

## INFLUÊNCIA DA VISCOSIDADE E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO POLIMÉRICA PARA FORMAÇÃO DE FIBRAS POR *ELECTROSPINNING*

DIEGO ARAUJO DA COSTA<sup>1</sup>; ANDRESSA SALIES SOUZA <sup>2</sup>; ROSANA COLUSSI<sup>3</sup>; ELESSANDRA DA ROSA ZAVAREZE<sup>4</sup>; ANGELITA DA SILVEIRA MOREIRA<sup>5</sup>; CARLA ROSANE BARBOZA MENDONÇA<sup>6</sup>.

<sup>1</sup>PPGNA - Universidade Federal de Pelotas - UFPEL – [diegoaraujodacostapel@gmail.com](mailto:diegoaraujodacostapel@gmail.com)

<sup>2</sup>PPGNA - Universidade Federal de Pelotas - UFPEL – [dedesalies@hotmail.com](mailto:dedesalies@hotmail.com)

<sup>3</sup>CCQFA - Universidade Federal de Pelotas - UFPEL– [rosana\\_colussi@yahoo.com.br](mailto:rosana_colussi@yahoo.com.br)

<sup>4</sup>DCTA- Universidade Federal de Pelotas - UFPEL– [elessandrad@yahoo.com.br](mailto:elessandrad@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>CCQFA - Universidade Federal de Pelotas - UFPEL– [angelitadasilveiramoreira@gmail.com](mailto:angelitadasilveiramoreira@gmail.com)

<sup>6</sup>CCQFA - Universidade Federal de Pelotas - UFPEL– [carlaufpel@hotmail.com](mailto:carlaufpel@hotmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A técnica de *electrospinning* foi desenvolvida na primeira metade do século XX e vem ganhando destaque nos últimos anos, devido sua capacidade de produzir fibras poliméricas em escala nano ou micrométrica (GARCÍA-MORENO *et al.*, 2018; LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019).

A obtenção das fibras através desta técnica consiste primeiramente na produção de uma solução polimérica. O processo envolve três etapas, iniciando pela aplicação de uma alta voltagem no sistema, na sequência ocorre o alongamento das gotículas da solução polimérica, que estão na ponta da agulha, gerando a formação de um cone de Taylor, e por fim a ejeção do jato contínuo de polímero, resultando na coleta de fibras sólidas sobre o coletor, devido a evaporação do solvente, que reduz gradativamente o diâmetro das fibras (LAURICELLA *et al.*, 2015; FUH *et al.*, 2016). As soluções poliméricas utilizadas podem ser derivadas de polímeros naturais ou sintéticos. O amido é um polímero natural que vem sendo amplamente utilizado. Contudo, há poucos relatos sobre o uso do amido da semente de abacate para esta aplicação. Considerando o alto teor de amilose, este amido pode ser promissor para o emprego como material polimérico para produção de fibras pela técnica de *electrospinning* (FRASSON, 2022).

A produção de fibras por *electrospinning* está interligada aos parâmetros apresentados pela solução polimérica, como a sua condutividade elétrica, viscosidade, concentração, peso molecular do polímero, emaranhamento das cadeias poliméricas e a volatilidade do solvente utilizado (FONSECA *et al.*, 2019).

A viscosidade é um parâmetro de suma importância no processo de *electrospinning*, à solução polimérica está ligada diretamente ao perfil morfológico de distribuição e o tamanho das fibras produzidas pela técnica. (BHARDWAJ; KUNDU, 2010).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o perfil de viscosidade e condutividade elétrica das soluções poliméricas de amido extraído da semente de abacate para formação de fibras com diâmetros reduzidos por *electrospinning*.

### 2. METODOLOGIA

As amostras contendo 10, 20 e 30% de amido extraído da semente de abacate em ácido fórmico 75% (p/v) foram analisadas por ensaio rotacional em reômetro (Haake® RheoStress 600, modelo RS150). A viscosidade foi determinada a partir de curvas de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação a 25°C, usando geometria de cone e placa (sensor C60/2° Ti; 0,104 mm de intervalo) e taxas de cisalhamento de 0,01 a 400 s<sup>-1</sup> por 300 s. Os parâmetros K e  $\eta$  foram obtidos por ajuste das curvas de viscosidade com o modelo matemático de Oswald de Waele. A condutividade foi medida com o auxílio de um condutivímetro (Tecnopon, Brasil), na temperatura de 25 °C, expressa em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

As determinações de viscosidade e condutividade das amostras foram realizadas em triplicata, e a comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, para um nível de significância de 5%, utilizando uma análise da variância (ANOVA) no programa Statistix 8.0.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros K e  $\eta$ , obtidos por ajuste com modelo matemático de Ostwald de Waele, podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros reológicos K e  $\eta$ , obtidos por ajuste com modelo matemático de Ostwald de Waele e condutividade elétrica das soluções poliméricas.

Amostra	K (mPa.s <sup>n</sup> )	$\eta$ (adm)	Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
10%	0,798 ± 0,011 <sup>c</sup>	0,764 ± 0,003 <sup>b</sup>	345,5 ± 0,006 <sup>a</sup>
20%	3,078 ± 0,233 <sup>b</sup>	0,766 ± 0,006 <sup>b</sup>	236,5 ± 0,006 <sup>b</sup>
30%	117,35 ± 9,650 <sup>a</sup>	0,454 ± 0,013 <sup>a</sup>	177,8 ± 0,011 <sup>c</sup>

\*Letras diferentes indicam diferença estatística em relação a amostra (coluna) pelo teste de Tukey  $p < 0,05$ .

