



## DESENVOLVIMENTO DE FIBRAS POR ELETROPULVERIZAÇÃO PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM EMBALAGENS E COBERTURAS

LAURA MARIANA LEAL LOPES SOARES<sup>1,2\*</sup>, DAVID FERNANDO DOS SANTOS<sup>1,2</sup>, VANIA ZANELLA PINTO<sup>2,3</sup>

### 1 Introdução

A produção de dispositivos médicos biodegradáveis requer materiais de qualidade e elevada pureza. No processo de injeção, em geral, os refugos não são reutilizados para a mesma aplicação, pois elevadas temperaturas em ciclos crescentes de injeção promovem degradação da maioria dos polímeros (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2018). Assim, o uso destes rejeitos para desenvolver produtos nos quais não requerem processamento térmico é um destino sustentável e de alto valor agregado.

Dentre os polímeros médicos co-polímero poli (ácido lático) (PLA) e poli (ácido glicólico) (PGA) o poli (ácido lático-co-ácido glicólico) (PLGA) na proporção de 85% de PLA e 15% de PGA é empregado para o desenvolvimento de placas de fixação óssea e apresenta boa estabilidade ao processamento térmico (CASTRO *et al.*, 2021). Este polímero é bastante empregado para o desenvolvimento de nanofibras na área de engenharia de tecidos devido à sua boa biocompatibilidade, biodegradabilidade e resistência mecânica (CHOR *et al.*, 2020). Outras aplicações destas fibras podem ser promissoras, em especial para dispositivos inteligentes ou de liberação ativa. O processo de *electrospinning* produz fibras e nanofibras empregando diferença de potencial elétrico, tipicamente de 1-5kv cm<sup>-1</sup>, sem demandar temperaturas elevadas, como em processos de extrusão e injeção. Este processo permite o desenvolvimento de sistemas inteligentes e ativos com elevada área superficial, para monitorar e preservar alimentos quando empregados como embalagens ou dispositivos associados à embalagens (GAGAOUA *et al.*, 2022; VIANA BATISTA *et al.*, 2022).

O processo de *Solution blow spinning* regido pelas leis de Bernoulli é formado por um compressor de ar ou gás, um manômetro de controle, um sistema injetor de solução que consiste em um bocal de duas cavidades concêntricas sendo a interna de saída da solução e a externa de saída do gás pressurizado (MEDEIROS *et al.*, 2009). Desta forma, o desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes utilizando fibras ultrafinas resulta em sistemas versáteis, eficientes, de resposta rápida e relativamente baratos (LIM; MENDES;

1Graduando(a) no curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Laranjeiras do Sul - PR, contato: [lauramariana2992@gmail.com](mailto:lauramariana2992@gmail.com)

2Grupo de Pesquisa: Produção, transformação e armazenamento de alimentos.

3 Doutora, Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Laranjeiras do Sul, **Orientador(a)**.



CHRONAKIS, 2019). Para isso, é indispensável o estudo da relação polímero-solvente na formação das fibras.

## 2 Objetivos

Estudar o reuso de PLGA 85:15 na produção de fibras ultrafinas para futura aplicação no desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes para alimentos.

## 3 Metodologia

### 3.1 Materiais

Para a produção de fibras ultrafinas utilizou-se os rejeitos do processo de injeção de placas de fixação óssea (buchas e canais de injeção) confeccionadas em PLGA 85:15 que inicialmente apresentava peso molecular médio de  $224,27 \text{ g mol}^{-1}$ . Os solventes clorofórmio e N,N - Dimetilformamida (DMF) foram de grau analítico P.A.

### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 Preparo da solução e formação das fibras

As buchas e canais de injeção de PLGA 85:15 foram cortadas e adicionadas de solvente composto por clorofórmio:N,N dimetilformamida (DMF) (4:1) na concentração de 3% e 5% de PLGA (m/m). A mistura foi submetida a agitação constante em agitador magnético, à temperatura ambiente, até a completa solubilização do material no solvente.

A produção de fibras por *electrospinning* foi realizada com uma seringa conecta a uma agulha de 0,7 mm acoplada em uma bomba de infusão com fluxo de  $0,10 \text{ mL min}^{-1}$ . As fibras ultrafinas foram produzidas utilizando uma fonte de alta voltagem (7kV para solução de 3% e 10kV para solução de 5%) acoplando o polo positivo da fonte à agulha, enquanto as fibras foram depositadas em um coletor aterrado (Figura 1A) com distância de 10 cm da ponta da agulha. A produção de fibras por SBS foi realizada com auxílio de um aerógrafo acoplado a um compressor de ar com pressão de 120 psi e distância de trabalho de 150 cm, por ser um aerógrafo sua vazão específica não pode ser determinada.

#### 3.2.2 Caracterização das fibras ultrafinas

A formação ou não das fibras e uma estimativa da morfologia delas foi examinada com auxílio de microscópio ótico acoplado a uma câmera USB DI-5.0HD Digilab Laboratório.

