PROTEÍNAS VEGETAIS E GOMA XANTANA: IMPACTO NA DENSIDADE E A ESTABILIDADE DE ESPUMAS PARA SECAGEM

Mateus Ribeiro Barreto[1], Wallaf Costa Vimercati[2], Jhennifer Capichoni Zampilli[1], Rafaela Ferreira Goulart[1], Kamila Ferreira Chaves[1], Luciano José Quintão Teixeira[1]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Departamento de Engenharia de Alimentos, Alto Universitário, s/n, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, mateus.ribeir894@gmail.com, jhennifer.zampilli@edu.ufes.br, goulart.rafaela2004@gmail.com, kamila.chaves@ufes.br, luqteixeira@yahoo.com.br
[2]Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Nutrição/Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança - 78060-900-Cuiabá, MT, Brasil, wallafcosta@hotmail.com

Resumo
A secagem em leito de espuma é uma alternativa para secagem de alimentos termosensíveis, ocorrendo com a formação e estabilidade da espuma. Assim, é recorrente o uso de proteínas vegetais como espumantes e a goma xantana (GX) como estabilizante de espuma. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da proteína de soja (PS) e proteína de ervilha (PE), associadas a diferentes concentrações de GX, na densidade e estabilidade da espuma. Seis tratamentos foram avaliados, sendo compostos por 6% de PS ou PE, combinados com 0, 0,1 e 0,2% de GX. A adição de 0,2% de GX aumentou a densidade da espuma formada com PS ($p<0,05$), em relação às concentrações de 0 e 0,1%. Para a PE, a concentração de 0,2% de GX reduziu ($p<0,05$) em comparação aos tratamentos com 0 e 0,1%. A estabilidade das espumas foi influenciada apenas pela GX ($p<0,05$), sendo a maior estabilidade com 0,2% de GX. Os resultados demonstraram que a GX é eficiente para aumentar a estabilidade das espumas, enquanto seu efeito sobre a densidade depende do tipo de proteína.
Palavras-chave: secagem em leito de espuma. proteína de soja. proteína de ervilha.

Área do Conhecimento: Ciências da Saúde - Ciência e Tecnologia de Alimentos

Introdução

A secagem em leito de espuma é uma alternativa aos métodos convencionais de secagem, podendo favorecer maior eficiência na remoção de água devido ao aumento da área superficial do produto promovido pela incorporação de ar. Nesse processo, as propriedades da espuma são parâmetros fundamentais para garantir a eficiência da secagem, sendo influenciadas pelos agentes espumantes e estabilizantes empregados (Susanti *et al*., 2021).

As proteínas têm importância fundamental na formação e estabilização de espumas, visto que possuem facilidade para formar a interface ar-água e auxiliar na formação e estabilização de bolhas de ar (Andrade; Pazzini; Müller, 2026). Nesse contexto, as proteínas vegetais têm sido utilizadas de forma recorrente como agentes espumantes, como a proteína de soja (PS), proteína de ervilha (PE) e outras (Yang *et al*., 2024). A PS apresenta boas propriedades para a formação de espumas, como capacidade emulsificante, boa solubilidade e propriedades de gelificação, além de contribuir para a flexibilidade e mobilidade das moléculas na interface, favorecendo a estabilidade das espumas (Yu *et al*., 2021; Kong *et al*., 2025). Rohilla *et al*. (2022) verificaram que a utilização de 10% de PS na espuma de tamarillo resultou em menor densidade (0,69 g/mL) e maior expansão (50,31%).

A PE também tem sido utilizada nos processos de secagem com formação de espuma, podendo promover um aumento nas interações hidrofóbicas, proporcionando elevada flexibilidade e organização estrutural, fortalecendo a retenção de ar das espumas (Chang *et al.,* 2022). Shen *et al*. (2023) observaram que a utilização de 1,5% (p/v) de proteína isolada de ervilha proporcionou adequada

estabilidade da espuma na interface ar-água, evidenciando o potencial dessa proteína como agente espumante.

Além das proteínas, os polissacarídeos podem atuar como espessantes e estabilizantes na formação da espuma devido à sua natureza hidrofílica. Esses compostos podem auxiliar na redução do fluxo de água e aumentar a viscosidade e a viscoelasticidade das espumas, inibindo a drenagem da espuma (Zhang *et al*., 2024). Entre os polissacarídeos utilizados para essa finalidade, destaca-se a goma xantana (GX), que pode aumentar a viscosidade do sistema, favorecer a formação de uma estrutura mais estável e reduzir a coalescência das bolhas, contribuindo para a obtenção de espumas com estruturas menores e mais uniformes (He *et al*., 2023; Zhu *et al*., 2021). Li *et al*. (2026) demonstraram que a adição de GX reduziu significativamente a taxa de drenagem e os fenômenos de desestabilização, resultando em maior estabilidade do sistema espumoso.

Apesar do potencial individual das proteínas vegetais e da GX, são escassos os estudos que avaliam a associação de PS ou PE com GX e seus efeitos sobre as propriedades de formação e estabilidade de espumas destinadas à secagem em leito de espuma. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da utilização de PS e PE, associadas ou não à GX, sobre a densidade e a estabilidade das espumas, visando identificar combinações com maior potencial para aplicação no processo de secagem em leito de espuma.

Metodologia

A PS e GX foram doadas pela empresa Ingredion-SP, Brasil, e a PE foi adquirida em comércio local (Alegre-ES, Brasil). O experimento ocorreu com seis grupos, combinando o tipo de proteína (PS ou PE) com diferentes concentrações de GX (0%, 0,1% e 0,2%), sendo T1 (PS 6%), T2 (PS 6% + 0,1% de GX), T3 (PS 6% + 0,2% de GX), T4 (PE 6%), T5 (PE 6% + 0,1% de GX), e T6 (PE 6% + 0,2% de GX).

Para o preparo das formulações, os ingredientes foram pesados em balança analítica, nas quantidades correspondentes a cada tratamento. Após a mistura dos agentes, 100 mL de água destilada foram adicionados e a solução foi homogeneizada com auxílio do Ultra-Turrax (Fisatom, 713, 60 Hz, Brasil) a 3000 rpm por 15 minutos. Em seguida, as espumas foram colocadas em placas de Petri e foram avaliadas em relação à densidade (g/mL), pela relação entre a massa e o volume da amostra, determinada de acordo com Watharkar *et al*. (2021) como na Equação 1.

$$Densidade\ \ da\ \ espuma\ = \frac{g}{v}\ x\ 100 \quad (1)$$

Sendo a massa da espuma (g) e o volume da espuma (v) em mL.

A estabilidade das espumas foi avaliada após 60 minutos de repouso à 25 °C, conforme o procedimento citado por Araújo et al. (2022). Um volume inicial de espuma foi transferido para uma placa de petri, e as amostras permaneceram em repouso. Após, foi realizada a leitura do volume de líquido drenado e acumulado na parte inferior da proveta. A estabilidade foi estimada a partir da relação entre o volume inicial de espuma e o volume de líquido drenado, conforme a Equação 2.

$$Estabilidade\ \ da\ \ espuma\ \ (\%) = \frac{V_0 - V_d}{V_0}\ x\ 100 \quad (2)$$

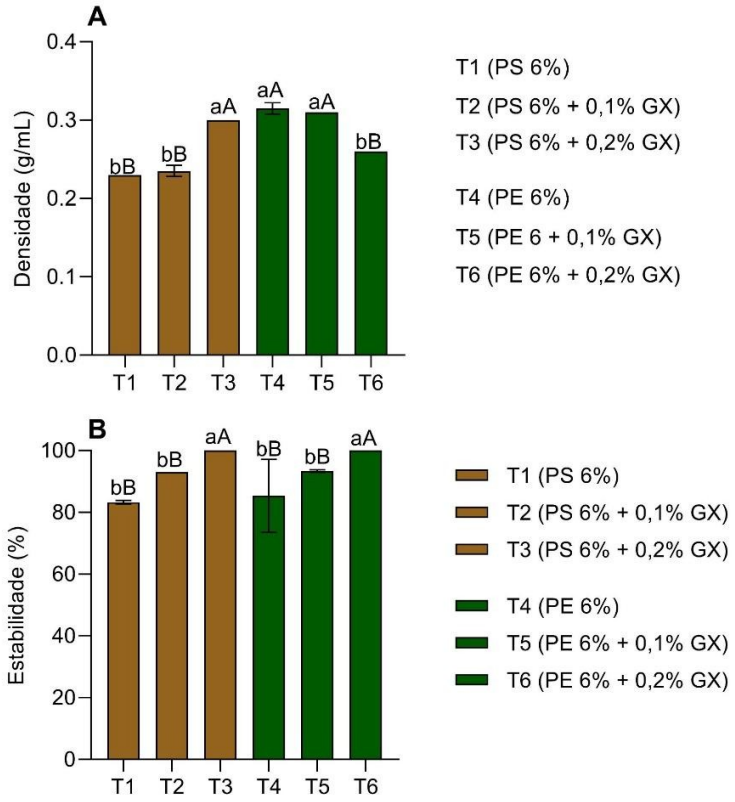
Sendo V_0 o volume inicial da espuma, e V_d o volume final drenado da espuma.

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, no esquema fatorial 2x3, sendo os fatores avaliados: tipo de proteína (PS e PE) e concentração de GX (0, 0,1 e 0,2%). Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA two-way), seguida de teste Tukey ($p<0,05$). O software utilizado para as análises estatísticas foi o software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA) e para a elaboração dos gráficos foi o programa Graphpad Prism 8.0.

Resultados

A Figura 1 apresenta os resultados referentes à densidade e estabilidade de espumas dos tratamentos. A densidade das espumas (Figura 1A) foi influenciada pelo tipo de proteína e concentração de GX ($p<0,05$). A adição de 0,1% de GX com 6% de PS (T2) não influenciou significativamente na densidade da espuma ($p>0,05$), comparada ao grupo sem adição de GX para a mesma proteína (T1) (letras maiúsculas). Em contrapartida, a adição de 0,2% de GX com 6% de PS (T3) evidenciou densidade significativamente superior aos tratamentos T1 e T2 ($p<0,05$) (letras maiúsculas). Os tratamentos com PE apresentaram apenas diferença significativa ($p<0,05$) em relação a maior concentração de GX (T6), com redução significativa da densidade quando comparada aos tratamentos T4 e T5 ($p<0,05$) (letras maiúsculas). Assim, ao contrário da PS, aumentar a concentração de GX para tratamentos com PE reduz a densidade.

Figura 1- Densidade e estabilidade da espuma.



Fonte: Próprio autor

Legenda: T1 (PS 6%), T2 (PS 6% + 0,1% de GX), T3 (PS 6% + 0,2% de GX), T4 (PE 6%), T5 (PE 6% + 0,1% de GX), e T6 (PE 6% + 0,2% de GX). As letras minúsculas comparam às PS e PE, referente às concentrações de GX. E as letras maiúsculas comparam as concentrações de GX, referente a cada tipo de proteína. PS, PE e GX, correspondem a proteína de soja, proteína de ervilha e goma xantana, respectivamente.

Em relação à estabilidade (Figura 1B), apenas as concentrações de GX evidenciaram influência significativa após análise de variância ($p<0,05$). Referente aos tratamentos que receberam a PS, pode-se observar que a maior concentração de GX (T3) apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos com menores concentrações de GX (T1 e T2) ($p<0,05$) (Letras maiúsculas). Já para os grupos com PE, o mesmo resultado foi identificado (Letras maiúsculas).

Discussão

Em relação à densidade dos tratamentos, concentrações de GX de 0 e 0,1% para PS proporcionaram os menores valores de densidade. Por outro lado, para o grupo com PE, a maior concentração de GX contribuiu para uma redução significativa da densidade. Menores valores de densidade podem proporcionar maior área de secagem, resultando em rápida remoção de água (Kilicli *et al*., 2023). Independentemente das concentrações de GX, a PS e PE evidenciaram densidades significativamente diferentes.

Thuy *et al*. (2022), verificaram que a densidade ótima da espuma foi de 0,25 g/mL com 0,25% de adição de GX, sendo próximo do valor de densidade encontrado no atual trabalho com os tratamentos T1, T2 e T6 com 0%, 0,1% e 0,2% de GX, respectivamente, e com concentrações menores comparado ao trabalho de Thuy *et al.* (2022). De forma semelhante, Thuy *et al.* (2024) observaram que 0,22% de GX promoveu uma densidade ótima de 0,227 g/mL. Assim, podemos observar resultados semelhantes em relação às concentrações de GX e seu efeito na densidade de espumas.

A estabilidade máxima encontrada, com ambos os tipos de proteínas, ocorreu com a adição de 0,2% de GX, superando a estabilidade encontrada no estudo de Othmeni, Karoui e Blecker (2024), onde as espumas do isolado de PE obtiveram estabilidade máxima de 94,25%. Ademais, a comparação entre os tipos de proteínas em cada concentração de GX não evidenciou diferenças significativas para a estabilidade, sendo observado que a maior adição de GX (0,2%) elevou a estabilidade das espumas, confirmando-se que apenas a GX foi o fator significativo para estabilidade. Nesse contexto, o aumento das concentrações de GX pode promover a redução do volume drenado, sendo capaz de aumentar a estabilidade em mais de 50 vezes por reduzir a fluidez da solução (Zhang *et al*., 2024; Ahmad *et al.*, 2021). Janpleng, Chottanom e Bunyatratchata (2026) verificaram que a adição de GX aumentou de forma significativa a densidade e a estabilidade, sendo de 0,26 g/mL e 100%, respectivamente.

As propriedades de estabilidade e densidade da espuma são parâmetros importantes a serem avaliados antes da secagem em leito de espuma, pois poderão influenciar a taxa de secagem, consumo energético, com consequente influência nas características do pó e retenção de compostos desejáveis (Elysia *et al.,* 2026; Izadi e*t al.,* 2020; Luft; Mazutti, 2025).

Conclusão

A adição da maior concentração de GX (0,2%) proporcionou um aumento da densidade para a PS e redução para a PE. Além disso, contribuiu para os maiores valores de estabilidade das espumas com PS e PE. Assim, a combinação de PE com 0,2% de GX apresenta potencial para formação de espuma mais estável e de menor densidade, características favoráveis à aplicação em processos de secagem em leito de espuma.

Referências

ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; CORRÊA, J. L. G.; PIMENTA, C. J. Valorization of spent coffee grounds: Encapsulation of bioactive compounds by different drying methods. **Drying Technology,** v. 40, n. 15, p. 3324–3339, 2022. DOI: 10.1080/07373937.2022.2027960. Acesso em: 12 ago. 2026.

AHMAD, M.; RITZOULIS, C.; CHEN, J.; MEIGUI, H.; BUSHRA, R.; JIN, Y.; XIAO, H. Xanthan gum−mucin complexation: Molecular interactions, thermodynamics, and rheological analysis. **Food Hydrocolloids,** v. 114, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106579. Acesso em: 12 ago. 2026.

CHANG, L.; LAN, Y.; BANDILLO, N.; OHM, J. B.; CHEN, B.; RAO. J. Plant proteins from green pea and chickpea: Extraction, fractionation, structural characterization and functional properties. **Food Hydrocolloids,** v. 123, p. 1–13, 2022. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.107165. Acesso em: 12 ago. 2026.

de ANDRADE, S. C.; PAZZZINI, I. A. E.; MÜLLER, C. M. O. Incorporation of plant proteins as foaming agents in the foam-mat drying method: Elucidated use in literature or lack of information?. **Food Measure,** v. 20, p. 3991–4007, 2026. DOI: 10.1007/s11694-025-04002-1. Acesso em: 12 ago. 2026.

ELYSIA, F. F.; ESTIASIH, T.; SEPTIANA, S.; AHMADI, K. Physicochemical characteristics of foam-mat dried powder from differently colored chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) flower with HMG-CoA reductase and α-glucosidase inhibitory activities. **Applied Food Research,** v. 6, n. 2, 2026. DOI: 10.1016/j.afres.2026.102425. Acesso em: 12 ago. 2026.

HE, J.; LIU, G.; SANG, G.; HE, J.; WU, Y. Investigation on foam stability of multi-component composite foaming agent. Investigation on foam stability of multi-component composite foaming agent. **Construction and Building Materials,** v. 391, 2023. DOI: 10.2139/ssrn.4371129. Acesso em: 12 ago. 2026.

IZADI, Z.; MOHEBBI, M.; SHAHIDI, F.; VARIDI, M.; SALAHI, M. R. Cheese powder production and characterization: A foam-mat drying approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 123, p. 225-237, 2020. DOI: 10.1016/j.fbp.2020.06.019. Acesso em: 12 ago. 2026.

Janpleng N, Chottanom P, Bunyatratchata A. Application of foam-mat drying technique in producing egg white powder and yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) powder: Potential and applications. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 38, p. 1-13, 2026. DOI: 10.3897/ejfa.2026.160692. Acesso em: 30 ago. 2026.

KONG, Y.; SUN, L.; XIE, Y.; KANG, Z.; ZHANG, S.; XIE, F. pH shift combined with high-pressure homogenisation induced remodelling of the air-water interface: Effect of structural and viscosity changes of soy protein isolate on interfacial properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 104, 2025. DOI: 10.1016/j.ifset.2025.104097. Acesso em: 12 ago. 2026.

KILICLI, M.; EROL, K. F.; TOKER, O. S.; TORNUK, F. Production of tomato powder from tomato puree with foam-mat drying using green pea aquafaba: drying parameters and bioaccessibility of bioactive compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 103, p. 3691-3700, 2023. DOI: 10.1002/jsfa.12273. Acesso em: 12 ago. 2026.

KALAMBE, S.; GUHE, S. Foam mat drying of perishable products: a critical review of process parameters, product quality, and sustainable prospects. **Sustainable Food Technology,** v. 4, n. 1, p. 133–152, 2026. DOI: 10.1039/d5fb00203f. Acesso em: 12 ago. 2026.

LI, D.; ZHANG, Y.; ZHANG, H.; LONG, Y.; CAO, Y.; WU, C.; XU, W. Study on the effect of xanthan gum on the foaming properties of rice bran protein and transglutaminase cross-linked rice bran protein. **LWT - Food Science and Technology,** v. 239, 2026. DOI: 10.1016/j.lwt.2025.118978. Acesso em: 12 ago. 2026.

LUFT, L.; MAZUTTI, M. A. Freeze and spray drying technologies to produce solid microbial formulations for sustainable agriculture. **Processes**, v. 13, n. 7, p. 2188, 2025. DOI: 10.3390/pr13072188. Acesso em: 12 ago. 2026.

OTHMENI, I.; KAROUI, R.; BLECKLER, C. Impact of pH on the structure, interfacial and foaming properties of pea protein isolate: Investigation of the structure – Function relationship. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 278, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.134818. Acesso em: 12 ago. 2026.

ROHILLA, S.; MAHANTA, C. L. Foam mat dried tamarillo powder: effect of foaming agents on drying kinetics, physicochemical and phytochemical properties. **Journal of Food Processing and Preservation,** v. 46, p. 1–17, 2022. DOI: 10.1111/jfpp.17164. Acesso em: 12 ago. 2026.

SUSANTI, D. Y.; SEDIAWAN, W. B.; FAHRURROZI, M.; HIDAYAT, M. Foam-mat drying in the encapsulation of red sorghum extract: Effects of xanthan gum addition on foam properties and drying kinetics. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences,** v. 20, n. 4, p. 270-279, 2021. DOI: 10.1016/j.jssas.2021.02.007. Acesso em: 12 ago. 2026.

THUY, N. M.; TIEN, V. Q.; TAI, V. N.; MINH. V. Q. Effect of Foaming Conditions on Foam Properties and Drying Behavior of Powder from Magenta (*Peristropheroxburghiana*) Leaves Extracts. **Horticulturae**, v. 8, n. 6, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae8060546. Acesso em: 25 ago. 2026.

THUY, N. M.; DUONG, L. T. T.; GIAU, T. N.; HAO, H. V.; MINH, V. Q.; TAI, N. V. Developing a novel artificial model to predict the foaming properties and β-carotene content of lucuma (*Pouteria lucuma*) during foam-mat drying and process optimization. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, 2024. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101460. Acesso em: 30 ago. 2026.

WATHARKAR, R. B.; CHAKRABORTY, S.; SRIVASTAV, P. P.; SRIVASTAVA, B. Foaming and foam mat drying characteristics of ripe banana [*Musa balbisiana* (BB)] pulp. **Journal of Food Process Engineering,** v. 44, n. 8, 2021. DOI: 10.1111/jfpe.13726. Acesso em: 10 ago. 2026.

YANG, Z.; GUO, Y.; ZENG, C.; SUN, F.; WANG, Z.; ZHANG, W. *et al*. Encapsulation and characterization of ω-3 medium- and long-chain triacylglycerols microencapsulated with different proteins as wall materials. **Food Chemistry: X,** v. 22, 2024. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101363. Acesso em: 12 ago. 2026.

YU, Z.; YANG, Y.; WANG, C.; SHI, G.; XIE, J.; GAO, B. *et al*. Nano-soy-protein microcapsule-enabled self-healing biopolyurethane-coated controlled-release fertilizer: preparation, performance, and mechanism. **Materials Today Chemistry,** v. 20, 2021. DOI: 10.1016/j.mtchem.2020.100413. Acesso em: 12 ago. 2026.

ZHANG, X.; WANG, Y.; LI, Z.; LI, Y.; QI, B. Effects of polysaccharide type on the structure, interface behavior, and foam properties of soybean protein isolate hydrolysate-polysaccharide Maillard conjugates. **Food Hydrocolloids,** v. 151, 2024. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.109801. Acesso em: 12 ago. 2026.

ZHU, J.; QIAN, Z.; EID, M.; ZHAN, F.; ISMAIL, M. A.; LI, J.; LI, B. Foaming and rheological properties of hydroxypropyl methylcellulose and welan gum composite system: The stabilizing mechanism. **Food Hydrocolloids**, v. 112, p. 106275, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106275. Acesso em: 12 ago. 2026.

ZHANG, P.; PAN, T.; MA, L.; LIU, B.; TIAN, S.; CHEN, X. Enhancing stability and odor control of water-based foam for pesticide site restoration using xanthan gum. **Process Safety and Environmental Protection,** v. 185, p. 660-669, 2024. DOI: 10.1016/j.psep.2024.03.038. Acesso em: 12 ago. 2026.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) - Código Financeiro 001, CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes nº 12/2024; Termos de outorga 420/2025) pelo apoio financeiro (bolsa de mestrado, bolsa de produtividade em pesquisa e recurso para pesquisa), e à UFES pela disponibilização da infraestrutura laboratorial. Ademais, os autores gostariam de expressar sua gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).