Analisando-se a aplicação do modelo matemático de Ostwald-de-Waele nas curvas de viscosidade, verificou-se o ajustamento ao modelo ( $R^2 > 0,99$ ). O valor de K (mPa.s<sup>n</sup>) refere-se à viscosidade da solução e, quanto maior o valor, mais viscosa é a solução;  $\eta$  (adm) quantifica o nível de pseudoplasticidade das soluções, sendo que quanto menor o valor, mais pseudoplástica é a solução (MONTEIRO, 2004).

Observou-se que a amostra contendo 30% de amido de semente de abacate mostrou-se a mais viscosa obtendo K 117,35, por outro lado, a amostra contendo a menor concentração de amido (10%), resultou na menor viscosidade (K 0,798).

Quanto a pseudoplasticidade, a amostra contendo 30% de amido de semente de abacate evidenciou ser a mais pseudoplástica, pois apresentou o menor valor de  $\eta$  (0,454). Já as amostras 10 e 20%, com menor pseudoplasticidade, não diferiram estatisticamente entre si para esse parâmetro, ambas resultaram em valor de  $\eta$  mais próximo de 1

A condutividade elétrica das soluções poliméricas (Tabela 1) evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as soluções em função do percentual de amido presente ( $p \leq 0,5$ ). A amostra contendo 10% de amido de semente de abacate apresentou maior condutividade elétrica que as demais (345,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Pode se observar que com o aumento da concentração de amido a condutividade das soluções foi diminuindo. Sabe-se que a condutividade aumenta com a maior quantidade de compostos ionizáveis presentes no meio (ANTUNES *et*

*al.*, 2017). Contudo, vale salientar que o solvente utilizado foi ácido fórmico 75%, assim, provavelmente o aumento do conteúdo de amido, tenha influenciado na dissociação do ácido, ainda, é possível que tenha ocorrido um aumento da resistência elétrica do meio, ambos fenômenos impactariam reduzindo a condutividade. Infere-se também, na possibilidade de substituição em grupamentos metoxílicos do amido, resultando em esterificação e menores possibilidades de ionização.

Observou-se que as soluções que apresentam alta viscosidade, e menor condutividade elétrica (30% de amido de semente de abacate), resultou em maior dificuldade para projeção do jato contínuo da solução do material polimérico, a partir da ponta da agulha, já a solução que apresentou mais baixa viscosidade (10% de amido de semente de abacate) não foi capaz de formar um jato estável. BHARDWAJ e KUNDU (2010), reportam a influência destes parâmetros na formação de fibras, corroborando as evidências deste estudo. Assim, a solução com 20% de amido foi a que conduziu a formação de um jato estável e a deposição de fibras com diâmetros reduzidos e sem a ausência de *beads* (observado em microscópio).

#### 4. CONCLUSÕES

E possível inferir que a viscosidade aparente e a condutividade elétrica da solução polimérica são parâmetros de grande importância para produzir fibras pela técnica de *electrospinning*. Além disto, o amido oriundo da semente de abacate possibilitou a formação de fibras com pequeno diâmetro e boas características, evidenciando potencialidade para esta aplicação.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, M.; DANNENBERG, G.; FIORENTINI, A.; PINTO, V.; LIM, L.; ZAVAREZE, E.; DIAS, A. Antimicrobial electrospun ultrafine fibers from zein containing eucalyptus essential oil/cyclodextrin inclusion complex. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 874–882, 2017.
- BHARDWAJ, N.; KUNDU, S. C. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. **Biotechnology Advances**, v. 28, p. 325–347, 2010.
- FONSECA, L. M.; CRUXEN, C. E. S.; BRUNI, G. P.; FIORENTINI, Â. M.; ZAVAREZE, E. R.; LIM, L. T.; et al. Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 1182–1190, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.096>.
- FUH, Y.; WU, Z.; HE, Z.; HUANG, HU, W. The control of cell orientation using biodegradable alginate fibers fabricated by near-field electrospinning. **Materials Science & Engineering: C**, v. 62, p. 879–887, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.02.028>.
- FRASSON, Sabrina Feksa. **Extração e caracterização de amido de semente de abacate (*Persea americana* Mill) e aplicação em aerogéis**. 2022. 18f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, 2022).

GARCÍA-MORENO P. J.; MENDES A. C.; JACOBSEN C., CHRONAKIS I. S. Biopolymers for the nano-microencapsulation of bioactive ingredients by electrohydrodynamic processing. In GUTIÉRREZ, T. J. (org.). **Polymers for Food Applications** (1st ed.). Switzerland: Springer, 2018. p. 447-479.

LAURICELLA, M.; PONTRELLI, G.; COLUZZA, I.; PISIGNANO, D.; SUCCI, S. Jetspin: A specific-purpose open-source software for simulations of nanofiber electrospinning. **Computer Physics Communications**, v. 197, p. 227–238, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2015.08.013>.

LIM, L.-T.; MENDES, A. C.; CHRONAKIS, I. S. Electrospinning and electrospraying technologies for food applications. In LIM, L.-T.; ROGERS, M. (org.). **Advances in Food and Nutrition Research** (1st ed.). Cambridge: Academic Press, 2019. p. 167-234. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.005>

MONTEIRO, V. A. R.; Martins, A. L.; Brandão, E. M. & Mello, E. M. C. - “Estudo das propriedades reológicas de fluidos de perfuração de poços em águas profundas”, in: **Proceedings of the II Brazilian Conference on Rheology**, Rio de Janeiro – RJ, (2004).