



INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E MECÂNICAS DE BIOFILMES POR FTIR E ENSAIOS MECÂNICOS

Igor Y. N. Noronha¹; Raphaela S. Castro²; Likary A. O. Caetano¹; Davi S. B. Brasil¹

¹Universidade Federal do Pará - Faculdade de Engenharia Química, R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

²Universidade Federal do Pará - Pós-graduação em Engenharia Química, R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Igor.noronha@itec.ufpa.br

Palavras-Chave: Biopolímeros, Estabilidade térmica, Sustentabilidade

Introdução

Os biofilmes, também denominados filmes biodegradáveis, são uma ótima solução para a substituição dos plásticos sintéticos, que advêm de polímeros petroquímicos e possuem baixo custo de produção, todavia, levam séculos para se decompor. Nesse contexto, os biofilmes surgem como uma alternativa promissora, pois são materiais biodegradáveis compostos por três constituintes: o agente formador de filmes (polissacarídeos, lipídeos e proteínas), o solvente e o agente plastificante. Os filmes provenientes do amido possuem baixa resistência à água e não são agentes poluidores, assim, apresentam elevada biodegradabilidade, tornando-se uma alternativa viável ambientalmente (Silva; Dias, 2024).

Além da composição, as propriedades dos filmes biodegradáveis podem ser influenciadas pelas condições de processamento e armazenamento, como a temperatura e a umidade relativa. A variação desses parâmetros pode promover alterações físicas e químicas na matriz polimérica, modificando sua estrutura e, consequentemente, suas características morfológicas e propriedades mecânicas (Chinma *et al.*, 2013). Nesse contexto, a temperatura de secagem constitui um dos principais fatores capazes de afetar o desempenho dos biofilmes. Quando valores próximos ou superiores à temperatura de transição vítrea do amido são empregados, pode ocorrer maior mobilidade das cadeias poliméricas, possibilitando o rearranjo molecular e processos de recristalização da matriz. Essas alterações influenciam diretamente as propriedades mecânicas dos biofilmes, especialmente sua resistência e estabilidade estrutural (Lima *et al.*, 2021).

Para compreender as alterações promovidas pela temperatura, torna-se essencial utilizar um conjunto de técnicas para determinar os efeitos da variação de temperatura sobre o biofilme. Com isso, são empregadas técnicas como a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e ensaio mecânico. A análise de FTIR permite avaliar modificações estruturais e interações químicas no filme biodegradável por meio de um feixe de infravermelho que incide sobre a amostra, fornecendo espectros das ligações químicas e da organização da



matriz polimérica (Skoog *et al.*, 2002). Por sua vez, os ensaios mecânicos possibilitam avaliar as propriedades características do material como resistência e o comportamento mecânico dos filmes biodegradáveis (Zolin, 2011). Assim, a utilização dessas técnicas possibilita a determinação precisa da influência da temperatura sobre as propriedades do biopolímero.

A avaliação dos efeitos da temperatura sobre biofilmes é fundamental para a otimização das condições de secagem empregadas na produção dos filmes biodegradáveis. Nesse contexto, objetiva-se avaliar a influência de diferentes temperaturas nas propriedades de biofilmes de mesma composição por meio de análises de FTIR e ensaios mecânicos, possibilitando propor uma temperatura de secagem mais adequada para a obtenção de materiais com melhor desempenho estrutural e mecânico.

Material e Métodos

Formulação dos filmes biodegradáveis

Os biofilmes foram produzidos a partir de uma solução filmogênica composta por amido (agente formador de filme), água (solvente) e glicerol (plastificante). Após a homogeneização dos componentes, a solução foi distribuída em moldes circulares e submetida ao processo de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 75, 100 e 115°C, visando avaliar a influência dessa variável sobre as propriedades do material. Após a secagem, os filmes foram acondicionados em condições controladas até a realização das análises de caracterização.

Análise mecânica

As propriedades mecânicas foram determinadas por meio de ensaios realizados no equipamento universal de análise mecânica, a uma velocidade de 20 mm/min, com 0,5 cm de cada extremidade do biofilme fixados nas garras do equipamento, cada filme medindo 4x1 cm, tornando o material apropriado para avaliação do comportamento mecânico. Foram analisados parâmetros relacionados à resistência e à elasticidade dos filmes, permitindo comparar o desempenho das amostras submetidas às diferentes temperaturas de secagem.

Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A caracterização estrutural foi realizada por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), utilizando um equipamento Bruker, modelo Vertex 70v. Os espectros foram obtidos na região do infravermelho médio, na faixa de 4000 a 400 cm⁻¹, sendo utilizados para identificar os principais grupos funcionais presentes na matriz polimérica e avaliar possíveis alterações estruturais decorrentes das diferentes condições de secagem.

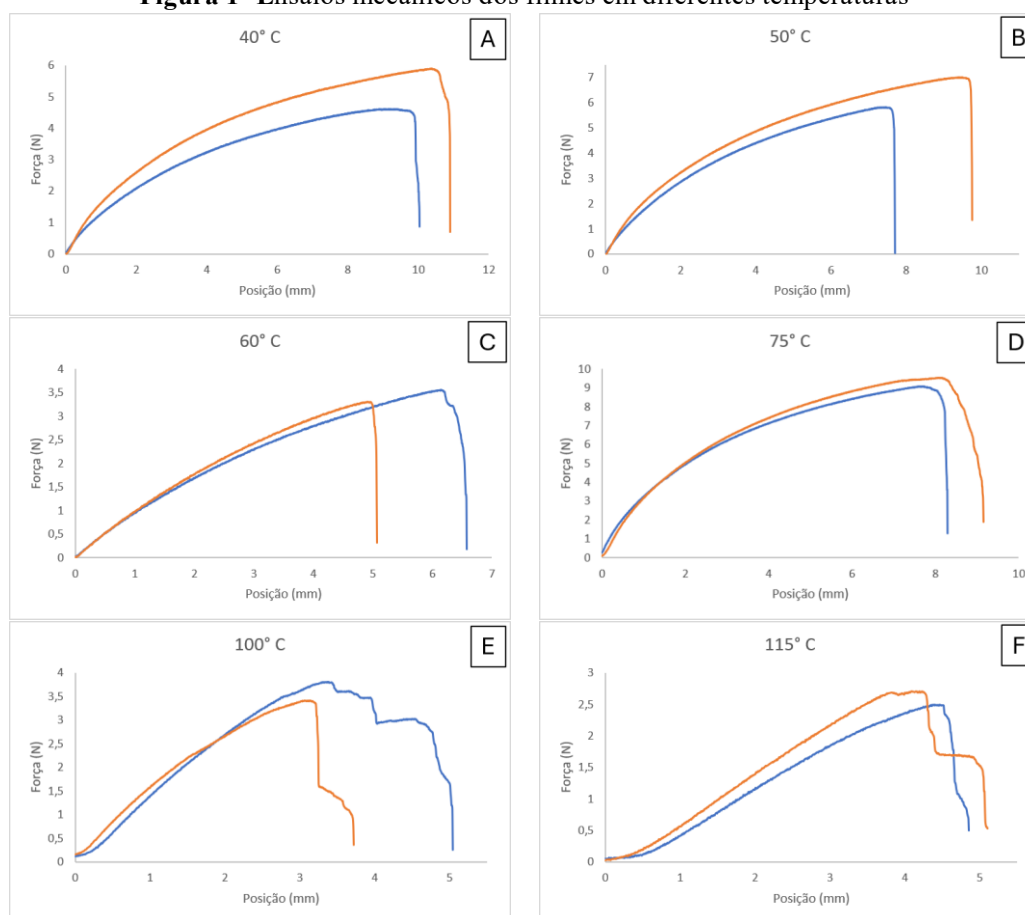
Resultados e Discussão

Os resultados obtidos foram organizados e comparados entre os tratamentos térmicos avaliados, possibilitando analisar a influência da temperatura sobre as propriedades estruturais e mecânicas dos biofilmes e identificar a condição de secagem mais adequada para o material estudado.

Análise mecânica

Os ensaios mecânicos realizados nos biofilmes produzidos em diferentes temperaturas permitiram avaliar a influência dessa variável sobre propriedades como resistência mecânica, elasticidade e rigidez do material. De acordo com Frangopoulos *et al.* (2023) diversos fatores podem afetar o desempenho mecânico de filmes biodegradáveis, destacando-se a concentração de amido, o teor de plastificante, a presença de montmorilonita (MMT) e as condições de processamento, incluindo a temperatura de secagem. Dessa forma, os resultados apresentados na Figura 1 possibilitam analisar a influência da temperatura sobre as propriedades mecânicas dos biofilmes, permitindo verificar como as diferentes condições de secagem afetaram o comportamento estrutural do material.

Figura 1- Ensaios mecânicos dos filmes em diferentes temperaturas



Fonte: Autores, 2026.

