácidos esenciales, valorizando estos productos en aplicaciones como en raciones para animales. La temperatura y el pH mostraron afectar el rendimiento en proteínas, donde temperaturas más suaves al usar técnicas como microondas conducen a un mayor contenido de proteínas. Se concluye que no existe un método universalmente superior, siendo la elección de la técnica determinada por la materia prima utilizada, el grado de purificación deseado, los costos operativos y el impacto ambiental involucrado. Las tecnologías verdes se presentan como alternativas prometedoras y complementarias a los métodos convencionales, con potencial para integrar procesos sostenibles y eficientes.

Palabras Clave: proteínas, precipitación isoeléctrica, microondas, sostenible, fuentes alternativas.

ABSTRACT

The growing global demand for protein, driven by the population increase projected to reach 9.7 billion people by 2050, combined with pressure for more sustainable food systems and the increasing appreciation for protein-rich diets, has intensified the search for efficient and environmentally responsible methods to obtain protein concentrates. In light of this, the present work aimed to gather and critically analyze information on conventional and green alternative methods for obtaining protein concentrates, evaluating their application feasibility, advantages, limitations, and possibilities of use with different raw materials. The theoretical basis of the work comprises the fundamental concepts of proteins and protein concentrates, their degrees of purification and functional properties, as well as a characterization of the main extraction methods available in the literature, which include isoelectric precipitation, pH shifting, aqueous extraction, microbial fermentation, microwave, ultrasound, pulsed electric field, high pressure, supercritical fluids, and enzyme-assisted extraction. The methodology consisted of a critical systematic review carried out in the Web of Science Collection database, using search terms related to protein concentrate extraction methods, encompassing review and experimental

articles with different raw materials. The base search yielded 1,596 articles, refined through specific searches for each method evaluated. A trend was observed toward research focused on replacing animal-source proteins, driven by vegan and vegetarian cultures, as well as the search for alternative sources such as insects and by-products. The results showed that isoelectric precipitation is a widely used method, applied to a variety of substrates, but appears to produce concentrates of lower quality due to a lower content of essential amino acids compared to methods such as ultrafiltration. The green methods evaluated showed competitive results, especially when used in combination, such as ultrasound combined with high pressure, or alkaline extraction combined with microwave. Techniques such as fermentation showed good results in obtaining concentrates rich in essential amino acids, adding value to these products in applications such as animal feed. Temperature and pH were found to affect protein yield, with milder temperatures when using techniques such as microwave leading to a higher protein content. It is concluded that there is no universally superior method, with the choice of technique determined by the raw material used, the desired degree of purification, operational costs, and the environmental impact involved. Green technologies present themselves as promising and complementary alternatives to conventional methods, with potential to form part of sustainable and efficient processes.

Keywords: proteins, isoelectric precipitation, microwave, sustainable, alternative sources.

INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que até 2050 a população mundial aumentará para 9,7 bilhões, o que consequentemente leva a um crescimento na demanda por alimentos, desde o período atual (ONU, 2024). Além desse crescimento na produção, o sistema alimentar global enfrenta pressões quanto a se ter uma produção sustentável, com um menor impacto ao meio ambiente. As pressões sofridas se estendem também à questão da saúde humana, a se ter alimentos seguros para o consumo, e que atendam às demandas atuais dos estilos de vida adotados, que incluem o consumo de produtos alimentícios mais saudáveis, principalmente em relação a dietas ricas em fontes de proteínas. Esse aumento do consumo de proteínas também está associado à adoção de atividades físicas por grande parte da população e treinos de hipertrofia, o que leva ao mercado de suplementos proteicos (Alsubhi *et al.*, 2023; Tamburini, Moore e Castaldelli, 2025, Żakowska-Biemans, 2025).

As proteínas utilizadas na alimentação humana são obtidas predominantemente de fontes vegetais e animais, cuja produção depende de sistemas agrícolas e pecuários suscetíveis a diversos fatores ambientais. Entre esses fatores, destacam-se as mudanças climáticas, que comprometem o plantio, o desenvolvimento e a colheita das culturas vegetais, bem como a criação de animais de corte (Tamburini, Moore e Castaldelli, 2025). O desperdício de alimentos constitui um dos principais desafios da cadeia produtiva, resultando na perda de uma parcela significativa da produção, e pode estar relacionado a diversas causas, o que torna o combate ao desperdício extremamente complexo. Além disso, a divulgação de notícias sobre doenças associadas a determinados alimentos pode provocar o descarte em larga escala desses produtos, em decorrência da percepção de risco pelos consumidores e da disseminação de informações

insuficientes ou imprecisas (Rana, Mahmud e Alam, 2026). Por conta do impacto ambiental, e da volatilidade do mercado de proteínas de origem animal e vegetal, busca-se fontes alternativas para obtenção de proteínas como os resíduos de alimentos, animal e vegetal, além da obtenção de fonte microbiana (Meganaharshini *et al.*, 2023).

A ingestão de proteínas através da alimentação é a principal forma do organismo humano adquirir esse macronutriente. Além da obtenção pelas fontes comuns como leite, ovos, carne de peixe, de aves, leguminosas, oleaginosas e cereais; pode-se concentrar as proteínas dessas fontes, melhorando assim seu valor como produto funcional (Meganaharshini *et al.*, 2023). A depender do grau de purificação e do processamento, esses produtos podem ser chamados de concentrados, isolados ou hidrolisados proteicos. Os concentrados proteicos têm parte da água, minerais e outros componentes removidos por processos como filtração e extração. Os limites de teor proteico definidos na legislação variam de acordo com a matriz utilizada; segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o teor mínimo de proteína para o concentrado proteico de soro de leite (WPC) é de 25% (m/m) expresso em base seca; comercialmente e em normas complementares para suplementos, esses produtos são frequentemente classificados em faixas, como WPC 34 (mínimo de 34% de proteína) até WPC 80. Para produtos de origem vegetal, a proteína concentrada de soja deve conter, no mínimo, 65% de proteína em base seca (Brasil, 1996; Brasil, 2018). Devido a essa variância, analisando a literatura, produtos apresentando teores proteicos variando entre 30 a 90% são por vezes denominados concentrados proteicos, a depender da matéria-prima utilizada. Isolados proteicos já apresentam uma variação menor no teor proteico, entre 85 e 90% por conta da adição de etapas extras para purificação e concentração das proteínas, como a precipitação isoelétrica, microfiltração, troca iônica, entre outros. Por fim, os hidrolisados proteicos envolvem em seu processamento o uso de enzimas, que quebram as proteínas em peptídeos menores, mantendo um alto teor proteico, acima de 80%. Esses produtos são de grande interesse para a indústria alimentícia, principalmente pelas possibilidades de suplementação em formulações, possibilitando o desenvolvimento de produtos com elevados teores proteicos, e para atender às necessidades nutricionais de dietas ou para se adequar a estilos de vida como o veganismo, podendo assim obter proteínas concentradas de fontes não animais (Kalman, 2014; Nnamezie, Famuwagun e Gbadamosi, 2021). Quando adicionada aos alimentos, a proteína confere diferentes propriedades funcionais, como viscosidade, emulsificação e capacidade de retenção de água e óleo, além de afetarem a parte sensorial, trazendo benefícios de textura e sabor. Outra aplicação a adesão e a formação de filmes, que são de interesse para aplicações industriais em larga escala

(Moure *et al.*, 2006).

