EFEITO DA ALTA PRESSÃO DINÂMICA NO ISOLADO PROTEICO DE GERGELIM (*Sesamum indicum L.*)

Palavras-Chave: Gergelim; Homogeneização de Alta Pressão; Propriedades Tecno-Funcionais.

Autores(as):
Ayla Alpdogan – FEA
Ms. Beatriz Lederman Valente (coorientadora) - FEA
Prof. Dr. Marcelo Cristianini (orientador) - FEA

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos *plant-based*, motivada pelos impactos ambientais da pecuária (disrupção de ciclos biogeoquímicos, perda de biodiversidade) e pelo aumento do vegetarianismo (18% dos brasileiros), tem impulsionado a busca por novas fontes proteicas sustentáveis, alinhadas aos ODS da ONU. Nesse cenário, a proteína de gergelim extraida à partir do farelo de gergelim, que por sua vez é um subproduto da extração de óleo com aproximadamente 50% de proteína e bom perfil de aminoácidos, pode se destacar como alternativa promissora. Porém com limitações tecno-funcionais (solubilidade, emulsificação) típicas de proteínas vegetais (Hoehnel, Sannini, Arendt, 2022; Aiking, 2011; Agência Brasil, 2021).

Para superar essas limitações, este trabalho investigou o uso da Alta Pressão Dinâmica (DHP – Dynamic High Pressure),entre 50-150 MPa, para modificar as propriedades tecno-funcionais do isolado proteico de Gergelim.

2. METODOLOGIA

2.1 Obtenção do Isolado Proteico de Gergelim

O farelo desengordurado (FDG) foi submetido à extração alcalina, suspenso em água deionizada (1:8, p/v) com ajuste de pH para 11 (NaOH 1N). Após agitação à temperatura ambiente, a suspensão foi centrifugada (6000 ×*g*, 15 min, 10 °C). O sobrenadante coletado passou por precipitação ácida (HCl 1N até pH 4,5 – ponto isoelétrico da proteína), seguida de nova centrifugação (5000 rpm, 15 min). O precipitado foi neutralizado (pH 7,0, NaOH 1N), congelado e liofilizado. O IPG (Isolado Proteico de Gergelim) obtido foi armazenado a −15 °C até análises (Onsaard; Pomsamud; Audtum, 2010).

2.2 Processamento por Alta Pressão Dinâmica (DHP)

Os isolados foram suspensos em água deionizada (5% p/v) e ajustados para pH 2,0, mantendo-se em agitação até o processamento. O processamento por DHP foi realizado em homogeneizador de alta pressão (GEA Niro Soavi, Itália) a 25°C, com 1 ciclo de passagem e três

níveis de pressão: 50 MPa (moderada), 100 MPa (intermediária) e 150 MPa (elevada). Após o processamento, as amostras foram neutralizadas (pH 7), congeladas e liofilizadas.

2.3 Composição Centesimal e Cor

Os teores de umidade e cinzas foram determinados pelos métodos padrão da AOAC (2005), enquanto o conteúdo proteico foi quantificado pelo método de Dumas utilizando o fator de conversão 6,25. Os carboidratos digeríveis foram calculados por diferença, com todas as análises realizadas em triplicata. A cor foi avaliada instrumentalmente em colorímetro HunterLab UltraScan PRO, utilizando o iluminante D65 e ângulo de observação de 10°, também em triplicata. Os resultados de cor foram expressos nos parâmetros L* (luminosidade), a* e b* (cromaticidade), fornecendo uma caracterização completa das amostras.

2.4 Propriedades Funcionais

2.4.1 Solubilidade em água

A solubilidade dos isolados foi avaliada seguindo o método de Calderón-Chiu *et al.* (2021) com adaptações. As amostras foram dissolvidas em água (10 mg/mL) e tiveram seu pH ajustado entre 2,0 e 8,0. Após agitação por 30 minutos a 25°C, as soluções foram centrifugadas a 7500 × g por 15 minutos. A concentração proteica no sobrenadante foi quantificada pelo método de Bradford, permitindo o cálculo da solubilidade através da Equação 1. Todos os procedimentos foram realizados em triplicata para garantia da reprodutibilidade dos resultados.

$$Solubilidade\ da\ Proteína\ = \frac{Conteúdo\ de\ proteína\ no\ sobrenadante}{Conteúdo\ total\ da\ proteína\ na\ amostra} \times 100 \qquad (1)$$