A estrutura química das fibras produzidas com o refugo do processo de injeção de PLGA foi examinada utilizando espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier

com refletância atenuado total (FTIR-ATR), no comprimento de onda de 4000 a 800  $\text{cm}^{-1}$  com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

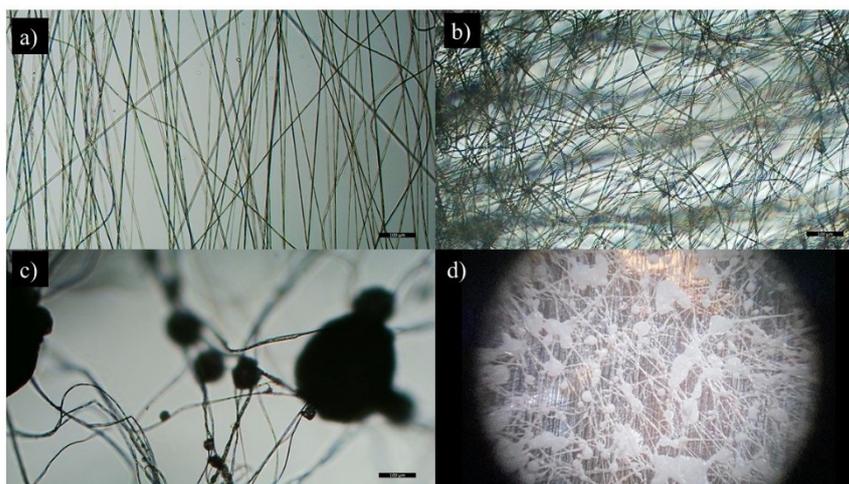
O polímero virgem e as fibras de PLGA foram avaliadas quanto as propriedades térmicas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (DSC). A transição vítrea ( $T_g$ ) e todos os eventos térmicos relacionados à cristalização do material foram identificados.

## 4 Resultados E Discussão

### 4.1 Morfologia

As soluções de 3% e 5% de PLGA resultaram em fibras lisas, homogêneas e sem a presença de aglomerados (Figura 2 a,b).

**Figura 2:** Morfologia das fibras produzidas por *electrospinning* (a,b) e *solution blow spinning* (c, d), com as soluções de PLGA 85:15 de 3% e 5%, respectivamente

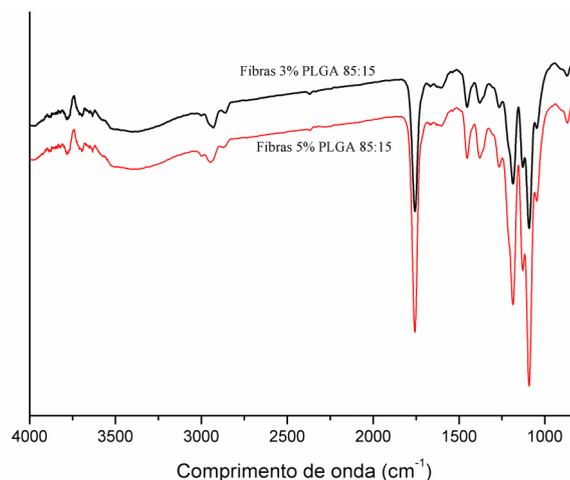


Devido a morfologia das fibras apenas as produzidas por SBS, apenas as elaboradas por *electrospinning* foram caracterizadas.

### 4.2 FTIR-ATR

Os espectros de FTIR das fibras elaboradas por *electrospinning* com as soluções contendo 3% e 5% de PLGA foram semelhantes (Figura 2). Assim desacatam-se as bandas relacionadas com os grupos alcanos 3000–2800  $\text{cm}^{-1}$  e 1450–1370  $\text{cm}^{-1}$ ; grupamentos ester em 1760–1745  $\text{cm}^{-1}$  e 1300–1150  $\text{cm}^{-1}$ ; oligômeros em 1600–1500  $\text{cm}^{-1}$  (MELO *et al.*, 2017). Este resultado indica a que o processo prévio do polímero, bem como a solubilização em clorofórmio:DMF (4:1) posterior produção das fibras não alterou a estrutura química do polímero.