A escolha do tipo de processamento leva em consideração principalmente o grau de purificação desejado e visa equilibrar os custos de produção com os ganhos esperados. No caso dos concentrados proteicos, diversos métodos que podem ser utilizados para sua obtenção, como a precipitação isoeletrica, alteração de pH, extração aquosa com centrifugação, coagulação térmica, extração hidroalcoólica, precipitação salina, dentre outros métodos convencionais (Santamaría-Fernández e Lübeck, 2020; Vioque *et al.*, 2001). Por outro lado, a preocupação com o uso e descarte de reagentes químicos, e o impacto ambiental que alguns métodos tradicionais podem trazer, levam ao desenvolvimento de metodologias alternativas verdes para a obtenção de concentrados proteicos, como extrações por micro-ondas, ultrassom, alta pressão, fermentação etc. (Rivera, Siliveru e Li, 2024; Santamaría-Fernández e Lübeck, 2020; Vioque *et al.*, 2001; Yavuz *et al.*, 2025).

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo reunir informações sobre métodos para obtenção de concentrados proteicos, fazendo uma análise crítica sobre a viabilidade de aplicação desses métodos, bem como a comparação dos métodos convencionais e de métodos considerados verdes, relatando quais as vantagens desses processos em relação aos tradicionais e suas possíveis aplicações em diferentes matérias-primas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Obtenção de concentrados proteicos

O termo proteína tem origem da palavra grega “*protos*”, que significa preeminente, sendo formalizado pelo cientista holandês Gerard Johann Mulder. Desde seu descobrimento, as proteínas vêm sendo de grande importância para diversas áreas, como para a medicina e alimentação; elas possuem papéis cruciais em diversas funções biológicas do corpo humano, constituindo pelo menos 50% do peso seco das células vivas, sendo os principais constituintes dos músculos e cartilagens (Fatima *et al.*, 2024).

Os concentrados proteicos são obtidos eliminando a fração não proteica (carboidratos, minerais, lipídeos, compostos nitrogenados de baixo peso molecular etc.), restando um produto com um teor de proteínas maior que o inicial e de maior pureza. A qualidade e as propriedades dos concentrados variam de acordo com o processamento utilizado, pois a remoção de compostos não proteicos varia de acordo com os processos físico-químicos aplicados (Fatima *et al.*, 2024; Moure *et al.*, 2006). Isso resulta em uma cadeia de aminoácidos, estrutura secundária e composições diferentes, o que afeta as propriedades físico-químicas dos concentrados (Adeleke, Adiamo e Fawale, 2018; Ajibola *et al.*, 2016; López *et al.*, 2018).

Os concentrados proteicos podem ser obtidos de diferentes fontes. As proteínas vegetais apresentam limitações nutricionais quanto ao equilíbrio e digestibilidade dos aminoácidos e suas principais fontes são a soja, arroz, girassol, aveia, gergelim, linhaça, feijão, entre outros (Senna *et al.*, 2025). Para a obtenção de concentrados dessas fontes, tem-se a utilização de diversas técnicas passando por etapas de preparação da matéria-prima, extração ou solubilização, precipitação e secagem do produto obtido (Fatima *et al.*, 2024). Os concentrados de fonte animal são obtidos, no geral, das proteínas purificadas do leite e do soro de leite e da carne bovina, suína, de peixes e de aves. O consumo de proteínas animais está associado a efeitos benéficos por conta de as proteínas dessas fontes serem consideradas de alto valor biológico (Chauhan *et al.*, 2022). As de origem fúngica (micoproteínas), representadas principalmente por cogumelos, apresentam uma composição equilibrada e completa de aminoácidos, trazem potenciais benefícios para a saúde humana, e podem ser aplicadas no processamento de alimentos como análogos às proteínas animais. Sua obtenção normalmente é realizada por fermentações verdes, seguido por fracionamento e separação. O conceito de fermentação verde se relaciona à bioquímica e à química verde, sendo referente a bioprocessos que utilizam resíduos agroindustriais e outros tipos de biomateriais de baixo valor, gerando seu reaproveitamento e se integrando ao conceito de economia circular, resultando em uma redução do impacto ambiental. Na obtenção de micoproteínas é utilizado substrato dessa matriz de aproveitamento de resíduos, e se tem a fermentação focada no crescimento de biomassa fúngica, que é recuperada, seca e analisada quanto a teor de proteína e aminoácidos (Bakratsas *et al.*, 2023; Ng *et al.*, 2025; Wang, B. *et al.*, 2023; Wang, J. *et al.*, 2023).

Dentre os métodos convencionais para obtenção de concentrados proteicos, a precipitação isoelétrica é o mais comumente usado, sendo utilizado em conjunto a uma etapa de extração alcalina, realizada antes da precipitação. Esse método leva à separação de uma proteína de uma solução; essa separação ocorre devido a alteração de sua solubilidade pela adição de um ácido ou de uma base, induzindo sua precipitação no ponto isoelétrico, que é onde as moléculas, como proteínas, possuem carga líquida zero, o que permite que formem agregados, devido às moléculas com carga neutra não se repelirem (Evans, Romero e Westoby, 2009).

O método de precipitação isoelétrica utiliza valor de pH alcalino (acima de 8,0) para solubilização causada pelo aumento da repulsão eletrostática em função da carga negativa e posterior redução para pH ácido (em torno de 4,5, a depender do ponto isoelétrico da proteína) para obtenção de carga líquida nula, gerando menor repulsão eletrostática e consequente agregação e precipitação, permitindo obtenção do concentrado por meio de centrifugação.

(Domokos-Szabolcsy *et al.*, 2023).

A concentração de proteínas usando extração aquosa consiste em consecutivas extrações utilizando água, geralmente seguido por centrifugação, separando a matéria insolúvel. É possível combinar essa técnica com controle de pH em ponto isoelétrico, sem desnaturar a proteína e mantendo as propriedades funcionais do produto, podendo ainda ter a remoção de compostos indesejados que afetam odor e sabor (Vioque *et al.*, 2001).

