



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXVIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2024**

FILMES ANTIOXIDANTES À BASE ALGINATO DE SÓDIO **INCORPORADOS COM CATEQUINA NANOENCAPSULADA**

Adriane Santana Bomfim¹; Esther Emily Silva Freitas²; Alessandro Branco³;
Renato Souza Cruz⁴, Geany Peruch Camilloto⁵

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: adrianesantanabomfim@yahoo.com.br
2. Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: esther.silfre@hotmail.com
3. Colaborador, Departamento de Saúde, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: branco@uefs.br
4. Colaborador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: cruz.rs@uefs.br
5. Orientadora, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: geanyperuch@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Nanotecnologia, embalagem ativa, nanoencapsulação.

INTRODUÇÃO

Embalagem ativa é um sistema no qual a embalagem é modificada para manter ou melhorar aspectos sensoriais, de qualidade e segurança dos alimentos (Robertson, 2013). A incorporação de vitaminas, probióticos, minerais, aminoácidos e outros compostos bioativos na estrutura das embalagens podem aumentar benefícios à saúde e aprimorar a funcionalidade de embalagens ativas de alimentos (Mirzaei-Mohkam et al., 2020).

Os flavonoides constituem uma classe relevante de metabólitos secundários amplamente distribuídos em plantas, conhecidos por suas propriedades antioxidantes. Sua atividade antioxidante está associada à capacidade de sequestrar radicais livres e reduzir íons metálicos, o que os torna promissores para aplicação na indústria alimentícia. Esses compostos podem atuar na proteção dos alimentos contra a peroxidação lipídica, contribuindo para a preservação da qualidade e estabilidade dos produtos alimentares (Santos e Rodrigues, 2017; Liu et al., 2021).

Devido à sensibilidade de certos compostos bioativos, a nanoencapsulação tem sido amplamente utilizada para aumentar a estabilidade física desses ingredientes e protegê-los de reações destrutivas com outros componentes alimentares. A nanoencapsulação consiste no aprisionamento de moléculas no núcleo de cápsulas com dimensões nanométricas, o que contribui para o aumento da bioatividade, além de melhorar a solubilidade e biodisponibilidade dos compostos, devido à maior área superficial proporcionada pelos nanocarreadores. As nanocápsulas também oferecem benefícios adicionais, como a proteção das substâncias contra condições adversas (luz, umidade e oxigênio) e a melhoria da liberação controlada dos compostos encapsulados (Donsì et al., 2011; Meliana et al., 2017; Mathew et al., 2005).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da incorporação de catequina, tanto em sua forma livre quanto nanoencapsulada, nas propriedades de filmes à base de alginato de sódio, com o intuito de desenvolver uma embalagem ativa com propriedades antioxidantes adequadas para aplicação em alimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

As nanocápsulas de catequina foram produzidas utilizando-se o método deposição interfacial do polímero pré-formado, ou nanoprecipitação (Mirzaei-Mohkam et al., 2020). A caracterização das nanocápsulas foi feita a partir da análise de tamanho utilizando a técnica de espalhamento dinâmico da luz, Índice de Polidispersão e Potencial Zeta (Nanosizer[®] ZS – Malvern Instruments), e, a eficiência de encapsulação foi calculada de maneira indireta, utilizando-se a técnica de ultrafiltração, onde se quantificou o teor de catequina não encapsulada, a fim de estimar o teor nanoencapsulado.