2.4.2 Capacidade de retenção de água (CRA)

A CRA foi avaliada conforme Rodrigues *et al.* (2012), com 100 mg de isolado disperso em 1 mL de água destilada em microtubo previamente tarado. Após homogeneização em vortex (30 s), as amostras foram centrifugadas a 1800 g por 20 min (25°C). O sobrenadante foi drenado por 10 min, e o resíduo proteico pesado para cálculo da CRA através da Equação 2. O método permite quantificar a água retida por grama de amostra, com procedimentos padronizados para garantir reprodutibilidade.

$$CRA\ = \frac{P\ (tubo+\ isolado\ proteico) - P(tubo+isolado\ proteico+água\ absorvida}{P\ isolado\ proteico} \qquad (2)$$

2.4.2 Capacidade de retenção de óleo (CRO)

A CRO foi determinada conforme Ogunwolu *et al.* (2009), com 100 mg de isolado disperso em 1 mL de óleo de girassol em microtubo tarado. Após homogeneização em vortex (30 s) e incubação a 25°C (30 min), as amostras foram centrifugadas a 13600 g por 10 min. O sobrenadante foi drenado a 45°C por 20 min, e o resíduo proteico pesado para cálculo da CRO através da Equação 3, quantificando assim o óleo retido por grama de amostra.

$$CRO\ = \frac{P(tubo+isolado\ proteico) - P(tubo\ +isolado\ proteico\ +\ óleo\ absorvido)}{Pisolado\ proteico} \qquad (3)$$

2.4.3 Capacidade espumante (CE) e estabilidade de espuma (EE)

A capacidade espumante e estabilidade foram avaliadas conforme Singharaj e Onsaard (2015), utilizando suspensões proteicas a 1% (p/v, 20 mL, pH 7.0) homogeneizadas em ultra-turrax a 20.000 rpm por 1 min. O volume inicial (V1) e final (V2) após homogeneização foram medidos em proveta de 50 mL, calculando-se a capacidade espumante pela Equação 4 como porcentagem de aumento volumétrico. Para avaliação da estabilidade, o volume foi medido novamente após 30 min em repouso a 25°C, permitindo calcular a retenção do volume espumoso ao longo do tempo. Todos os ensaios foram realizados em triplicata para garantia da confiabilidade dos resultados (Equação 5).

$$CE = \frac{V2 - V1}{V1} \times 100 \quad (4)$$

$$EE\,(\%) = \frac{V1 - Vespuma}{V2 - V1} \times 100 \quad (5)$$

2.4.4 Índice de atividade emulsificante (IAE) e estabilidade emulsificante (ESI)

O IAE foi determinado pelo método espectrofotométrico de Saricaoglu (2020), utilizando dispersões de 300 mg de isolado em 30 mL de água destilada (pH 7,0). Para a formação da emulsão, foram adicionados 10 mL de óleo de girassol e homogeneizados em ultra-turrax a 20.000 rpm por 1 min. Imediatamente após o preparo, 50 µL da emulsão foram diluídos em 12,5 mL de solução de SDS 0,1%, com leitura de absorbância a 500 nm. O cálculo do IAE está na a Equação 6, considerando: absorbância inicial (A_0), fator de diluição (N=250), proporção da fase óleo (θ=0,25), espessura da cubeta (L=0,01 m) e concentração proteica (C, g/mL).

$$IAE = \frac{2 \times 2{,}303 \times Ao \times N}{10000 \times \theta \times L \times C} \quad (6)$$

Após 10 min, outra parte da emulsão (50 µL) foi diluída em SDS a 0,1% e novamente a leitura da absorbância a 500 nm. Assim, a estabilidade da emulsão foi determinada de acordo com a Equação 7:

$$ESI = \frac{Ao}{(Ao - A10)}\, x\, t \quad (7)$$

2.4.5 Análise Estatística

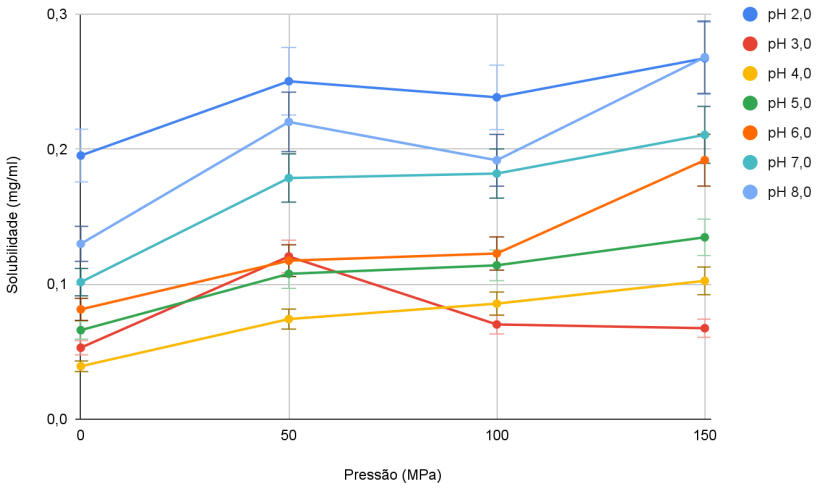
Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão e submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey ($p < 0{,}05$) para comparação de médias. Todas as análises serão realizadas no software R (versão 4.3.0, *The R Foundation for Statistical Computing, 2023)*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A solubilidade do isolado proteico de gergelim obteve um efeito positivo com o aumento da pressão, exceto por uma leve redução não significativa entre 50-100 MPa ($p>0{,}05$). A amostra tratada com 150 MPa obteve em média o melhor resultado em comparação com as demais pressões testadas, independente do pH utilizado. Esse efeito, relatado também por Saricaoglu (2020), deve-se à exposição de grupos hidrofílicos durante a homogeneização.

Diferentemente de outras proteínas vegetais, o isolado de gergelim manteve alta solubilidade mesmo a 150 MPa (87,78%), conforme Baskıncı e Gul (2023), graças à estabilidade das globulinas 11S e 7S do gergelim.

Figura 1 - Resultados análise solubilidade (mg/ml).

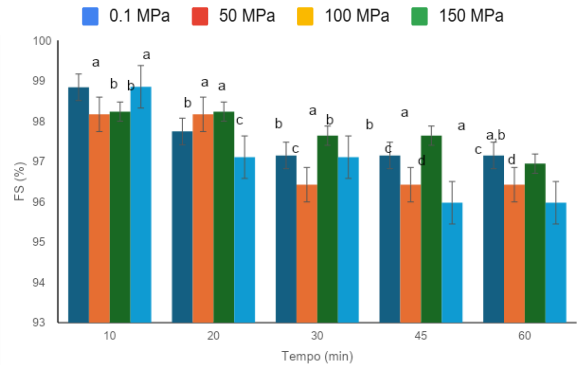


Com relação aos demais resultados, observa-se na Tabela 1 e na Figura 2 que o processamento por homogeneização de alta pressão (50–150 MPa) modificou significativamente as propriedades tecno-funcionais do isolado proteico de gergelim. A capacidade de retenção de água (CRA) obteve uma melhora significativa de 17,9% entre os processamentos a 0 MPa e 150 MPa, com o valor máximo sendo 1,993±0,189 g/g, devido ao desdobramento proteico e exposição de grupos hidrofílicos. Em contraste, a capacidade de retenção de óleo (CRO) foi máxima a 100 MPa (4,235 g/g), com redução a 150 MPa. A capacidade espumante (CE) foi maior a 50 MPa (63,333%), mas declinou drasticamente a 150 MPa (35%), indicando que pressões elevadas prejudicam a formação de espuma devido à desnaturação mecânica intensa. A atividade emulsificante (EAI) e a estabilidade da emulsão (ESI) também apresentaram picos a 100 MPa (29,2 m^2/g e 8,7 min, respectivamente), refletindo a otimização da interface proteína-óleo por meio de maior solubilidade (Saricaoglu, 2020; Baskıncı e Gul, 2023; D'Alessio *et al.* ,2023; Lu *et al.*, 2020; Stone *et al.*, 2015; Melchior *et al.*, 2022; Bahmanyar *et al.*, 2025).

Tabela 1 - Resultados propriedades tecno-funcionais do isolado proteico de gergelim após o processamento.

Propriedades	0 MPa	50 MPa	100 MPa	150 MPa
CRA (g/g)	1,636±0,187^{b}	1,666±0,105^{b}	1,697±0,035^{b}	1,993±0,189^{a}
CRO (g/g)	2,877±0,121^{b}	2,378±0,198^{b}	4,235±0,580^{a}	2,857±0,2497^{b}
CE (%)	46,667^{bc}	63,333^{a}	49,167^{b}	35^{c}
IEA (m^2/g)	16,393±1,144^{c}	11,954±0,592^{d}	29,183±0,292^{a}	23,494±0,725^{b}
ESI (min)	2,151±0,255^{d}	7,404±0,188^{b}	8,718±0,137^{a}	4,629±0,034^{c}

Figura 2 - Resultados análise estabilidade de espuma (min).



Com base na Figura 2, verifica-se que a aplicação de homogeneização em alta pressão influenciou positivamente a estabilidade da espuma, sendo a pressão de 50 MPa a que proporcionou os maiores valores ao longo de todo o intervalo avaliado. Pressões superiores, como 100 e 150 MPa, apresentaram tendência de queda na estabilidade com o tempo, o que pode estar relacionado à intensa desnaturação proteica e formação de agregados, que reduzem a capacidade das proteínas em manter a integridade da espuma (Sacarioglu, 2020).

4. CONCLUSÕES

A homogeneização de alta pressão mostrou-se eficaz na modificação das propriedades tecno-funcionais do isolado proteico de gergelim, promovendo melhorias significativas na solubilidade, capacidade de retenção de água e óleo, formação e estabilidade de espuma e emulsificação. Os efeitos observados foram dependentes da intensidade da pressão aplicada. A amostra processada à 100 MPa apresentou uma melhora para a maioria das funcionalidades. Esses resultados evidenciam o potencial do processamento por alta pressão como estratégia para agregar valor a subprodutos industriais e ampliar a aplicação de proteínas vegetais na formulação de alimentos. Além disso, demonstram que esse tipo de processamento permite a modulação seletiva de propriedades funcionais, de forma dependente da intensidade da pressão aplicada.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA BRASIL. (2021). No Brasil 14% da população se considera vegetariana (In Brazil, 14% of the population consider themselves to be vegetarians). Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-10/no-brasil-14-da-populacao-se-consideravegetariana. Acesso em: abr. 2024.

AIKING, H. Future protein supply. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 2-3, p. 112-120. mar. 2011.

BASKINCI, T.; GUL, O. Modifications to structural, techno-functional and rheological properties of sesame protein isolate by high pressure homogenization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 250, 2023.

BAHMANYAR, F. et al. Techno-functionality of pea protein isolate: Influence of ultrasound and high-pressure homogenization modification methods. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 116, 2025.

CALDERÓN-CHIU, C. *et al.* Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus Lam*) leaf as a new source to obtain protein hydrolysates: Physicochemical characterization, techno- functional properties and antioxidant capacity. **Food Hydrocolloids**, v. 112, 1 mar. 2021.

D'ALESSIO, G.; FLAMMINII, F.; FAIETA, M.; PRETE, R.; MICHELLE, A. D.; PITTIA, P.; MATTIA, C. D. D. High pressure homogenization to boost the technological functionality of native pea proteins. **Current Research in Food Science**. v. 6. 2023.

HOEHNEL, A.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. K. Targeted formulation of plant-based protein-foods: Supporting the food system's transformation in the context of human health, environmental sustainability and consumer trends. **Trends in food Science & Technology**, v. 128, p. 238-252 out. 2022.

LU, Z.X.; HE, J.F.; ZHANG, Y.C.; BING, D.J., 2020. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. In: **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Taylor and Francis Inc, pp. 2593–2605. Vol. 60, Issue 15.

OGUNWOLU, S. O. *et al.* Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale L.*) nut. **Food Chemistry**, v.115, n. 3, p. 852–858, 1 ago. 2009.

RODRIGUES, I. M.; COELHO, J. F. J.; CARVALHO, M. G. V. S. Isolation and valorisation of vegetable proteins from oilseed plants: Methods, limitations and potential. **Journal of Food Engineering** Elsevier Ltd, 2012.

SARICAOGLU, F. T. Application of high-pressure homogenization (HPH) to modify functional, structural and rheological properties of lentil (Lens culinaris) proteins. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 760–769, 1 fev. 2020.

SINGHARAJ, S.; ONSAARD, E. Production and characteristic of sesame proteins A R T I C L E I N F O A B S T R A C T. **Original Research Article Journal of Food Science and Agricultural Technology**, v. 1, n. 1, p. 188–192, 2015

STONE, A.K., KARALASH, A., Tyler, R.T., WARKENTIN, T.D., NICKERSON, M.T., 2015. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. **Food Res**. **Int**. 76 (P1), 31–38.