Assim como se tem a busca por fontes alternativas viáveis de proteínas, tem-se também por métodos de extração alternativos, que sejam eficientes em questão de apresentarem vantagens quanto à tempo de processamento e/ou rendimento, que apresentem menor impacto ambiental, que apresentem vantagens econômicas etc. A obtenção de concentrados a partir da fermentação microbiana segue a mesma ideia da precipitação ácida. Durante a fermentação, o meio acidifica por meio da ação dos microrganismos presentes, através da produção de ácidos orgânicos, levando à redução da solubilidade proteica e sua precipitação. A fermentação apresenta vantagens em comparação com outros métodos: sem adição de ácidos e reagentes, menor consumo de energia e menor dano à proteína; porém requer grandes tempos de processamento além do alto investimento necessário nos equipamentos adequados (Domokos-Szabolcsy *et al.*, 2023).

A aplicação de micro-ondas, por exemplo, tem sido usada recentemente para a coagulação de proteínas, sendo utilizada de forma isolada ou em combinação com outros métodos. O aquecimento ocorre devido à conversão de energia eletromagnética em energia térmica, aquecendo rapidamente o produto, e levando ao rompimento rápido de estruturas celulares, facilitando assim a liberação de proteínas. O seu uso resulta em um coágulo de consistência mais firme, facilitando a separação do líquido durante a filtração (Ahmed *et al.*, 2024; Domokos-Szabolcsy *et al.*, 2023).

Solventes orgânicos sintéticos apresentam boa eficiência na extração e concentração de proteínas, porém apresentam desvantagens como a toxicidade, inflamabilidade e a questão de serem pouco biodegradáveis, além da possibilidade de desnaturar proteínas. Com isso, têm-se uma crescente demanda pela substituição desses solventes por alternativas verdes, como fluidos supercríticos, líquidos iônicos (LIs) e solventes eutéticos profundos (SEPs). LIs e SEPs apresentam vantagens como baixos pontos de fusão e perfis de solubilidade únicos, além de grande versatilidade em suas aplicações. Esses solventes apresentam capacidade de manter a atividade biológica e/ou funcional das proteínas extraídas, além de aumentar sua estabilidade em comparação com os solventes tradicionais (Maráková, 2025).

Na extração com fluido supercrítico, como o próprio nome diz, emprega-se um fluido

supercrítico como dióxido de carbono (CO₂) que possui temperatura e pressão críticas moderadas, sendo aplicável em compostos termossensíveis como proteínas; nesse estado, o fluido passa a ter uma combinação das características que teria em estado gasoso ou líquido, permitindo que ele penetre nas estruturas celulares de forma mais eficaz do que qualquer um dos estados isoladamente (Ahmed *et al.*, 2024).

O ultrassom também é uma técnica empregada na concentração de proteínas, sendo que utiliza de efeitos mecânicos como a cavitação, que é a formação, o crescimento e o colapso violento de bolhas gerando pressão e temperatura elevadas, para melhorar o transporte e a liberação de proteínas, além de promover a desagregação e dispersão de proteínas em soluções aquosas, resultando em maiores rendimentos de extração (Ahmed *et al.*, 2024).

Juntamente com o ultrassom, as técnicas que fazem uso de campo elétrico pulsado e alta pressão, são considerados métodos mecânicos suaves usados para a obtenção de concentrados proteicos, métodos que envolvem ação física sobre o produto trabalhado. O campo elétrico pulsado (PEF - *Pulsed Electric Field*) usa de pulsos elétricos, curtos e de alta voltagem, para romper as células para a extração de proteínas, enquanto os métodos que usam de alta pressão promovem o rompimento celular através da pressão intensa e das forças de cisalhamento geradas (Ahmed *et al.*, 2024).

Por fim, na extração assistida por enzimas, o rompimento das células ocorre pela ação enzimática, liberando o conteúdo interno de interesse, nesse caso as proteínas. Esse é um método que possui baixo impacto ambiental, além de que por necessitar de condições de operação relativamente brandas, apresenta benefícios quanto a conservação das propriedades do material (Ahmed *et al.*, 2024).

O intuito de se pesquisar por novas técnicas e tecnologias para obtenção de proteínas, é justamente para reduzir custos e o impacto ambiental gerado. As técnicas apresentadas mostram exatamente essa busca, desde a utilização e efeitos dos métodos convencionais, até a busca por métodos alternativos verdes.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na base de dados *Web of Science Collection* (WOS). Os termos utilizados na pesquisa foram concentrados proteicos (*protein concentrates*). Foi utilizado um operador de truncamento para relacionar os termos obtenção, obter e obtido (*obtain**), tecnologias verdes (*green technologies*) e métodos de extração (*extraction methods*), além de termos específicos para cada método pesquisado, como micro-ondas (*microwave*) precipitação isoeletrica em conjunto com o operador booleano “and”, usando a pesquisa por tópicos,

englobando a busca dos termos no título, no resumo e nas palavras-chave.

Foi feita uma revisão sistemática crítica, buscando avaliar a viabilidade de utilização de diversos métodos para obtenção de concentrados proteicos. Para tal, a pesquisa englobou artigos de revisão, que possam possuir informações relevantes sobre vantagens e desvantagens de métodos alternativos, e experimentais que foquem na aplicação de algum método, e que utilizem matérias-primas diferentes, para que possa ser analisado o efeito do processamento em diferentes matrizes, e os resultados obtidos.

A pesquisa através dos termos “protein concentrate” and “obtain*” resultou em um total de 1.596 artigos, sem a utilização de filtros de período, visando avaliar a evolução das técnicas utilizadas. A partir dessa base, especificou-se a pesquisa através da incorporação de outros termos, para conseguir um número menor de artigos, mantendo tanto artigos de revisão quanto experimentais, fazendo avaliação desses artigos através do título e palavras-chave, para posteriormente ser feita uma leitura do resumo e conclusão; para saber o assunto tratado em específico. Os termos utilizados para as pesquisas foram: “*isoelectric precipitation*”, “*aqueous precipitation*”, “*fermentation*”, “*microbial fermentation*”, “*microwave*”, “*ultrasound*”, “*supercritical*”, “*electric field*” e “*high pressure*”. Ao utilizar os termos, outros foram encontrados relacionados, como “*diafiltration*”, “*acid extraction*”, “*alcoholic extraction*”, “*hydroalcoholic extraction*”, “*electrostatic separator*”, “*mechanical pressing*”, “*hexane extraction*” e “*thermal extraction*”; sendo utilizados como termos adicionais para a pesquisa, por estarem relacionados aos demais processos, abrangendo mais a literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levantamento bibliométrico

A Tabela 1 apresenta um resumo de alguns artigos presentes na base de dados utilizada, identificados pela leitura dos resumos e conclusão, como relacionados ao tema deste trabalho, relacionando o método utilizado no trabalho com o tipo de matéria-prima.

Tabela 01: Estudos que concentraram proteínas a partir de diferentes métodos e matérias-primas alimentícias

Método aplicado	Matéria-prima	Referência
Precipitação isoeétrica	Grilo (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Moon e Cho (2026)
Precipitação isoeétrica, ultrafiltração e diafiltração	Larvas de <i>Tenebrio</i>	Pinel et al. (2024)
Precipitação isoeétrica e extração por água	Manto de lula (<i>Dosidicus gigas</i>)	Murrieta-Martínez et al. (2018)
Precipitação isoeétrica	Semente de manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	Saucedo et al. (2021)

Método aplicado	Matéria-prima	Referência
Precipitação isoelétrica	Torta de sementes de <i>Jatropha curcas</i>	Makkar, Francis e Becker (2008)
Extração alcalina seguida por precipitação isoelétrica	Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	Mepba e Achinewhu (2003)
Extração ácida	Subprodutos de pescado (carne e pele)	Athanasopoulou et al. (2023)
Extração aquosa, prensagem mecânica e extração com hexano	Castanha de cajú	Carmo, do et al. (2025)
Extração aquosa e extração com hexano	Grilos comestíveis (<i>Acheta domestica</i>)	Ndiritu et al. (2017)
Extração com água + álcool	Colza	Jia et al. (2021)
Extração aquosa	Peixe-cabra-pintado (<i>Pseudupeneus maculatus</i>)	Benevides et al. (2025)
Extração térmica + álcool	Peixe Katley (Copper mahseer)	Devi et al. (2025)
Extração alcoólica (etanol)	Peixe-cabeça-de-cobra (<i>Channa striata</i>)	Kumoro et al. (2024)
Fermentação em dois estágios (FDE)	Trigo sacarificado	Ratanapariyanuch et al. (2016)
Fermentação em estado sólido	Substratos fibrosos de origem agrícola	Velásquez, Arias e Toneatti (2012)
Fermentação microbiana	Extrato aquoso de folhas	Pandey e Srivastava (1993)
Micro-ondas	Microalgas (<i>Pseudochlorella pringsheimii</i>)	Bhatnagar et al. (2025)
Micro-ondas com solvente eutético profundo (DES) e extração alcalina	Gérmen de trigo	Olalere e Gan (2023)
Ultrassom	Aveia	Höhme-Matthes et al. (2025)
Extração assistida por ultrassom	Microalgas (<i>Spirulina platensis</i>)	Purdi, Setiowati e Ningrum (2023)
Extração assistida por ultrassom	Folhas de jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i> L.)	Vera-Salgado et al. (2022)
CO ₂ supercrítico	Gema de ovo	Paraskevopoulou, Panayiotou e Kiosseoglou (1997)
Extrusão com fluido supercrítico reativo	Soro de leite	Nor Afizah e Rizvi (2014)
Extração com CO ₂ supercrítico	Tortas lácteas vegetais de amêndoa e amendoim	Strieder et al. (2025)
Campo elétrico pulsado	Soro de leite	Axelrod et al. (2021); Ryan e McDougal (2026)
Separador eletrostático	Ervilhas	Zhu et al. (2022)
Alta pressão	Leite em pó	Udabage et al. (2012)
Alta pressão e ultrassom	Microalgas (<i>Nannochloropsis oceanica</i>)	Le et al. (2025)

Fonte: Própria (2026)

Percebe-se a partir da Tabela 01 que diversas matérias-primas são utilizadas para a extração de proteínas e obtenção de concentrados proteicos. Culturas vegetais são abordadas com maior frequência devido à busca, já relatada, por fontes alternativas às proteínas obtidas de produtos cárneos, sendo de grande interesse por conta de englobar o mercado vegetariano e vegano. Outra questão é a busca de fontes proteicas animais alternativas, como fica evidenciado pelo uso de insetos em alguns trabalhos, ao invés do uso de fontes animais convencionais como a bovina, suína e de aves. O uso de subprodutos de peixe, soro de leite e partes vegetais é um indício da busca por um aproveitamento integral das matérias-primas, representando fontes alternativas de proteínas promissoras (Fatima et al., 2024).

No trabalho de Pinel et al. (2024) foi realizada uma comparação de duas metodologias para a obtenção de concentrados proteicos de larvas de tenebrio: precipitação isoelétrica e ultrafiltração. Os autores obtiveram um teor proteico de 80% no concentrado produzido pelo método de precipitação isoelétrica em pH 4,5, e 72% pelo método de ultrafiltração. As características gerais dos concentrados proteicos também foram analisadas, demonstrando os bons resultados que a ultrafiltração alcançou, apresentando menores teores de cinzas e açúcares solúveis, além de melhores propriedades emulsificantes e solubilidade proteica. Murrieta-Martínez et al. (2018) também avaliaram dois métodos de obtenção de concentrados proteicos em manto de lula, utilizando extração aquosa com centrifugação a 15.000 xg por 15 minutos a 4 °C, e precipitação isoelétrica em pH 5,5, obtendo 12,95% e 15,35% respectivamente; apresentando assim um rendimento de 36% com a extração aquosa, e 47% com a precipitação isoelétrica; de acordo com Pérez-Calvo et al., (2010), o rendimento pelo método de precipitação isoelétrica ficou próximo do esperado para produtos cárneos, algo entre 48 a 55%. Observou-se maior estabilidade do concentrado obtido por precipitação isoelétrica. Percebe-se que esse método apresenta melhores resultados em relação a obtenção de elevados teores proteicos, porém a depender das técnicas que possam ser empregadas, existem alternativas que alcançam melhores resultados no geral, como a ultrafiltração apresentada no trabalho de Pinel et al., (2024) inclusive com relação à estabilidade dos concentrados. Na comparação com a extração aquosa, o custo pode ser levado em consideração na hora de determinar qual técnica é mais vantajosa, sendo a precipitação isoelétrica relativamente mais cara devido ao uso de reagentes na extração.

No trabalho de Makkar, Francis e Becker (2008) pôde-se analisar o efeito da temperatura e pH no teor proteico de concentrados obtidos por precipitação isoelétrica. Foi utilizado como objeto de estudo torta de sementes de jatropa (*Jatropha curcas*), um subproduto sólido rico em

nutrientes. Os resultados apontaram que em pH 10, o aumento de temperatura aumenta a proteína recuperada, comparando o processo a 40°C, e a 60°C temperatura na qual foram obtidos os melhores resultados. O uso de combinações de fatores como pH e temperatura, é de extrema importância para conseguir melhorar a eficiência dos processos, e é algo explorado em diversos trabalhos; a união desses trabalhos mapeia uma abrangente lista de condições de processamento como temperatura, pH e pressão, rendimentos proteicos e matérias-primas utilizadas, para melhorar os resultados de determinada técnica de extração.

