



NANOFIBRAS DE ZEÍNA COM ADIÇÃO DE ÓLEO DE BIOMASSA LARVAL DE MOSCA (*HERMETIA ILLUCENS*) OBTIDAS POR ELECTROSPINNING

C. Jansen-Alves^{1,2}, T. M. L. S. Trindade¹, C. Perleberg¹, E. R. Zavazere², C. M. P. Pereira¹

1-Laboratório de Inovação e Soluções em Química (Innovaschem) - Universidade Federal de Pelotas - CEP: 96010-900 - Brasil- Pelotas - RS - Brasil, Telefone: (53) 98431-1079- e-mail: (cris-jansen@hotmail.com; tamaramlstrindade2611@gmail.com; caremperleberg222@gmail.com; claudiochemistry@gmail.com)

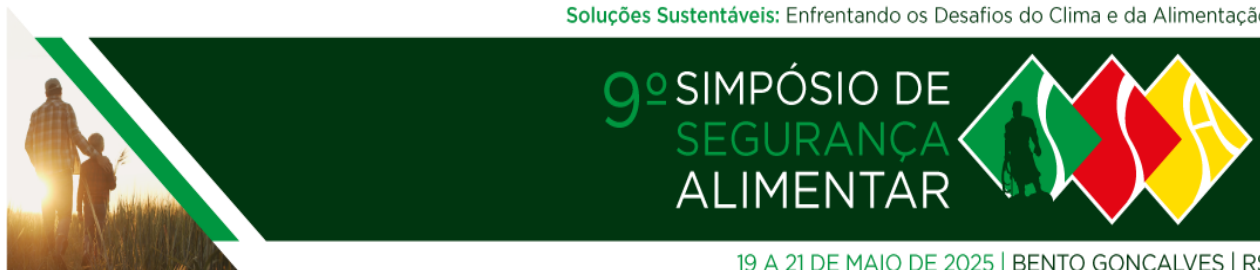
2-Laboratório de Biopolímeros e Nanotecnologia em Alimentos (BioNano) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial - Universidade Federal de Pelotas, CEP: 96010-900 - Brasil - Pelotas - RS - Brasil- e-mail: (elessandrad@yahoo.com.br)

RESUMO – A utilização de larvas da mosca *Hermetia illucens* (HI) apresentam diversas vantagens, como rápido crescimento e produção sustentável. O encapsulamento por eletrofição mostra-se promissor para encapsular óleos, pois não utiliza altas temperaturas, prevenindo a degradação. Este estudo analisou a incorporação de óleo (15, 30 e 45% p/p) do óleo da biomassa larval da mosca HI em fibras por eletrofição usando zeína (20% p/v). Os resultados demonstraram que as propriedades térmicas mostram uma interação entre o óleo e a zeína, o que diminui a perda de massa das fibras geradas. O ângulo de contato mostrou que a adição de óleo influenciou o aumento da hidrofobicidade das fibras. Fibras com 30% de óleo e 20% de zeína exibiram comportamento hidrofóbico, o que é uma característica promissora para aplicações das fibras em embalagens ativas para preservação de alimentos.

ABSTRACT – The use of *Hermetia illucens* (HI) fly larvae has several advantages, such as rapid growth and sustainable production. Electrospinning encapsulation is promising for encapsulating oils since it does not require high temperatures, preventing degradation. This study analyzed the incorporation of oil (15, 30, and 45% w/w) of oil from the larval biomass of the HI fly into electrospun fibers using zein (20% w/v). The results demonstrated that the thermal properties show an interaction between the oil and zein, which reduces the mass loss of the generated fibers. The contact angle showed that the addition of oil influenced the increase in the hydrophobicity of the fibers. Fibers with 30% oil and 20% zein exhibited hydrophobic behavior, which is a promising characteristic for applications of the fibers in active packaging for food preservation.

PALAVRAS-CHAVE: Mosca soldado negro; zeína; nanotecnologia; biomassa de insetos.

KEYWORDS: Black soldier fly; zein; nanotechnology; insect biomass.



1. INTRODUÇÃO

A produção de insetos, particularmente o cultivo de larvas de mosca soldado negro (MSN) (*Hermetia illucens*) oferece várias vantagens que a tornam uma opção promissora. As larvas de MSN têm custos mínimos de alimentação, baixo consumo de água e produzem baixas emissões de carbono, o que as torna ecologicamente corretas (Kumar et al., 2022). Além disso, sua produção é econômica e pode ser feita em pequenos espaços, com o benefício adicional de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Em comparação com outros insetos, a *Hermetia illucens* exibe um teor significativo de lipídeos (12 a 34%), apresentando uma excelente fonte de ácidos graxos (Zou et al., 2023).

A técnica de eletrofiação é altamente vantajosa em comparação a outras formas de encapsulamento. O processo é realizado em temperatura ambiente, o que evita a degradação térmica dos compostos que serão encapsulados (Santos et al., 2024). A técnica é considerada simples e versátil, trabalhando com a formação de um campo eletromagnético usando uma fonte de alta tensão, uma bomba e um coletor. A eletrofiação tem alta capacidade de carga e eficiência de encapsulamento (Pires et al., 2023).

A produção de fibras usando a técnica de eletrofiação é feita com diferentes polímeros (sintéticos ou naturais). Polímeros naturais como quitosana, zeína, gelatina e celulose, entre outros, são eficientes para a produção de fibras (Fonseca et al., 2024). A zeína é uma proteína de origem vegetal extraída do milho e tem excelente potencial como biopolímero para a formação de nanofibras (Chen et al., 2022). O objetivo desse estudo visa desenvolver uma fibra ultrafina usando biopolímero de zeína para encapsular o óleo de mosca soldado negra e avaliar suas propriedades de molhabilidade através do ângulo de contato, e as propriedades termogravimétricas das fibras e do óleo.

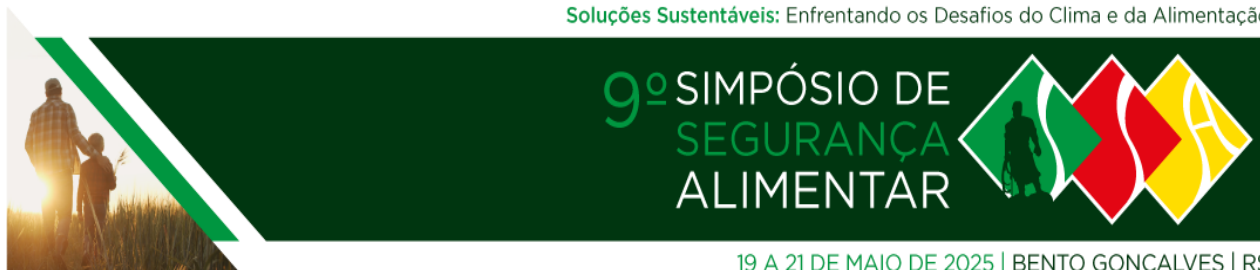
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Extração de óleo

O óleo da biomassa larval da MSN foi extraído usando um extrator soxhlet com 25 g de biomassa larval e 200 mL de hexano, seguindo o método de Muangrat e Pannasai (2024). Após extração por 5 horas, o óleo foi evaporado com um evaporador rotativo.

2.2 Propriedades térmicas

As análises termogravimétricas (TGA) de fibras ultrafinas, material puro (zeína) e óleo BSFL foram investigadas usando um analisador termogravimétrico (SDT Q600, marca TA Instruments, modelo TA60, EUA). As fibras (5 mg) foram aquecidas em cápsulas de platina entre 30 e 600 °C sob um fluxo de N₂ (g) de 50 mL/min a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min (Santos et al., 2024). Os dados foram analisados usando o software Origin-Pro® 9.0.



2.2. Ângulo de contato das fibras ultrafinas

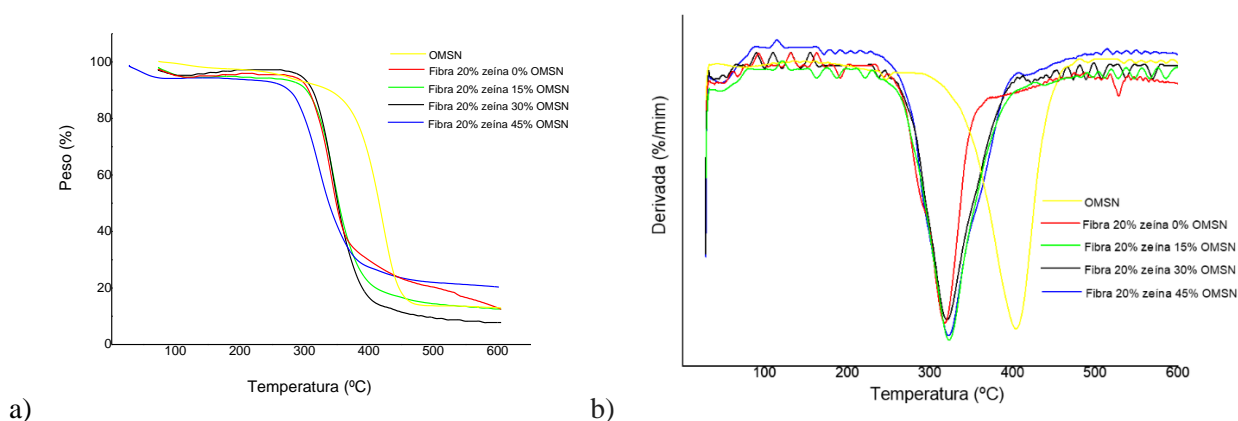
Para esta análise, as fibras foram eletrofiadas sobre uma lâmina coberta com papel alumínio e fixadas ao coletor de eletrofição. Uma gota de água destilada foi depositada três vezes sobre a mesma amostra, em diferentes locais da amostra, e a partir deste resultado, o ângulo de contato médio foi calculado. A imagem foi obtida por meio de um microscópio (Digital Blue, QX5, EUA), e a avaliação subsequente foi feita usando o software SurfTens 3.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

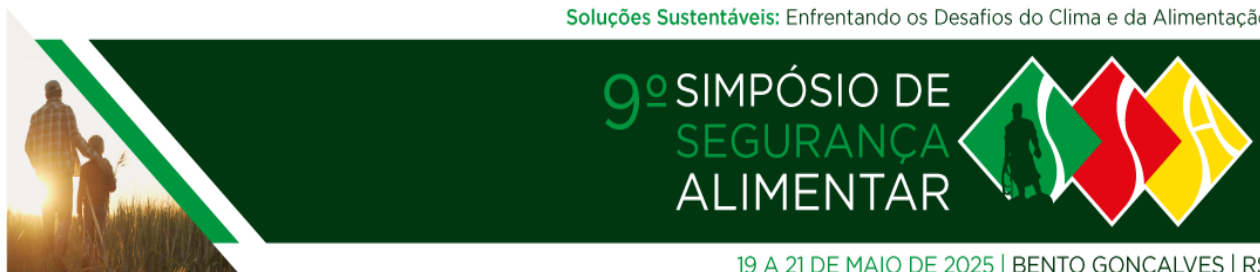
3.1 Propriedades térmicas

Os resultados da Figura 1 fornecem informações sobre a análise termogravimétrica das nanofibras obtidas e do óleo de MSN. O termograma do óleo msn exibiu um processo de perda de peso em dois estágios. O primeiro estágio, observado a 78,69 °C com aproximadamente 5,7 % de perda de massa, corresponde provavelmente à evaporação da água fisicamente ligada. O segundo estágio, com uma faixa de temperatura de 296,75 a 465,88 °C, é atribuída à decomposição estrutural de compostos de baixo peso molecular presentes no óleo (Santos et al., 2024). Os óleos com composição química semelhantes em ácidos graxos ao do óleo de MSN, como o óleo de coco e o óleo de palmiste, são conhecidos por sua utilidade industrial devido à sua estabilidade e propriedades de fusão (Zou et al., 2023).

Figura 1- Análise termogravimétrica de materiais precursores, bem como fibras de zeína contendo diferentes concentrações de óleo de larvas de mosca soldado negra (0, 15, 30 e 45%; p/p).



Além disso, as fibras contendo óleo de MSN apresentaram eventos térmicos alterados, indicando interações entre os constituintes do óleo e a zeína, levando a perdas de massa reduzidas. Isso sugere uma influência potencial do óleo nas propriedades térmicas das fibras. Resultados semelhantes foram relatados por Ansarifard e Moradinezhad (2021), que desenvolveram embalagens ativas encapsulando o óleo essencial de

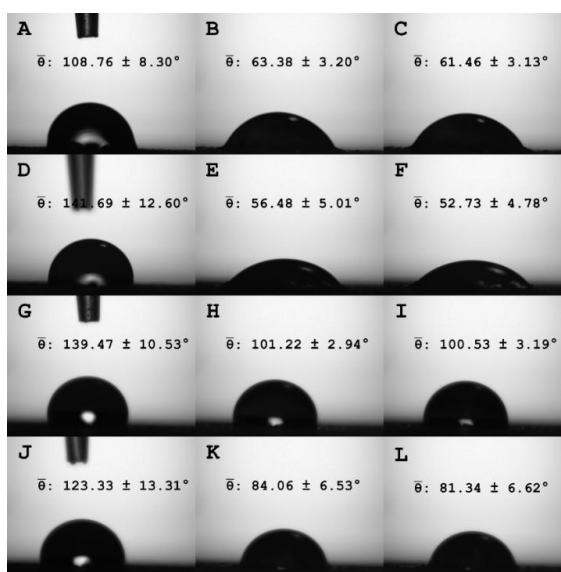


tomilho em nanofibras de zeína. A presença de óleo também afetou a temperatura de desidratação, sugerindo um impedimento na perda de água devido à natureza hidrofóbica do óleo (Hajjari et al., 2021). As mudanças observadas nos eventos térmicos e nas perdas de massa indicam a influência do teor de óleo no comportamento térmico das fibras, destacando as interações potenciais entre os constituintes do óleo e a zeína.

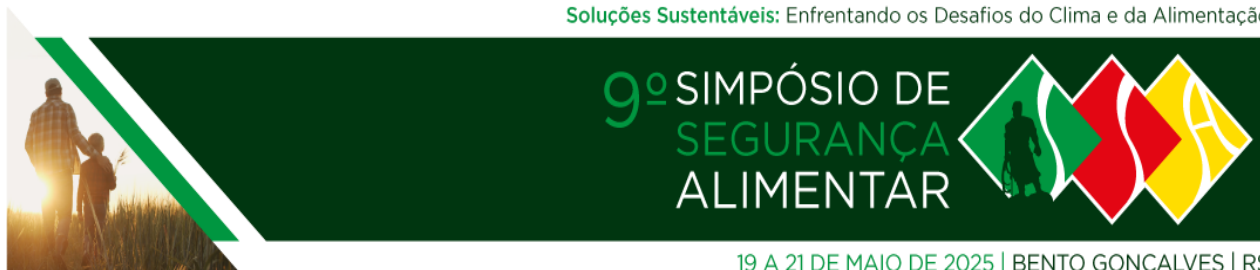
3.2 Análise do ângulo de contato

Um método adequado para determinar a molhabilidade de uma fibra é medir seu ângulo de contato com a água. Neste estudo, os ângulos de contato de fibras ultrafinas contendo 20% de zeína e óleo de HI são representados na Figura 2. Verificou-se que a incorporação do óleo nas fibras impacta o aumento da hidrofobicidade. Especificamente, as fibras com 45% de óleo exibiram ângulos de contato semelhantes no tempo zero, medindo $123,33^\circ$ e $121,61^\circ$ para fibras com 20 e 25% de zeína, respectivamente. Esse comportamento pode ser atribuído à baixa polaridade do óleo de HI, em decorrência da presença de ácidos graxos. No entanto, a fibra contendo 20% de zeína manteve um maior grau de hidrofobicidade durante todo o período de análise (60 s).

