

AMIDOS NATIVOS COMO BIOPOLÍMEROS PROMISSORES PARA ELECTROSPRAYING

JULIANI BUCHVEITZ PIRES¹; ESTEFANIA JULIA DIERINGS DE SOUZA²; LAURA MARTINS FONSECA³; ELESSANDRA DA ROSA ZAVAREZE⁴; ALVARO RENATO GUERRA DIAS⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – juliani_97@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – estefaniajulia.dierings@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – laura_mfonseca@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – elessandrad@yahoo.com.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – alvaro.guerradias@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Electrospinning e *electrospraying* são processos eletrohidrodinâmicos capazes de produzir materiais em escalas nano ou micrométricas, abrangendo diversas aplicações e gerando materiais multifuncionais de uma maneira simples e econômica (ALP-ERBAY, 2022). A principal diferença entre as duas técnicas, que utilizam o mesmo sistema para produção de fibras (*electrospinning*) ou cápsulas (*electrospraying*), reside na concentração de polímero nas soluções poliméricas utilizadas. Essa concentração é o fator determinante para o tipo de material produzido, sendo ele fibras ou cápsulas (LIM et al., 2019; PIRES et al., 2022). De modo geral, soluções com concentrações mais elevadas de polímero resultam na formação de fibras, enquanto soluções menos concentradas levam à produção de cápsulas (PIRES et al., 2022).

Entre os diversos biopolímeros utilizados na produção de materiais, o amido é uma opção promissora (LIM et al., 2019). Embora os amidos nativos apresentem algumas limitações, como sua natureza predominantemente hidrofílica, são amplamente disponíveis em tecidos vegetais, como grãos, raízes e tubérculos. Além disso, são de baixo custo, atóxicos, biodegradáveis e biocompatíveis (CRUZ et al., 2023; SOUZA et al., 2021; KONG & ZIEGLER, 2014).

O uso de amidos nativos no encapsulamento e proteção de compostos bioativos já foi descrito na literatura com resultados promissores. Um exemplo é o estudo de PIRES et al. (2022) que demonstrou o sucesso no encapsulamento de curcumina em fibras e cápsulas utilizando amido nativo de batata como material polimérico. No entanto, o uso de amidos nativos na produção de cápsulas por *electrospraying* ainda é um desafio, embora já tenha sido mais explorado em estudos utilizando a técnica de *electrospinning*. Para superar essas limitações, modificações químicas, físicas e enzimáticas ainda são frequentemente aplicadas a fim de obter as características necessárias para a produção de cápsulas por *electrospraying* (LIU et al., 2017). Contudo, essas modificações aumentam os custos de produção e mão de obra no processo.

Até o momento, há apenas duas pesquisas relatando o uso de amidos nativos para esta finalidade. O primeiro, de PIRES et al. (2022) descreve a utilização de amido de batata nativo para encapsular curcumina. O segundo, de GHAEB et al. (2015), aborda o uso de amido de milho e seus constituintes, amilose e amilopectina, para produzir cápsulas com tamanho médio de cerca de 100 nm, avaliando diferentes condições de processo e concentrações de polímero.

Portanto, o presente estudo busca expandir a compreensão sobre a utilização de diferentes fontes de amidos nativos no processo de *electrospraying*, avaliando seus efeitos na morfologia, distribuição de tamanho e rendimento das cápsulas produzidas.

2. METODOLOGIA

Materiais: A mandioca (*Manihot esculenta*) e a batata doce branca utilizadas para extração de amido, foram adquiridos na cidade de Pelotas (Brasil), assim como o amido de milho comercial (Maizena®, LOT: 68D, São Paulo, SP, Brasil). O trigo ('BRS Marcante') (*Triticum aestivum* L.), utilizado para extração de amido, foi fornecido pela Embrapa Trigo (Passo Fundo, RS, Brasil). Reagente ácido fórmico (85% de pureza, Dynamic, CAS 64 - 18 - 6) e água ultrapura (obtida pelo sistema Milli-Q®, Merck) foram utilizados no preparo das soluções poliméricas.

Preparo das soluções poliméricas para electrospraying: Soluções poliméricas de amidos de mandioca, milho, trigo e batata doce foram preparadas separadamente na concentração de 7% (p/v) em ácido fórmico a 75% (v/v, em água ultrapura) e agitadas em agitador magnético (Velp Científica, Multistirrer 6, Itália) por 24 h.

Processo de electrospraying: As cápsulas foram produzidas utilizando uma estação de *electrospraying* horizontal. Soluções poliméricas de cada amido foram adicionadas individualmente em seringas de 3 mL conectadas a uma agulha de aço inoxidável de 0,8 mm de diâmetro, inseridas em uma bomba de infusão (KD Scientific, Modelo 100, Holliston, EUA) com uma vazão de 0,60 mL/h. Um coletor de aço inoxidável coberto com papel alumínio foi posicionado a 15 cm de distância da ponta da agulha para deposição das cápsulas. A produção foi realizada utilizando uma fonte de alta tensão (Faíscas, Porto Alegre, RS, Brasil) ajustada para 23 kV. A umidade relativa foi mantida em $30 \pm 5\%$ com auxílio de desumidificador, e a temperatura ambiente controlada de 24 ± 2 °C por ar condicionado (Electrolux, Brasil).

Rendimento de produção de cápsulas: O rendimento foi calculado pesando a seringa plástica contendo a solução polimérica juntamente com a agulha antes e depois da coleta, assim como a folha de alumínio usada para coletar as cápsulas. O rendimento (%) foi determinado pela Equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = ((A-B) / ((C-D) \times E)) \times 100 \quad (1)$$

Onde: "A" é o peso (g) da folha de alumínio após a coleta; "B" é o peso (g) da folha de alumínio antes da coleta; "C" é o peso (g) da seringa + agulha contendo a solução polimérica antes da coleta; "D" é o peso (g) da seringa + agulha contendo a solução polimérica após a coleta, e "E" representa a concentração de polímero em cada solução polimérica.

Morfologia e distribuição de tamanho das cápsulas: A morfologia das cápsulas foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV, Jeol, JSM – 6610LV, EUA). A partir das micrografias foram determinados os diâmetros médios e desvio padrão, realizando a medição de trezentas cápsulas ao longo de pelo menos três imagens MEV utilizando o software ImageJ (versão 2015).

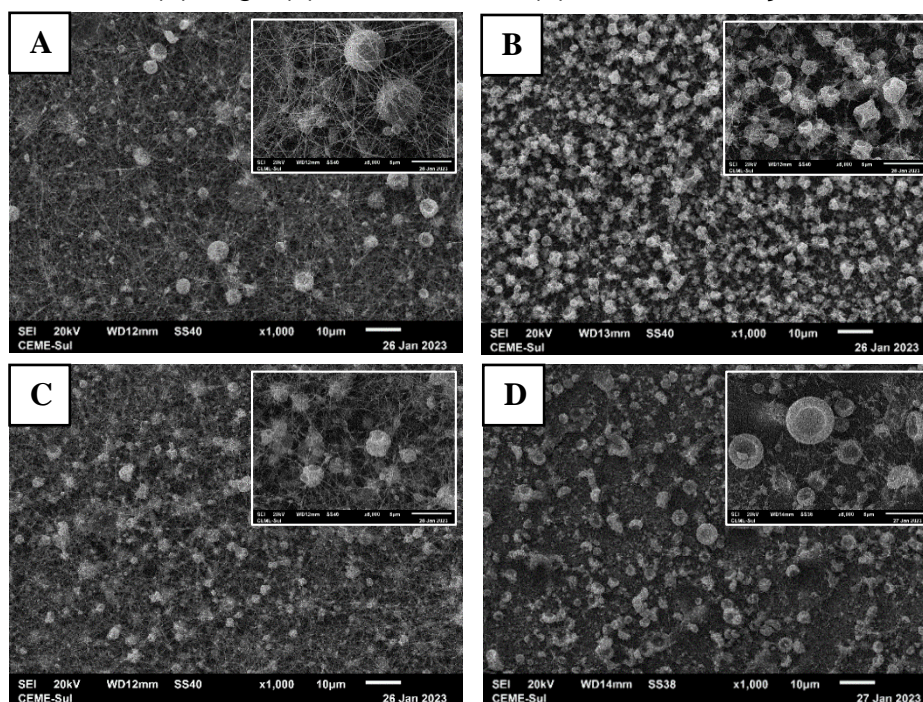
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cápsulas dos amidos de mandioca, milho, trigo e batata doce apresentaram rendimento de produção de $37,1 \pm 0,4\%$; $26,5 \pm 1,0\%$; $29,0 \pm 0,5\%$ e $23,7 \pm 2,3\%$, respectivamente. Apesar de ainda pouco explorado na literatura, o rendimento de

produção de cápsulas produzidas por *electrospraying* é uma forma importante de analisar a influência dos parâmetros do processo e da solução polimérica, como o tipo de polímero, na produção desses materiais, podendo servir como base para definir sua utilização em aplicações (AMIRI et al., 2021).

Os efeitos da fonte de amido (mandioca, milho, trigo e batata doce) na morfologia das cápsulas produzidas por *electrospraying* estão ilustrados na Figura 1. Entre os amidos avaliados, o amido de milho resultou em cápsulas com morfologia mais homogênea, apresentando uma menor quantidade de fibras associadas. Em contraste, as cápsulas de amido de mandioca exibiram uma maior quantidade de fibras. Os diâmetros médios das cápsulas foram de 2497 ± 1182 nm, 2604 ± 639 nm, 2623 ± 953 e 2990 ± 866 ao utilizar amido de mandioca, milho, trigo e batata doce, respectivamente. Conforme evidenciado pelas morfologias, os maiores desvios de diâmetro médio foram observados para cápsulas de amido de mandioca, enquanto o amido de milho apresentou os menores desvios, indicando uma maior homogeneidade para este último. De acordo com COELHO et al. (2021) a morfologia e o diâmetro das cápsulas produzidas por *electrospraying* influenciam na liberação dos ingredientes bioativos encapsulados, sendo que o formato esférico é considerado mais apropriado do que os irregulares. Fatores como tipo de polímero e sua concentração são responsáveis por variações na morfologia e no diâmetro das cápsulas.

Figura 1. Morfologia de cápsulas produzidas a partir de amidos de mandioca (a), milho (b), trigo (c) e batata doce (d) na concentração de 7% (p/v).



4. CONCLUSÕES

Cápsulas em escala micrométrica foram produzidas com sucesso a partir de amidos nativos de mandioca, milho, trigo e batata doce por *electrospraying*, revelando comportamentos distintos entre as diferentes fontes de amido. Embora todos tipos de amido tenham demonstrado potencial para aplicação nessa técnica, o amido de milho destacou-se pela produção de cápsulas com morfologia superior e maior

homogeneidade na distribuição de tamanho. Além disso, este amido gerou uma quantidade significativamente menor de fibras associadas as cápsulas. Esses resultados ressaltam a complexidade dos amidos nativos e a influência da fonte de amido na produção de cápsulas, evidenciando a importância de otimizar os métodos de produção desses materiais e explorar possíveis aplicações. O estudo também contribui para compreensão das características dos amidos nativos no *electrospraying*, e pesquisas futuras devem focar na otimização do processo e das soluções poliméricas, buscando aumentar o rendimento da produção de cápsulas e explorar suas possíveis utilizações para o encapsulamento e entrega de compostos bioativos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALP-ERBAY, E. Nanomaterials Utilized in Food Packaging: State-of-the-Art. **Food Engineering Reviews**, v. 14, p. 629–654, 2022.
- AMIRI, S.; TEYMORLOUEI, M. J.; BARI, M. R.; KHALEDABAD, M. A. Development of *Lactobacillus acidophilus* LA5-loaded whey protein isolate/lactose bionanocomposite powder by electrospinning: A strategy for entrapment. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101222, 2021.
- COELHO, S. C.; ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Encapsulation in food industry with emerging electrohydrodynamic techniques: Electrospinning and electrospinning – A review. **Food Chemistry**, v. 339, p. 127850, 2021.
- CRUZ, E. P.; JANSEN, E. T.; FONSECA, L. M.; HACKBART, H. C. S.; SIEBENEICHLER, T. J.; PIRES, J. B.; GANDRA, E. A.; ROMBALDI, C. V.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning. **Food Chemistry**, v. 406, p. 134954, 2023.
- GHAEB, M.; TAVANAI, H.; KADIVAR, M. Electrospun maize starch and its constituents (amylose and amylopectin) nanoparticles. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 26, p. 917–923, 2015.
- KONG, L.; ZIEGLER, G. R.. Fabrication of pure starch fibers by electrospinning. **Food Hydrocolloids**, v. 36, p. 20–25, 2014.
- LIM, L.-T.; MENDES, A. C.; CHRONAKIS, I. S. Electrospinning and electrospinning technologies for food applications. In: TAN, M. **Advances in Food and Nutrition Research**. 2019, Cap. 5, p. 167-234..
- LIU, G.; GU, Z.; HONG, Y.; CHENG, L.; LI, C. Electrospun starch nanofibers: Recent advances, challenges, and strategies for potential pharmaceutical applications. **Journal of Controlled Release**, v. 252, p. 95–107, 2017.
- PIRES, J. B.; FONSECA, L. M.; SIEBENEICHLER, T. J.; CRIZEL, R. L.; SANTOS, F. N.; HACKBART, H. C. S.; KRINGEL, D. H.; MEINHART, A. D.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospinning and electrospinning: Thermal resistance and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 162, p. 112111, 2022.
- SOUZA, E. J. D.; KRINGEL, D. H.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. Polysaccharides as wall material for the encapsulation of essential oils by electrospun technique. **Carbohydrate Polymers**, v. 265, p. 118068, 2021.