A fermentação microbiana é considerada um método verde, e é avaliada no trabalho de Velásquez, Arias e Toneatti (2012) no qual obteve-se um concentrado proteico utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para fermentar diferentes substratos fibrosos de origem agrícola, com teor proteico satisfatório, de 4 a 5% de proteína. Já no trabalho de Yavuz et al. (2025) três tipos de fermentação (lática, de *Lactobacillus*, e de levedura + *Lactobacillus*) foram comparados entre si e com coagulação por micro-ondas a 80°C quanto à obtenção de proteínas de uma mistura de ervilhaca e tritcale. O método com uso de micro-ondas obteve maior teor de proteínas nesse caso. Contudo, as fermentações apresentaram obtenção de concentrados com maiores teores de aminoácidos essenciais, como metionina (0,140% no suco verde, 0,599% na coagulação por micro-ondas, 0,402% na fermentação lática, 0,449% com *Lactobacillus*, 0,913% com levedura + *Lactobacillus*) e isoleucina (0,454% no suco verde, 1,552 % na coagulação por micro-ondas, 1,072 % na fermentação lática, 1,120% com *Lactobacillus*, 1,676% com levedura + *Lactobacillus*), que contribuem para o teor proteico real do concentrado, além de apresentarem aumento da quantidade de compostos bioativos, tendo as fermentações de *Lactobacillus* e de levedura + *Lactobacillus* apresentando eficácia no acúmulo de flavonoides.

Olalere e Gan (2023) compararam uma extração alcalina convencional com uma técnica que combina o uso de micro-ondas e um solvente eutético profundo composto por carbonato de potássio + glicerol, obtendo uma recuperação de proteínas de 12,5% e de 33,0% respectivamente, a partir de gérmen de trigo desengordurado, e que ambos os processos resultaram em concentrados com boa estabilidade. O método combinado de micro-ondas e solvente eutético profundo apresentou fração proteica com maior solubilidade em água com a formação de uma estrutura de gel mais firme. Tas, Sumnu e Oztop (2025) também avaliaram o uso de micro-ondas, porém em conjunto com extração alcalina em sementes de abóbora, obtendo concentrados com maior rendimento e funcionalidade melhorada em comparação com técnicas convencionais, além de ser um método promissor a ser aplicados em produtos vegetais. As técnicas envolvendo a complementação e combinação com micro-ondas apresentam no

geral bons resultados, ao unir com outros métodos busca-se aliviar os efeitos negativos que métodos, como a combinação de extração aquosa com micro-ondas, possam causar devido ao seu aquecimento mais agressivo, permitindo principalmente um processamento com temperaturas mais brandas. Temperaturas moderadas costumam levar a um aumento de rendimento como mostrado nesse trabalho, podendo ser consideradas como temperaturas suaves em torno de 40 a 60°C; já métodos mais agressivos como no caso de extrações hidrotermais/água subcrítica (em torno de 180 °C) e processos de secagem/torrefação a seco (100–175 °C), podem aumentar o rendimento, porém tendem à causar desnaturação, quedas de solubilidade, comprometendo a qualidade funcional dos concentrados (Barrios et al., 2022; Vondel, Van de et al., 2021).

A aplicação de ultrassom em concentrados proteicos, como mostrado no trabalho de Höhme-Matthes et al. (2025) que o utilizou em aveia, que traz uma visão sobre condições de processos nos quais esse método pode ser implementado. Foram identificados menor eficiência em ensaios em batelada do que em ensaios contínuos, e o tempo de residência e a distribuição do tempo de residência como fatores chave a serem ajustados para se atingir a densidade de energia (quantidade de energia ultrassônica fornecida ao sistema por unidade de volume da suspensão proteica) desejada. Sua efetividade foi reconhecida, principalmente para amostras contendo fibras, partículas e gorduras, além de apresentar vantagens como pequena área de instalação, capacidade de lidar com altas concentrações de sólidos e oferecem uma interessante combinação de efeitos físicos e químicos; porém com certas limitações quanto à potência de saída e altas taxas de fluxo em processos de produção em larga escala, podendo implicar em restrições de aplicação em algumas circunstâncias. Le et al. (2025) investigaram vários métodos para obtenção de concentrados proteicos de alta pureza de microalgas (*Nannochloropsis oceanica*). O método envolvendo alta pressão em combinação com ultrassom produziu um concentrado com de 42% de proteína, porém métodos envolvendo extração alcalina e precipitação ácida atingiram teor de mais de 80%, nesse caso apresentando um resultado melhor do que técnicas alternativas como ultrassom e alta pressão; mas não necessariamente sendo algo definitivo, pois além dos resultados poderem variar em outras matérias-primas, o custo de reagentes e equipamentos também pode ser explorado em trabalhos futuros.

A aplicação de campo elétrico pulsado em concentrados proteicos foi apresentada no trabalho de Ryan e McDougal (2026), onde a técnica foi utilizada em soro de leite, com três intensidades de campo e energia específica, definidos como baixo (17 kV/cm e 8 kJ/L), médio (19 kV/cm e 12 kJ/L) e alto (21 kV/cm e 15 kJ/L). Todos os parâmetros utilizados demonstraram benefícios para a viscosidade, solubilidade e tamanho de partícula, mantendo as

propriedades de formação de espuma e a estrutura das proteínas. Outros trabalhos como os de Axelrod et al. (2021) e Raghunath, Mallikarjunan e Schoenfuss (2026) também tratam do uso de ultrassom em soro de leite, mas com foco em tratamentos para beneficiar o produto como um todo, e não para obtenção de concentrados proteicos, com a literatura carecendo de estudos nessa área e de variação de matéria-prima.

CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu reunir e analisar um conjunto de 10 métodos para a obtenção de concentrados proteicos, evidenciando que não existe uma técnica universalmente superior, mas sim abordagens mais adequadas a cada contexto, matéria-prima e objetivo de purificação. Percebe-se ainda que diversos fatores que envolvem as técnicas de obtenção de concentrados proteicos variam a depender de cada situação, principalmente em relação com a matéria-prima trabalhada, pois a partir de sua escolha, os métodos utilizados podem variar a depender do objetivo; se for obter um maior rendimento em questão de extração de proteínas, sem focar em outras características como solubilidade e gelificação, ou conteúdo de peptídeos bioativos, pode-se escolher técnicas como precipitação isoelétrica que demonstrou bom rendimento desse tipo, se desejar um concentrado com qualidade superior em outros aspectos, técnicas como ultrafiltração, fermentação, coagulação por micro-ondas podem ser opções mais interessantes. Junto a esses fatores, os custos da extração também devem ser considerados.

A precipitação isoelétrica se consolida como o método convencional mais amplamente reportado na literatura, com resultados consistentes de teores proteicos elevados, em uma ampla variedade de substratos, tanto de origem animal quanto vegetal. No entanto, seu custo operacional relativamente maior, associado ao uso de reagentes químicos e às etapas adicionais de processamento como as técnicas relacionadas à purificação, determinação centesimal, precipitação e separação da solução etc., abre espaço para a busca por alternativas mais viáveis econômica e ambientalmente.

A análise da literatura no assunto apontou como métodos considerados verdes na concentração de proteínas a fermentação microbiana, ultrassom, micro-ondas, campo elétrico, alta pressão e fluidos supercríticos, que demonstraram potencial competitivo, especialmente quando empregados de forma combinada com outros métodos, tanto convencionais como com outros métodos verdes. A combinação de micro-ondas com solventes eutéticos profundos, por exemplo, alcançou recuperação proteica significativamente superior à extração alcalina convencional isolada. Da mesma forma, a fermentação, embora demande maiores tempos de processamento, apresentou vantagens nutricionais relevantes, como o acúmulo de aminoácidos

essenciais e compostos bioativos, agregando valor funcional ao produto.

Observou-se também uma tendência crescente no uso de fontes proteicas alternativas, como insetos, microalgas e subprodutos agroindustriais, refletindo a pressão global por sistemas alimentares mais sustentáveis diante do crescimento populacional projetado e das limitações impostas pelas mudanças climáticas às fontes proteicas convencionais.

Conclui-se, portanto, que a escolha do método de obtenção de concentrados proteicos deve considerar de forma integrada o grau de purificação desejado, as características da matéria-prima, os custos de produção, o impacto ambiental e as propriedades funcionais requeridas pelo produto. As tecnologias verdes apresentam-se como alternativas promissoras e complementares aos métodos convencionais, sendo sua consolidação dependente do avanço de estudos que avaliem sua escalabilidade industrial e viabilidade econômica em diferentes matrizes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado para realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ADELEKE, O. R.; ADIAMO, O. Q.; FAWALE, O. S. Nutritional, physicochemical, and functional properties of protein concentrate and isolate of newly-developed Bambara groundnut (*Vigna subteranea* L.) cultivars. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 1, p. 229–242, 24 jan. 2018.
- AHMED, T.; SUZAUDDULA, M.; AKTER, K.; HOSSEN, M.; ISLAM, M. N. Green Technology for Fungal Protein Extraction—A Review. **Separations**, v. 11, n. 6, p. 186, 13 jun. 2024.
- AJIBOLA, C. F.; MALOMO, S. A.; FAGBEMI, T. N.; ALUKO, R. E. Polypeptide composition and functional properties of African yam bean seed (*Sphenostylis stenocarpa*) albumin, globulin and protein concentrate. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 189–200, maio 2016.
- ALSUBHI, M.; BLAKE, M.; NGUYEN, T.; MAJMUDAR, I.; MOODIE, M.; ANANTHAPAVAN, J. Consumer willingness to pay for healthier food products: A systematic review. **Obesity Reviews**, v. 24, n. 1, 7 jan. 2023.
- ATHANASOPOULOU, E., MICHAILIDI, A., LADAKIS, D., KALLIAMPAKOU, K. I., FLEMETAKIS, E., KOUTINAS, A., & TSIRONI, T. Extraction of Fish Protein Concentrates from Discards and Combined Application with Gelatin for the Development of Biodegradable Food Packaging. **Sustainability**, 15(15), 12062. <https://doi.org/10.3390/su151512062>. 2023.
- AXELROD, R.; BAUMGARTNER, J.; TANNER, E.; BEYRER, M.; MATHYS, A. Effects of microsecond pulsed electric field (μ sPEF) and modular micro reaction system (MMRS)

treatments on whey protein aggregation. *International Dairy Journal*, v. 123, p. 105170, 1 dez. 2021.

BAKRATSAS, G., POLYDERA, A., NILSON, O., CHATZIKONSTANTINO, A. V., XIROS, C., KATAPODIS, P., & STAMATIS, H. Mycoprotein Production by Submerged Fermentation of the Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus* in a Batch Stirred Tank Bioreactor Using Agro-Industrial Hydrolysate. *Foods*, 12(12), 2295. <https://doi.org/10.3390/foods12122295>. 2023.

BARRIOS, C.; FERNÁNDEZ-DELGADO, M.; LÓPEZ-LINARES, J. C.; GARCÍA-CUBERO, M. T.; COCA, M.; LUCAS, S. A techno-economic perspective on a microwave extraction process for efficient protein recovery from agri-food wastes. *Industrial Crops and Products*, v. 186, p. 115166, out. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 28, de 26 de julho de 2018. Estabelece as listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, n. 144, p. [nº da página], 27 jul. 2018. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/int0028_26_07_2018.pdf. Acesso em: 14 jul. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 146, de 7 de março de 1996. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1996. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-mapa-146-de-07-03-1996,669.html>. Acesso em: 14 jul. 2026.

BENEVIDES, A. B.; PINHEIRO CRASTO AMARAL, R.; CARVALHO DA SILVA, E. D.; SUCUPIRA MACIEL, M. I.; KAZUE SAKUGAWA SHINOHARA, N.; ABREU GLORIA, M. B. DE; CAMPAGNOLI DE OLIVEIRA FILHO, P. R. Snacks Fortified with Protein Concentrate from Spotted Goatfish (*Pseudopeneus maculatus*) and Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Shell Flour. *Food Technology and Biotechnology*, v. 63, n. 4, p. 449, 29 jul. 2025.

BHATNAGAR, P.; GURURANI, P.; KUMAR, S.; KAMBOJ, N.; GAUTAM, P.; VLASKIN, M. S.; HUANG, J.; CHAUHAN, P. K.; KUMAR, V. Microwave-assisted extraction of proteins from *Pseudochlorella pringsheimii*: Optimization and application in fortified high-protein buns. *Food Chemistry*, v. 482, p. 144061, 1 ago. 2025.

CARMO, J. S. DO et al. Cashew nut protein concentrate as a potential ingredient for the emerging alternative protein industry. *Food Chemistry*, v. 496, p. 146855, dez. 2025.

CHAUHAN, A. S.; CHEN, C.-W.; SINGHANIA, R. R.; TIWARI, M.; SARTALE, R. G.; DONG, C.-D.; PATEL, A. K. Valorizations of Marigold Waste for High-Value Products and Their Industrial Importance: A Comprehensive Review. *Resources*, v. 11, n. 10, p. 91, 3 out. 2022.

DEVI, H. M.; SINGH, B. K.; NATH, P. C.; PANDEY, V. K.; RUSTAGI, S.; CHETTRI, S. Optimizing extraction process of Fish Protein Concentrate from Katley fish (Copper mahseer) using response surface methodology. *Bioresource Technology Reports*, v. 31, p. 102259, 1 set. 2025.

DOMOKOS-SZABOLCSY, É.; YAVUZ, S. R.; PICOLI, E.; FÁRI, M. G.; KOVÁCS, Z.; TÓTH, C.; KASZÁS, L.; ALSHAAL, T.; ELHAWAT, N. Green Biomass-Based Protein for Sustainable Feed and Food Supply: An Overview of Current and Future Prospective. **Life**, v. 13, n. 2, p. 307, 22 jan. 2023.

EVANS, D. R. H.; ROMERO, J. K.; WESTOBY, M. Chapter 9 Concentration of Proteins and Removal of Solutes. **Methods in Enzymology**, v. 463, n. C, p. 97–120, 2009.

FATIMA, A.; SINGH, P.; PANDEY, V. K.; SINGH, R.; RUSTAGI, S. Exploring the significance of protein concentrate: A review on sources, extraction methods, and applications. **Food Chemistry Advances**, v. 5, p. 100771, dez. 2024.

HÖHME-MATTHES, L.; KRAUSE, A.; SCHULNIES, F.; KLEINSCHMIDT, S.; KLEINSCHMIDT, T. Characterization of Batch and Flow Cell Ultrasonication in the Processing of Oat Protein Concentrates to Obtain Higher Efficiency and Scalability. **Journal of Food Process Engineering**, v. 48, n. 6, 19 jun. 2025.

JIA, W.; RODRIGUEZ-ALONSO, E.; BIANEIS, M.; KEPPLER, J. K.; GOOT, A. J. VAN DER. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 68, p. 102636, 1 mar. 2021.

KALMAN, D. Amino Acid Composition of an Organic Brown Rice Protein Concentrate and Isolate Compared to Soy and Whey Concentrates and Isolates. **Foods**, v. 3, n. 3, p. 394–402, 30 jun. 2014.

KUMORO, A. C.; WARDHANI, D. H.; KUSWORO, T. D.; DJAENI, M.; AZIS, Y. M. F.; ALHANIF, M.; PING, T. C. Manufacturing of protein concentrate from the flesh of snakehead fish (*Channa striata*) through consecutive ultrasound-assisted organic solvent extraction and vacuum drying. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, 31 dez. 2024.

LE, T. P. L.; SAMARATHUNGA, J.; GABARD, M.; STRAZDINS, K.; RENS, J.; ADHIKARI, B. Comparison of extraction methods to obtain high-purity protein concentrate from green microalgae *Nannochloropsis oceanica*. **Sustainable Food Technology**, v. 3, n. 2, p. 549–558, 2025.

LÓPEZ, D. N.; GALANTE, M.; ROBSON, M.; BOERIS, V.; SPELZINI, D. Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 152–159, abr. 2018.

MAKKAR, H. P.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 9, p. 1542–1548, 13 jul. 2008.

MARÁKOVÁ, K. Greener solvents in extraction of proteins and peptides. **Advances in Sample Preparation**, v. 13, p. 100165, 1 fev. 2025.

MEGANAHARSHINI, M.; SUDHAKAR, V.; DHIVYA BHARATHI, N.; DEEPAK, S. Review on recent trends in the application of protein concentrates and isolates – A food industry perspective. **Food and Humanity**, v. 1, p. 308–325, 1 dez. 2023.

MEPBA, H. D.; ACHINEWHU, S. C. Effects of processing on protein nutritive quality of coconut *Cocos nucifera* products. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 58, n. 1, p. 15–25, mar. 2003.

MOON, S. H.; CHO, S. J. Structural characterization and emulsifying properties of a novel cricket protein concentrate prepared via pepsin extraction–isoelectric precipitation. **Food Hydrocolloids**, v. 176, p. 112569, 1 jul. 2026.

MOURE, A.; SINEIRO, J.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. Functionality of oilseed protein products: A review. **Food Research International**, v. 39, n. 9, p. 945–963, nov. 2006.

MURRIETA-MARTÍNEZ, C.; OCANO-HIGUERA, V. M.; RAMÍREZ-WONG, B.; TORRES-ARREOLA, W.; RUIZ-CRUZ, S.; MÁRQUEZ-RÍOS, E. Obtaining a Protein Concentrate from Squid Mantle (<i>Dosidicus gigas</i>) by Direct Isoelectric Precipitation and Evaluation of its Gelling Capacity. **Food Science and Technology Research**, v. 24, n. 2, p. 193–200, 2018.

NDIRITU, A. K.; KINYURU, J. N.; KENJI, G. M.; GICHUHI, P. N. Extraction technique influences the physico-chemical characteristics and functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 2013–2021, 3 dez. 2017.

NG, Z. Y.; KEE, P. E.; ABDULLAH, R.; LAN, J. C.-W.; LING, T. C.; JIANG, J.-J.; LIM, J. W.; KHOO, K. S. Conversion of lignocellulosic biomass waste into mycoprotein: current status and future directions for sustainable protein production. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 15, n. 24, p. 31337–31363, 19 dez. 2025.

NNAMEZIE, A. A.; FAMUWAGUN, A. A.; GBADAMOSI, S. O. Characterization of okra seed flours, protein concentrate, protein isolate and enzymatic hydrolysates. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 3, n. 1, p. 14, 10 dez. 2021.

NOR AFIZAH, M.; RIZVI, S. S. H. Functional properties of whey protein concentrate texturized at acidic pH: Effect of extrusion temperature. **LWT - Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 290–298, 1 jun. 2014.

OLALERE, O. A.; GAN, C. Y. Extractability of defatted wheat germ protein and their functionalities in a deep eutectic solvent (DES)-Microwave extraction approach compared to conventional processing. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 32, p. 101002, 1 maio 2023.

ONU. 2024 **Revision of World Population Prospects**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 3 jun. 2026.

PANDEY, V. N.; SRIVASTAVA, A. K. A simple, low energy requiring method of coagulating leaf proteins for food use. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 43, n. 3, p. 241–245, maio 1993.

PARASKEVOPOULOU, A.; PANAYIOTOU, K.; KIOSSEOGLOU, V. Functional properties of egg yolk concentrate with a reduced cholesterol content prepared by treatment with supercritical CO₂. **Food Hydrocolloids**, v. 11, n. 4, p. 385–391, 1 out. 1997.

PINEL, G. et al. Influence of the processing on composition, protein structure and techno-functional properties of mealworm protein concentrates produced by isoelectric precipitation and ultrafiltration/diafiltration. **Food Chemistry**, v. 449, p. 139177, ago. 2024.

PURDI, T. S.; SETIOWATI, A. D.; NINGRUM, A. Ultrasound-assisted extraction of *Spirulina platensis* protein: physicochemical characteristic and techno-functional properties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 5, p. 5474–5486, 21 out. 2023.

RAGHUNATH, S.; MALLIKARJUNAN, P. K.; SCHOENFUSS, T. C. Improving reconstituted and re-spray-dried milk protein concentrate (MPC85) functionality using pulsed electric field technology. **Frontiers in Food Science and Technology**, v. 6, 13 maio 2026.

RANA, Z. H.; MAHMUD, M. S.; ALAM, M. K. Is Plant Protein-Based Meat the Future? Exploring Recent Advances, Opportunities, and Challenges. **Food and Bioprocess Technology**, v. 19, n. 2, p. 79, 19 fev. 2026.

RATANAPARIYANUCH, K.; SHIM, Y. Y.; EMAMI, S.; REANEY, M. J. T. Protein Concentrate Production from Thin Stillage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 50, p. 9488–9496, 21 dez. 2016.

RIVERA, J.; SILIVERU, K.; LI, Y. A comprehensive review on pulse protein fractionation and extraction: processes, functionality, and food applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 64, n. 13, p. 4179–4201, 18 maio 2024.

RYAN, E. L.; MCDOUGAL, O. M. Effects of Pulsed Electric Field Technology on Whey Protein Concentrate. **Molecules**, v. 31, n. 2, p. 237, 10 jan. 2026.

SANTAMARÍA-FERNÁNDEZ, M.; LÜBECK, M. Production of leaf protein concentrates in green biorefineries as alternative feed for monogastric animals. **Animal Feed Science and Technology**, v. 268, p. 114605, out. 2020.

SAUCEDO, M. D. P.; ULLOA, J. A.; ULLOA, P. R.; RAMÍREZ, J. C. R.; SILVA-CARRILLO, Y.; RANGEL, B. E. U. Techno-functional characterization of a proteinic concentrate obtained from mango (*Mangifera indica* L.) seed. **Biotechnia**, v. 23, p. 120–126, 2021.

SENNA, C.; CRUZ, M.; KUPSKI, L.; BADIALE-FURLONG, E. Impact of Protein Concentrate Production on Mycotoxin Mitigation: A Systematic Review. **Toxins**, v. 17, n. 12, p. 572, 26 nov. 2025.

STRIEDER, M. M.; MENDIOLA, J.; COKDINLEYEN, M.; VALDÉS, A.; BRAGAGNOLO, F. S.; BALBINOT FILHO, C. A.; LANZA, M.; FERREIRA, S. R. S.; CIFUENTES, A.; ROSTAGNO, M. A.; IBÁÑEZ, E. Sustainable valorization of almond and peanut plant-based milk cakes: The use of terpenoid mixtures as ready-to-use solvents to enhance supercritical CO₂ extraction. **Food Chemistry**, v. 479, p. 143796, jul. 2025.

TAMBURINI, E.; MOORE, D.; CASTALDELLI, G. Global Comparison and Future Trends of Major Food Proteins: Can Shellfish Contribute to Sustainable Food Security? **Foods**, v. 14, n. 13, p. 2205, 23 jun. 2025.

TAS, O.; SUMNU, S. G.; OZTOP, M. H. Effect of Extraction Methods and Preheat Treatments on the Functional Properties of Pumpkin Seed Protein Concentrate. **ACS Food Science & Technology**, v. 5, n. 1, p. 105–117, 17 jan. 2025.

UDABAGE, P.; PUVANENTHIRAN, A.; YOO, J. A.; VERSTEEG, C.; AUGUSTIN, M. A. Modified water solubility of milk protein concentrate powders through the application of static high pressure treatment. **Journal of Dairy Research**, v. 79, n. 1, p. 76–83, 30 fev. 2012.

VELÁSQUEZ, A.; ARIAS, R.; TONEATTI, M. Effect of the type of substrate on the chemical composition and productivity of a protein concentrate of yeast origin. **Ciencia e investigación agraria**, v. 39, n. 3, p. 425–434, dez. 2012.

VERA-SALGADO, J.; CALDERÓN-CHIU, C.; CALDERÓN-SANTOYO, M.; BARROS-CASTILLO, J. C.; LÓPEZ-GARCÍA, U. M.; RAGAZZO-SÁNCHEZ, J. A. Ultrasound-Assisted Extraction of *Artocarpus heterophyllus* L. Leaf Protein Concentrate: Solubility, Foaming, Emulsifying, and Antioxidant Properties of Protein Hydrolysates. **Colloids and Interfaces**, v. 6, n. 4, p. 50, 26 set. 2022.

VIOQUE, J.; SÁNCHEZ-VIOQUE, R.; PEDROCHE, J.; YUST, M. DEL M.; MILLÁN, F. Production and uses of protein concentrates and isolates. **Grasas y Aceites**, v. 52, n. 2, p. 127–131, 30 abr. 2001.

VONDEL, J. VAN DE; LAMBRECHT, M. A.; HOUSMANS, J. A. J.; ROUSSEAU, F.; SCHYMKOWITZ, J.; DELCOUR, J. A. Impact of hydrothermal treatment on denaturation and aggregation of water-extractable quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein. **Food Hydrocolloids**, v. 115, p. 106611, jun. 2021.

WANG, B.; SHI, Y.; LU, H.; CHEN, Q. A critical review of fungal proteins: Emerging preparation technology, active efficacy and food application. **Trends in Food Science & Technology**, v. 141, p. 104178, nov. 2023.

WANG, J.; HUANG, Z.; JIANG, Q.; ROUBÍK, H.; XU, Q.; GHARSALLAOUI, A.; CAI, M.; YANG, K.; SUN, P. Fungal solid-state fermentation of crops and their by-products to obtain protein resources: The next frontier of food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 138, p. 628–644, ago. 2023.

YAVUZ, S. R.; ALSHAAL, T.; SUHARTINI, W.; BÁKONYI, N.; KOVÁCS, Z.; KASZÁS, L.; VERES, S.; FÁRI, M. G.; ELHAWAT, N.; DOMOKOS-SZABOLCSY, É. Leaf protein concentrate as a nutrient-dense protein source from vetch and triticale mixture: A comparative analysis of fermentation techniques. **Food Chemistry**: X, v. 31, p. 103153, out. 2025.

ŻAKOWSKA-BIEMANS, S. Meatless Momentum: Food-Related Lifestyle Drivers of Plant-Based Meat Alternative Adoption. **Nutrients**, v. 17, n. 22, p. 3628, 20 nov. 2025.

SILVA, et al.

ZHU, H. G.; TANG, H. Q.; CHENG, Y. Q.; LI, Z. G.; QIU, J.; TONG, L. T. Electrostatic separation of pea proteins assisted by COMSOL simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 335, p. 111175, 1 dez. 2022.