**Figura 2:** Espectros de infravermelho das fibras obtidas por *electrospinning* utilizando refugo de PLGA 85:15

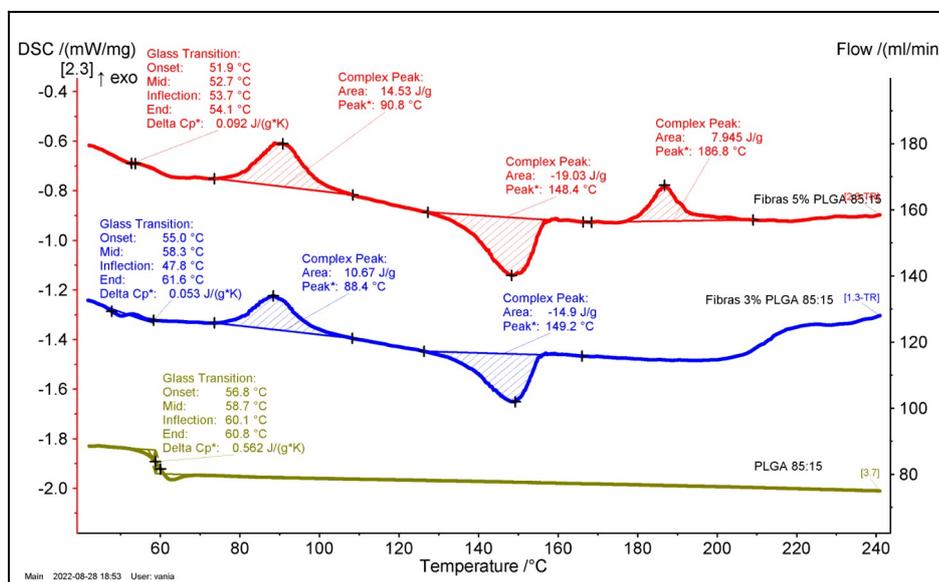


### 4.3 DSC

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) do PLGA virgem ocorreu à  $60\text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 3), sendo comum a sua ocorrência entre  $56\text{ }^\circ\text{C}$  e  $63\text{ }^\circ\text{C}$ , a qual é dependente do peso molecular do material (CASTRO *et al.*, 2021). As fibras elaboradas com 3% e 5% de PLGA apresentaram  $T_g$  inferior ao material virgem (Figura 3). Este comportamento pode ser consequência do processo de injeção previa, no qual os refugos foram recuperados para a produção das fibras.

As fibras elaboradas com 3% de PLGA apresentaram um evento exotérmico ( $88,4\text{ }^\circ\text{C}$ ) e um evento endotérmico ( $149,2\text{ }^\circ\text{C}$ ), enquanto as fibras produzidas com 5% de PLGA apresentaram dois picos exotérmicos ( $90,5\text{ }^\circ\text{C}$  e  $188,8\text{ }^\circ\text{C}$ ) e um pico endotérmico ( $148,4\text{ }^\circ\text{C}$ ). Este comportamento é consequência do processamento de injeção e consequente solubilização do polímero em clorofórmio e DMF.

**Figura 3:** Propriedades térmicas das fibras obtidas por *electrospinning* utilizando refugo de PLGA 85:15





## 5 Conclusão

O emprego de rejeitos do processo de injeção de PLGA resultou na produção de fibras ultrafinas pelo processo de *electrospinning*. As fibras apresentaram estrutura química semelhante ao material virgem. A Tg das fibras ultrafinas reduziu em relação ao material virgem e outros eventos térmicos foram observados, provavelmente como efeito do processo de injeção e da solubilização do polímero. Já no processo de *solution blow spinning* com uso de aerógrafo, as fibras obtidas se mostraram irregulares, com presença de bolhas por toda sua estrutura, entretanto, possuem resistência maior condicionada aos diâmetros encontrados

## Referências Bibliográficas

- CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 10th. ed. Sidney: [s. n.], 2018. *E-book*.
- CASTRO, P. B. de *et al.* A study on the response of PLGA 85/15 under compression and heat-treatment testing cycles. **Mechanics of Time-Dependent Materials**, GRANTE, Department of Mechanical Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC 88040-900, Brazil, v. 25, n. 3, p. 411–427, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11043-020-09451-3>
- CHOR, A. *et al.* In Vitro Degradation of Electrospun Mucosa Regeneration. **Polymer**, [S. l.], v. 12, n. 1853, 2020.
- GAGAOUA, M. *et al.* Electrospinning as a Promising Process to Preserve the Quality and Safety of Meat and Meat Products. **Coatings**, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 644, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/coatings12050644>
- LIM, L. T. and electrospaying technologies for food applications; MENDES, A. C.; CHRONAKIS, I. S. **Electrospinning and electrospaying technologies for food applications**. 1. ed. [S. l.]: Elsevier Inc., 2019. v. 88*E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.005>.
- MEDEIROS, E. S. *et al.* Solution blow spinning: A new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 116, n. 4, p. 2322–2330, 2009
- MELO, L. P. De *et al.* Effect of Injection Molding Melt Temperatures on PLGA Craniofacial Plate Properties during in Vitro Degradation. **International Journal of Biomaterials**, [S. l.], v. 2017, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/1256537>
- VIANA BATISTA, R. *et al.* Food packaging and its oxygen transfer models in active multilayer structures: A theoretical review. **Journal of Plastic Film and Sheeting**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 458–488, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/87560879211070465>

**Palavras-chave:** eletrofiação, fibras, PLGA

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2021-0199

**Financiamento:** Somente para bolsistas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq