



Síntese e caracterização de nanopartículas à base de proteína de ervilha para encapsulação de bioativos

Gabriel Salvador | salvagabriel2@gmail.com¹

Ândrea de Jesus Zanoni | andreazanoni07@gmail.com²

Michael Ramos Nunes | michael.nunes@ifsc.edu.br³

Rosane Schenkel de Aquino | rosane.aquino@ifsc.edu.br⁴

Edital nº 03/2025/PROPPI – PIPCIT - IT

Trabalho de pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo: A crescente demanda por ingredientes funcionais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas nanoparticulados baseados em proteínas vegetais. Este trabalho investigou a preparação e a caracterização físico-química de nanopartículas obtidas pelo método de nanoprecipitação, empregando proteína isolada de ervilha (*Pisum sativum*) como agente estruturante e Pluronic como estabilizante estérico, com encapsulação de óleo essencial de laranja como composto bioativo lipofílico. As formulações foram caracterizadas por espalhamento dinâmico de luz (DLS), com determinação do diâmetro hidrodinâmico médio (Z-Average), índice de polidispersividade (PDI) e potencial zeta. A dispersão proteica (Controle) apresentou Z-Average de $201,87 \pm 2,29$ nm, PDI de $0,29 \pm 0,01$ e potencial zeta de $-17,33 \pm 0,63$ mV, indicando sistema nanométrico moderadamente monodisperso. A formulação contendo óleo de laranja resultou em partículas de $599,23 \pm 34,42$ nm, PDI de $0,61 \pm 0,05$ e potencial zeta de $-9,13 \pm 1,02$ mV. Os resultados evidenciam a formação de nanopartículas carregadas com o composto bioativo, com aumento expressivo de tamanho e polidispersividade em relação ao Controle, indicando necessidade de otimização do processo. O estudo contribui para o desenvolvimento de veículos proteicos de base vegetal para encapsulação de bioativos lipofílicos de interesse alimentar e farmacêutico.

Palavras-chave: nanoencapsulação; óleo essencial; nanoprecipitação; espalhamento dinâmico de luz.

Introdução

O emprego de sistemas nanoparticulados para a proteção e a liberação controlada de compostos bioativos representa uma das fronteiras mais promissoras da ciência. Compostos lipofílicos de alto valor biológico, como os óleos essenciais cítricos, apresentam

¹ Estudante do curso Engenharia Química do IFSC – Câmpus Lages.

² Estudante do curso Engenharia Química do IFSC – Câmpus Lages.

³ Servidor Docente do IFSC – Câmpus Lages.

⁴ Servidor Docente do IFSC – Câmpus Lages.

potencial antimicrobiano, antioxidante e anti-inflamatório amplamente documentado. Contudo, sua aplicação direta em formulações alimentares é limitada pela elevada volatilidade, fotossensibilidade, susceptibilidade à oxidação e baixa miscibilidade em meios aquosos (OPREA et al., 2022). A nanoencapsulação surge como estratégia capaz de superar essas limitações, conferindo ao bioativo maior estabilidade físico-química e vida útil prolongada.

As proteínas vegetais têm ganhado notoriedade como materiais de parede em substituição às proteínas animais, em resposta à demanda por ingredientes sustentáveis e dietas plant-based. O isolado proteico de ervilha (*Pisum sativum*) destaca-se por sua capacidade emulsificante, solubilidade em ampla faixa de pH e baixo potencial alergênico (HARASYM; PAROÑ; PEJCZ, 2025). Suas frações globulínicas conferem caráter anfifílico à proteína, viabilizando sua adsorção em interfaces hidrofóbicas e a formação de filmes interfaciais estabilizantes (OLSMATS; RENNIE, 2024).

O método de nanoprecipitação, ou deslocamento de solvente, destaca-se pela simplicidade operacional e ausência de elevado aporte energético (HAN et al., 2023). A incorporação de copolímeros como o Pluronic confere estabilização estérica complementar, contribuindo para a manutenção da dispersão mesmo em condições de baixo potencial zeta (PRIETO; LAGARON, 2024). Este trabalho objetivou produzir e caracterizar nanopartículas à base de proteína de ervilha e Pluronic para encapsulação de óleo essencial de laranja, avaliando parâmetros físico-químicos obtidos por espalhamento dinâmico de luz (DLS).

Fundamentação teórica

A nanoprecipitação baseia-se na difusão de um solvente miscível em água para uma fase aquosa contendo estabilizantes. Ao entrar em contato com o não-solvente, a solubilidade do material encapsulante diminui, ocorrendo a nucleação por automontagem. A presença de estabilizantes estéricos controla o crescimento das partículas e previne a coalescência (HAN et al., 2023). O Pluronic (copolímero PEO-PPO-PEO) atua formando uma barreira física que inibe a agregação. Em sistemas com baixo potencial zeta, essa estabilização estérica é o mecanismo predominante para evitar o colapso do sistema coloidal (PRIETO; LAGARON, 2024).

O espalhamento dinâmico de luz (DLS) é a técnica de referência para determinar o tamanho médio das partículas (*Z-Average*) e, a distribuição de tamanho de partículas ou índice de polidispersão (PDI) a partir do movimento Browniano das partículas (BHATTACHARJEE, 2016). O PDI quantifica a homogeneidade: valores abaixo de 0,2 indicam sistemas monodispersos; entre 0,2 e 0,5 refletem distribuição moderada; e acima de 0,5 caracterizam sistemas polidispersos (DANAEI et al., 2018). O potencial Zeta expressa a carga elétrica na camada difusa. Valores de Zeta $> \pm 30$ mV indicam estabilidade eletrostática, mas em sistemas estabilizados estericamente, a estabilidade pode ser mantida mesmo com valores próximos a zero (BHATTACHARJEE, 2016).

Procedimentos metodológicos

A síntese foi realizada pelo método de nanoprecipitação. Para a amostra "Controle", foram preparadas as soluções: (i) 0,5 g de proteína de ervilha em 50 mL de água deionizada; e (ii) 0,45 g de Pluronic em 30 mL de água deionizada. Após homogeneização e combinação das fases aquosas (80 mL totais), adicionou-se 30 mL de etanol (P.A.) sob agitação em ultraturrax a 10.000 rpm.

Para a formulação com "Óleo de Laranja", a fase aquosa foi preparada de forma idêntica. A fase orgânica consistiu na solubilização de 750 μ L de óleo essencial de laranja em 30 mL de etanol (P.A.). Esta fase foi vertida sobre a fase aquosa sob agitação de 10.000 rpm por 3 minutos em ultraturrax, promovendo a formação das nanopartículas por efeito de supersaturação local. As dispersões foram analisadas em equipamento Zetasizer (Malvern Panalytical) a 25 °C, com três leituras independentes.

Resultados e discussões

A comparação direta entre os dados revela que a incorporação do óleo de laranja promoveu alterações estruturais drásticas no sistema coloidal, evidenciadas pelo triplo aumento do diâmetro hidrodinâmico médio de 201,87 nm para 599,23 nm e, pela redução significativa, em módulo, do potencial zeta de $-17,33$ mV para $-9,13$ mV. Conforme observado na Tabela 1, o incremento do Índice de Polidispersão (PDI) de 0,29 para 0,61 sinaliza uma transição de um sistema moderadamente monodisperso para uma dispersão altamente polidispersa. Esse comportamento sugere que a fase lipofílica não apenas

expande o núcleo das partículas para acomodar o bioativo, mas também induz uma reorientação molecular na interface que blinda as cargas parciais da proteína de ervilha, reduzindo a repulsão eletrostática.

Tabela 1 – Parâmetros de caracterização físico-química por DLS das formulações estudadas

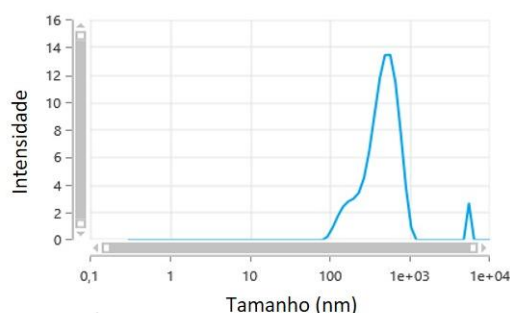
Amostra	Z-Average (nm)	PDI	Potencial Zeta (mV)
Branco	201,87 ± 2,29	0,29 ± 0,01	-17,33 ± 0,63
Óleo de Laranja	599,23 ± 34,42	0,61 ± 0,05	-9,13 ± 1,02

Fonte: elaborada pelos autores.

A morfologia da dispersão carregada com o composto bioativo é detalhada na Figura 1, onde o perfil de distribuição de tamanho por intensidade revela um pico consideravelmente alargado e deslocado para a região de maiores diâmetros. Conforme ilustrado no histograma da Figura 1, a presença de populações heterogêneas é um indicativo de que a nanoprecipitação, sob as condições de baixa energia empregadas, resultou em gotículas com raios de curvatura distintos.

Do ponto de vista termodinâmico, essa polidispersividade visualizada na Figura 1 atua como força motriz para o fenômeno de Ostwald Ripening, no qual o gradiente de pressão de Laplace favorece a difusão do bioativo das partículas menores para as maiores (OPREA et al., 2022). Esse perfil alargado reforça a hipótese de que a estabilidade do sistema carregado depende da formação de um filme interfacial viscoelástico robusto, capaz de atuar como barreira mecânica à difusão do óleo.

Figura 1 – Distribuição de tamanho de partícula (DLS) da formulação Óleo de Laranja.

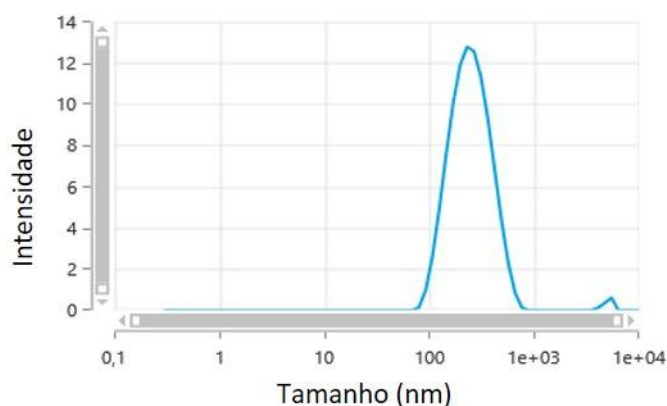


Fonte: dados dos autores.

Em contrapartida, o perfil de distribuição da amostra controle (Controle), apresentado na Figura 2, exibe um pico estreito e bem definido centrado na zona de 200 nm, o que confirma a formação de agregados proteicos uniformes por automontagem. A análise visual da Figura 2 demonstra que, na ausência da fase orgânica lipofílica, a interação entre a proteína de ervilha e o Pluronic favorece a estruturação de nanocarreadores significativamente mais homogêneos.

Embora o potencial zeta do Controle seja inferior ao limiar de estabilidade eletrostática pura, a integridade da dispersão evidenciada na Figura 2 é assegurada pelo impedimento estérico conferido pelas cadeias poliméricas do Pluronic projetadas no solvente. Assim, a comparação entre os perfis das figuras ratifica que, enquanto o Controle representa um sistema estrutural de referência estável, a incorporação do óleo de laranja introduz complexidades interfaciais que demandam a ação preponderante da estabilização estérica para mitigar a coalescência imediata (PRIETO; LAGARON, 2024).

Figura 2 – Distribuição de tamanho de partícula (DLS) da dispersão Controle.



Fonte: dados dos autores.

Considerações finais

Os resultados demonstraram que o método de nanoprecipitação é eficaz para produzir nanopartículas à base de proteína de ervilha. A incorporação do óleo de laranja promoveu a formação de partículas carregadas de maior diâmetro, cuja estabilidade coloidal depende majoritariamente da estabilização estérica do Pluronic. O uso de proteínas vegetais reforça o alinhamento com os princípios de sustentabilidade e demanda por



produtos naturais e sustentáveis. Investigações futuras devem focar na eficiência de encapsulação e na estabilidade térmica do sistema para aplicações industriais.

Referência ao fomento recebido

Os autores agradecem ao IFSC por meio do Edital nº 03/2025/PROPPI – PIPCIT – IT pela bolsa de Iniciação Tecnológica concedida, e ao FINEP CHAMADA PÚBLICA MCTI/FINEP/FNDCT/Ação Transversal/CT Agro 01/2024 pelo apoio financeiro concedido.

Referências

- BHATTACHARJEE, S. DLS and zeta potential – What they are and what they are not? **Journal of Controlled Release**, v. 235, p. 337–351, 2016.
- CHENG, J. et al. Fabrication, characterization, and application of pea protein-based edible film enhanced by oregano essential oil micro- or nano-emulsion. **Current Research in Food Sciences**, v. 8, p. 100705, 2024.
- DANAEI, M. et al. Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. **Pharmaceutics**, v. 10, n. 2, p. 57, 2018.
- HAN, M. et al. Research progress of protein-based bioactive substance nanoparticles. **Foods**, v. 12, n. 16, p. 2999, 2023.
- HARASYM, J.; PARÓN, O.; PEJCZ, E. Pea Protein Isolates: From Extraction to Functionality. **Molecules**, v. 30, n. 23, p. 4650, 2025.
- OLSMATS, E.; RENNIE, A. R. Pea Protein (*Pisum sativum*) as Stabilizer for Oil/Water Emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 326, p. 103123, 2024.
- OPREA, I. et al. Nano-Encapsulation of Citrus Essential Oils: Methods and Applications of Interest for the Food Sector. **Polymers**, v. 14, n. 21, p. 4505, 2022.
- PRIETO, C.; LAGARON, J. M. Nanoencapsulation and Nanocoating of Bioactives of Application Interest in Food, Nutraceuticals and Pharma. **Nanomaterials**, v. 14, n. 3, p. 313, 2024.