Figura 2- Ângulo de contato das fibras com 20% de zeína contendo 0% (a, b, c), 15% (d, e, f), 30% (g, h, i) e 45% (j, k, l) de óleo de larva de mosca soldado negra. (a), (d), (g) e (j) referem-se ao instante imediato da queda da gota d'água, (b), (e), (h) e (k) referem-se a 30 s após a queda da gota, e (c), (f), (i) e (l) referem-se a 60 s após a queda da gota.



Superfícies com ângulos superiores a 150° são classificadas como super-hidrofóbicas, enquanto superfícies hidrofóbicas normalmente têm ângulos que variam de 90° a 150° (Cruz, Ferreira, et al., 2023;). Uma superfície com um ângulo entre 90° e 10° é considerada hidrofílica. No tempo zero, todas as fibras apresentaram características hidrofóbicas (ângulos acima de 90°). A fibra com 20% de zeína e 15% de óleo



apresentou a maior hidrofobicidade a $141,60^\circ$ (Fig. 1D), seguida pela fibra com 20% de zeína e 30% de óleo a $139,47^\circ$ ($p \leq 0,05$). Após 30 s, apenas a fibra com 20% de zeína e 30% de óleo manteve sua hidrofobicidade, atingindo um ângulo de $100,53^\circ$ em 60 s (Fig. 1H). Isso destaca seu potencial para aplicações em embalagens e andaimes onde as propriedades hidrofóbicas são essenciais (Pedram Rad et al., 2019).

De acordo com Xia et al. (2023), a concentração e o solvente utilizados na preparação das soluções poliméricas influenciaram o ângulo de contato das membranas com a água. Os autores compararam o contato das fibras de zeína com etanol e ácido acético glacial, e as fibras do ácido acético glacial (100%) eram mais finas, com poros menores e maior ângulo de contato ($\sim 110^\circ$).

4. CONCLUSÃO

Este estudo destaca o potencial de aplicação do óleo de MSN em nanofibras produzidas com zeína por electrospinnig. A análise do ângulo de contato mostrou que as fibras com 20% de zeína e 30% de óleo exibiram comportamento hidrofóbico, o que é uma característica promissora para aplicações de embalagem. Em relação à estabilidade térmica, as fibras contendo óleo demonstraram perda de massa reduzida em comparação às fibras de controle, indicando uma forte interação entre a zeína e o óleo. As descobertas sugerem que o uso de óleo de MSN na forma de fibras ultrafinas é promissor para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. Pesquisas adicionais sobre outras atividades biológicas, como efeitos antimicrobianos e citotóxicos, podem ajudar a elucidar aplicações adicionais para essas fibras.

5. AGRADECIMENTOS

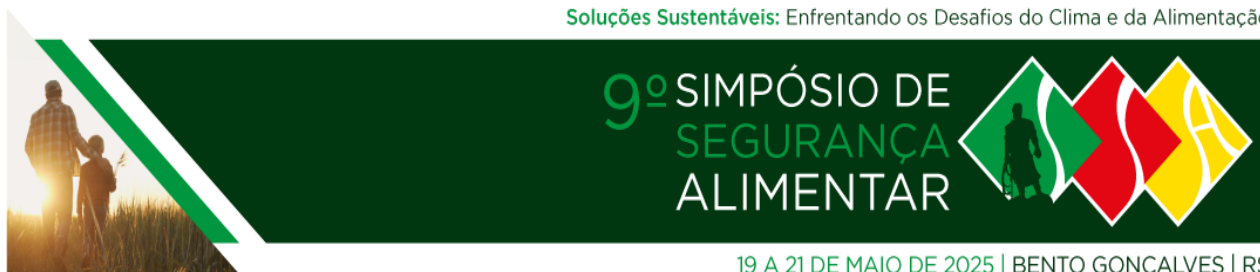
Os autores agradecem o apoio da CAPES, do CNPq (405808/2023-2) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (BR) FAPERGS (22/2551-0000840-2).

6. REFERÊNCIAS

ANSARIFAR, E., MORADINEZHAD, F. Preservation of strawberry fruit quality via the use of active packaging with encapsulated thyme essential oil in zein nanofiber film. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 9, p. 4239–4247, 2021.

CHEN, H., LI, Y., LIU, A., WU, L., YAN, W., TONG, Y., WANG, P. Circular Extraction: Innovative Use of a Switchable Composite Extractant for Prolamin Extraction from Grain Byproducts. **ACS Food Science & Technology**, v. 2, n. 4, p. 630–637, 2022.

CRUZ, V. A., FERREIRA, N. J., CORNELIO-SANTIAGO, H. P., SANTOS, G. M. T., OLIVEIRA, A. L. Oil extraction from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal by dynamic and intermittent processes of



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

supercritical CO₂ – Global yield, oil characterization, and solvent consumption. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 195, 2023.

FONSECA, L. M., CRUZ, E. P. DA, CRIZEL, R. L., JANSEN-ALVES, C., DIAS, A. R. G., ZAVAREZE, E. DA R. New advances of electrospun starch fibers, encapsulation, and food applications: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 147, 2024.

HAJJARI, M. M., GOLMAKANI, M. T., SHARIF, N., NIAKOUSARI, M. In-vitro and in-silico characterization of zein fiber incorporating cuminaldehyde. **Food and Bioproducts Processing**, v. 128, p. 166–176, 2021.

KUMAR, S., QUEIROZ, L. S., MARIE, R., NASCIMENTO, L. G. L., MOHAMMADIFAR, M. A., DE CARVALHO, A. F., BROUZES, C. M. C., FALLQUIST, H., FRAIHI, W., CASANOVA, F. Gelling properties of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae protein after ultrasound treatment. **Food Chemistry**, v. 386, 2022.

MUANGRAT, R., PANNASAI, S. Exploring the potential of black soldier fly larvae oil: Supercritical CO₂ extraction, physicochemical analysis, antioxidant properties, shelf life, and keratinocyte growth inhibition. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, 101008, 2024.

PEDRAM RAD, Z., MOKHTARI, J., ABBASI, M. Calendula officinalis extract/PCL/Zein/Gum arabic nanofibrous bio-composite scaffolds via suspension, two-nozzle and multilayer electrospinning for skin tissue engineering. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 135, p. 530–543, 2019.

PIRES, J. B., SANTOS, F. N. DOS, COSTA, I. H. DE L., KRINGEL, D. H., ZAVAREZE, E. DA R., DIAS, A. R. G. Essential oil encapsulation by electrospinning and electrospraying using food proteins: A review. **Food Research International**, v. 170, 2023.

SANTOS, F. N. DOS, FONSECA, L. M., JANSEN-ALVES, C., CRIZEL, R. L., PIRES, J. B., KRONING, I. S., DE SOUZA, J. F., FAJARDO, A. R., LOPES, G. V., DIAS, A. R. G., ZAVAREZE, E. DA R. (2024). Antimicrobial activity of geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil and its encapsulation in carioca bean starch ultrafine fibers by electrospinning. **International Journal of Biological Macromolecules**, 265, 2024.

XIA, L., LI, L., XIAO, Y., XIAO, F., JI, W., PANG, M., WANG, H. Hydrophobic electrospun membrane of peppermint oil loaded zein with coating of methyltriethoxysilane for active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 144, 109031, 2023.

ZOU, S., LEE, Y. Y., XIE, X., WANG, Y., ZHANG, Z. Characterization, fractionation, and compatibility properties of *Litsea cubeba* kernel oil with potential value for industrial application as a lauric acid-based oil source. **Industrial Crops and Products**, v. 194, 2023.