Filmes à base de alginato de sódio incorporados com 1% de catequina na forma livre (FCL) e nanoencapsulada (FCN) foram produzidos pela técnica “casting”. Filme sem catequina foi utilizado como controle (FCont). Os filmes foram caracterizados quanto às propriedades físicas, mecânicas e ópticas, bem como em relação a sua atividade antioxidante. As propriedades mecânicas e a permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes foram determinadas utilizando-se as metodologias de ASTM D 882-09 e ASTM E 96-00, respectivamente. A avaliação das propriedades ópticas dos filmes foi realizada por meio da determinação da cor, transparência e porcentagem de transmissão de luz (Rangaraj et al., 2021). A atividade antioxidante das nanocápsulas e dos filmes foi avaliada por meio do método de captura de radicais livres (DPPH e ABTS), bem como pela capacidade de redução de íons metálicos utilizando o método FRAP seguindo as metodologias descritas por Xu et al. (2020), Yin et al. (2019) e Rumpf et al. (2023). Os resultados foram expressos em μmol Trolox equivalente (TE)/mg de catequina ou g de filme.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção das nanocápsulas de policaprolactona carregadas com catequina mostrou resultados consistentes e satisfatórios. As nanocápsulas de policaprolactona contendo catequina apresentaram um satisfatório tamanho médio de $154,43 \pm 3,41$ nm. O índice de polidispersividade foi $0,092 \pm 0,012$ mostrando uma distribuição de tamanho de partículas estreito similar ao encontrado em estudos com nanocápsulas de outros compostos bioativos (Meliana et al., 2017). O potencial Zeta foi de $-31,78 \pm 2,38$ mV o que indica que as partículas estão fortemente carregadas, garantindo maior estabilidade da dispersão coloidal uma vez que previne a agregação devido à força de repulsão (Mirzaei-Mohkam et al., 2020). A eficiência de encapsulação foi de $59,62 \pm 4,94\%$ sugerindo boa eficiência e revelando que houve sucesso na nanoencapsulação da catequina, similar ao resultado encontrado por Kumar et al. (2015).

A atividade antioxidante da catequina nanoencapsulada pelos três métodos testados está reportada na Tabela 1. Os resultados demonstram que a nanoencapsulação preserva a atividade antioxidante da catequina, em concordância com estudos anteriores que demonstraram atividade antioxidante da catequina livre (Santos e Rodrigues, 2017; Xu et al., 2020).

Tabela 1 - Atividade antioxidante das nanocápsulas de catequina pelos métodos de captura de radicais livres (DPPH e ABTS) e redução de íons metálicos (FRAP).

Amostra	DPPH	ABTS	FRAP
	(μmol TE/mg de catequina)		
Catequina Nanoencapsulada	7,64 ± 0,03	15,28 ± 1,50	6,82 ± 1,56

Os de filmes à base de alginato de sódio incorporados com catequina livre e nanoencapsulada apresentaram-se contínuos, íntegros, maleáveis e de fácil manuseio. A espessura média dos filmes foi de 34,85 ± 7,84 μm. A incorporação da catequina, tanto na forma livre quanto nanoencapsulada, não alterou significativamente ($p > 0,05$) a permeabilidade ao vapor de água (5,51 ± 0,68 g.mm/m².dia.kPa), a resistência máxima à tração (38,05 ± 7,92 MPa) e a porcentagem de alongamento (20,89 ± 5,03%) dos filmes, indicando que a catequina não modificou a estrutura dos filmes. Contudo, a presença de catequina livre e nanoencapsulada teve um efeito notável nas propriedades ópticas dos filmes, afetando parâmetros como cor, transparência e transmissão de luz ($p < 0,05$). Os filmes com catequina (FCL e FCN) apresentaram menores luminosidade (L^*), transparência e transmitância na região ultravioleta, indicando maior fotoproteção, em comparação ao filme controle (FCont). Em relação às coordenadas de cor a^* e b^* , o FCL apresentou uma tendência para a coloração vermelho e azul, enquanto FCN mostrou uma coloração tendendo para verde e amarelo (Tabela 2).

Tabela 2 - Propriedades ópticas dos filmes incorporados com catequina livre e nanoencapsulada.

Filmes	L^*	a^*	b^*	Transparência (Abs _{600nm} .mm ⁻¹)	Transmissão da luz à 280 nm (%)
FCont	90,90 ± 0,10 ^a	1,38 ± 0,01 ^b	-3,05 ± 0,08 ^c	1,29 ± 0,19 ^b	65,11 ± 3,21 ^a
FCL	88,87 ± 0,15 ^c	2,67 ± 0,10 ^a	-1,46 ± 0,42 ^b	1,53 ± 0,04 ^{a,b}	19,60 ± 2,04 ^b
FCN	89,22 ± 0,14 ^b	0,91 ± 0,04 ^c	2,41 ± 0,36 ^a	1,85 ± 0,18 ^a	14,52 ± 2,36 ^b

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste.

** FCont: Filme controle, FCL: filme incorporado com catequina livre, FCN: filme incorporado com catequina nanoencapsulada.

Os filmes incorporados com as nanocápsulas de catequina demonstraram maior capacidade antioxidante ($p < 0,05$) para os três métodos (DPPH, ABTS e FRAP) quando comparados com os filmes incorporados com catequina livre e controle (Tabela 3). Estes resultados indicam que a nanoencapsulação potencializou sua capacidade antioxidante da catequina, tornando-a mais eficaz em aplicações onde a atividade antioxidante é desejada.

Tabela 3 - A atividade antioxidante dos filmes pelos métodos de captura de radicais livres (DPPH e ABTS) e de redução do ferro (FRAP).

Filmes	DPPH	ABTS	FRAP
	μmol TE/g de filme		
FCont	nd	14,17 ± 0,99 ^c	nd
FCL	30,35 ± 1,21 ^b	96,08 ± 4,94 ^b	20,98 ± 0,98 ^b
FCN	45,53 ± 2,17 ^a	113,31 ± 6,75 ^a	34,75 ± 4,48 ^a

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste.

** FCont: Filme controle, FCL: filme incorporado com catequina livre, FCN: filme incorporado com catequina nanoencapsulada.

*** nd: não detectado

CONCLUSÃO

Os resultados do estudo mostram que a nanoencapsulação de catequina em nanopartículas de policaprolactona foi eficiente, gerando partículas estáveis com boa

atividade antioxidante. Quando incorporadas em filmes de alginato, a catequina nanoencapsulada manteve as propriedades de barreira e mecânicas dos filmes e aumentou a atividade antioxidante dos filmes, sugerindo seu potencial para uso em embalagens ativas, especialmente para produtos fotossensíveis.

REFERÊNCIAS

- ASTM – AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting**. D 882- 09. Philadelphia: ASTM, 2009, 10 p.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for water vapor transmission of materials**. E 96-00. Philadelphia: ASTM, 2000, 9 p.
- DONSI, F.; ANNUNZIATA, M.; SESSA, M.; FERRARI, G. Nano encapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1908–1914, 2011.
- KUMAR, V. D.; VERMA, P. R. P.; SINGH, S. K. Development and evaluation of biodegradable polymeric nanoparticles for the effective delivery of quercetin using a quality by design approach. **LWT-Food Science and Technology**, v. 61, p. 330-338, 2015.
- LIU, W.; FENG, Y.; YU, S.; FAN, Z.; LI, X.; LI, J.; YIN, H. The flavonoid biosynthesis network in plants. **International Journal of Molecular Science**, v. 22, 12824, 2021.
- MATHEW, A.P.; OKSMAN, K.; SAIN, M. Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC), **Journal of Applied Polymer Science**, v. 97, n. 5, p. 2014–2025, 2005.
- MELIANA, Y., HARMAMI, S.B.; RESTU, W.K. Characterization of nanoencapsulated centella asiatica and zingiber officinale extract using combination of maltodextrin and gum Arabic as matrix. **IOP Conference Series Materials Science and Engineering**, v. 172, 012065, 2017.
- MIRZAEI-MOHKAM, A.; GARAVAND, F.; DEHNAD, D.; KERAMAT, J.; NASIRPOUR, A. Physical, mechanical, thermal and structural characteristics of nanoencapsulated vitamin E loaded carboxymethyl cellulose films. **Progress in Organic Coatings**, v. 138, 105383, 2020.
- RANGARAJ, V. M.; RAMBABU, K.; BANAT, F.; MITTAL, V. Effect of date fruit waste extract as an antioxidant additive on the properties of active gelatin films. **Food chemistry**, v. 355, 129631, 2021.
- ROBERTSON, G. L. Food Packaging: Principles and Practice. **CRC Press**, 2013. 703 P.
- RUMPF, J.; BURGER, R.; SCHULZE, M. Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 233, 123470, 2023.
- SANTOS, D. S.; RODRIGUES, M. M. F. Atividades farmacológicas dos flavonoides: um estudo de revisão. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 7, n. 3, p. 29-35, 2017.
- XU, M., SHEN, C., ZHENG, H., XU, Y., XUE, C., ZHU, B., & HU, J. Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. **Food Research International**, v. 130, p. 108915, 2020.
- YIN, P., YANG, L., LI, K., FAN, H., XUE, Q., LI, X., ... E LIU, Y. Bioactive components and antioxidant activities of oak cup crude extract and its four partially purified fractions by HPD-100 macroporous resin chromatography. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12 p. 249-261, 2019.