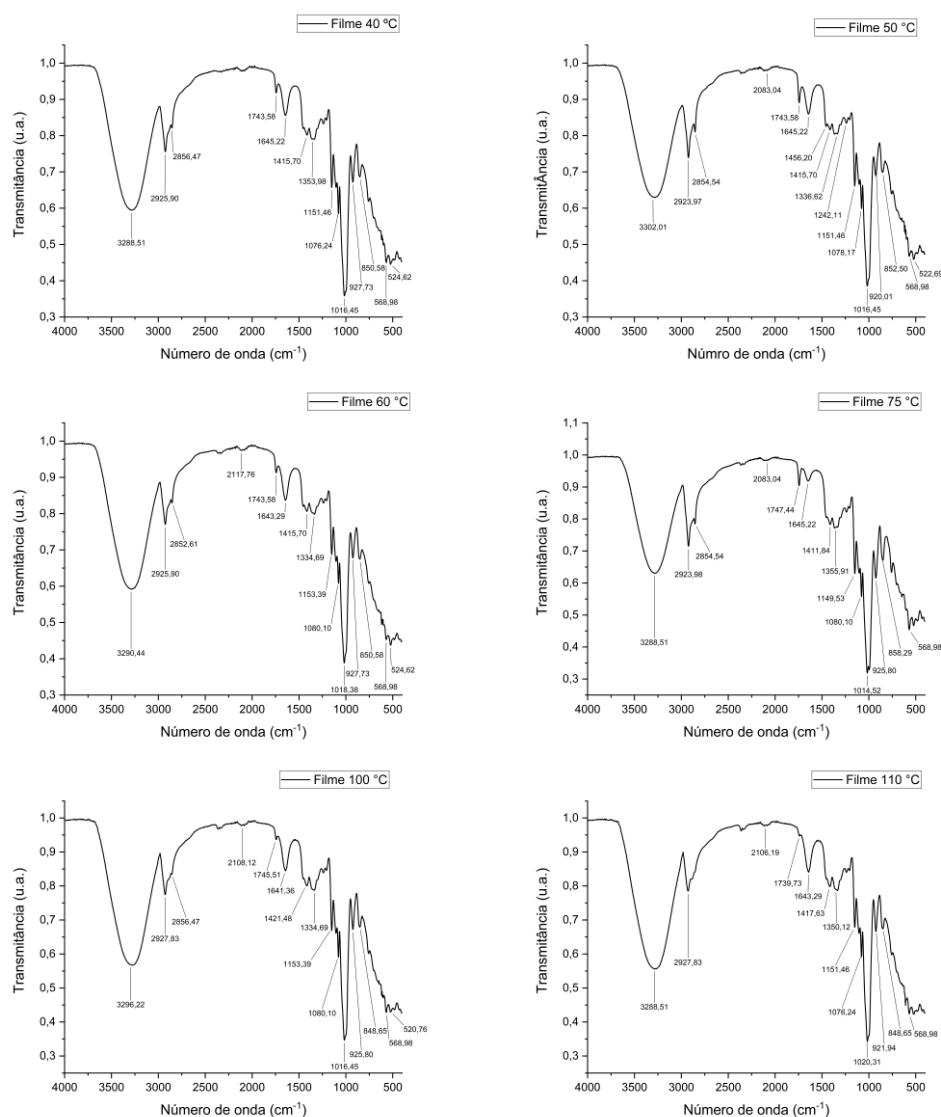
Com base nos resultados da Figura 1, observa-se que os biofilmes produzidos nas temperaturas de 40 a 75°C obtiveram as melhores propriedades, apresentando melhores resistências e elasticidades, contudo, os filmes acima de 75°C apresentaram uma queda significativa na resistência e elasticidade. De acordo com os resultados obtidos por Moreira *et al.* (2022) os biofilmes produzidos com amido de mandioca expressaram resultados próximos

quando comparados aos bioplásticos compostos com amido de milho, todavia, os melhores resultados expressos pela autora foram de biofilmes produzidos à uma temperatura acima de 70°C.

Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A fim de compreender os resultados expressos no ensaio mecânico, são analisados os espectros obtidos por FTIR (Figura 2) e comparados com a Tabela 1 para definir as estruturas dos biofilmes submetidos a diferentes temperaturas.

Figura 2-Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) em diferentes temperaturas



Fonte: Autores, 2026.

Observou-se uma banda na região entre 3288 e 3302 cm⁻¹, atribuída ao estiramento O–H, característica dos grupos hidroxila presentes no amido, no glicerol e na água adsorvida pela matriz. A presença dessa banda evidencia a ocorrência de interações intermoleculares por



ligações de hidrogênio, responsáveis pela coesão estrutural dos biofilmes (Stuart, 2004; Smith, 2018).

As bandas localizadas próximas de 2928 e 2855 cm^{-1} foram atribuídas aos estiramentos assimétrico e simétrico das ligações C–H de grupos metileno (CH_2), respectivamente. Essas bandas são características de cadeias alifáticas e podem estar associadas tanto aos constituintes da matriz polimérica quanto aos compostos lipídicos presentes no óleo de tucumã incorporado ao material (Stuart, 2004; Rohman; Che Man, 2012).

Adicionalmente, foi observada uma banda entre 1743 e 1747 cm^{-1} , atribuída ao estiramento da carbonila ($\text{C}=\text{O}$) de grupos éster. Essa banda é característica dos triacilgliceróis presentes em óleos vegetais, sugerindo a incorporação do óleo de tucumã à matriz filmogênica (Rohman; Che Man, 2012). A manutenção dessa banda em todas as temperaturas avaliadas indica que os grupos éster permaneceram estáveis durante o processo de secagem.

Na região entre 1150 e 1014 cm^{-1} foram observadas bandas atribuídas aos estiramentos C–O e C–O–C, característicos das ligações glicosídicas presentes na estrutura do amido. A permanência dessas bandas em todos os tratamentos térmicos demonstra a preservação da estrutura química básica do biopolímero mesmo após a secagem em diferentes temperaturas (Stuart, 2004; Smith, 2018).

Tabela 1- Bandas características no infravermelho de hidrocarbonetos alifáticos.

Número de onda (cm^{-1})	Atribuição
Alcanos	
2960	Estiramento simétrico C–H de grupos metila (CH_3)
2930	Estiramento assimétrico C–H de grupos metileno (CH_2)
2870	Estiramento simétrico C–H de grupos metila (CH_3)
2850	Estiramento simétrico C–H de grupos metileno (CH_2)
1470	Deformação angular assimétrica C–H de grupos metila (CH_3)
1465	Deformação tipo tesoura (scissoring) de grupos metileno (CH_2)
1380	Deformação angular simétrica C–H de grupos metila (CH_3)
1305	Oscilação (wagging) de grupos metileno (CH_2)
1300	Torção (twisting) de grupos metileno (CH_2)
720	Oscilação de balanço (rocking) de grupos metileno (CH_2)
Alcenos	
3100–3000	Estiramento $=\text{C}-\text{H}$
1680–1600	Estiramento $\text{C}=\text{C}$
1400	Deformação $=\text{C}-\text{H}$ no plano
1000–600	Deformação $=\text{C}-\text{H}$ fora do plano
Alcinos	
3300–3250	Estiramento $\equiv\text{C}-\text{H}$
2260–2100	Estiramento $\text{C}\equiv\text{C}$
700–600	Deformação $\equiv\text{C}-\text{H}$

Fonte: Adaptado de STUART (2004).



Desta forma, embora tenham sido observadas diferenças no comportamento mecânico dos biofilmes, os espectros de FTIR não apresentaram o surgimento ou desaparecimento de bandas significativas em função da temperatura. Esse resultado sugere que as alterações observadas nos ensaios mecânicos estão relacionadas principalmente a modificações físicas na organização da matriz polimérica, como rearranjo molecular, alterações na cristalinidade e na interação entre as cadeias poliméricas, e não a mudanças químicas expressivas na composição do material.

Conclusões

A temperatura de secagem influenciou diretamente as propriedades dos biofilmes produzidos a partir de amido, água, glicerol e óleo de tucumã. Os ensaios mecânicos demonstraram que a variação da temperatura afeta o desempenho estrutural do material, refletindo em alterações de resistência e elasticidade. Por sua vez, as análises de FTIR evidenciaram a manutenção dos principais grupos funcionais da matriz polimérica em todas as condições avaliadas, indicando que o tratamento térmico não promoveu modificações químicas significativas. Dessa forma, conclui-se que as diferenças observadas entre os biofilmes estão associadas predominantemente a alterações físicas e estruturais decorrentes do processo de secagem, permitindo identificar a faixa de temperatura mais adequada para a obtenção de materiais com melhores propriedades mecânicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a utilização dos equipamentos do Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões da UFPA (LEVAP/ UFPA) e ao Laboratório de Biossoluções da Amazônia (LABA).

Referências

- CHINMA, C. E.; ARIAHU, C. C.; ALAKALI, J. S. Efeito da temperatura e umidade relativa sobre a permeabilidade ao vapor d'água e as propriedades mecânicas dos filmes comestíveis à base de amido de mandioca e concentrados de proteína de soja. **Revista de ciência e tecnologia dos alimentos**, 11 de dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1227-0>. Acesso em: 28 de jul. 2026.
- FRANGOPOULOS, T.; MARINOPOULOU, A.; GOULAS, A.; LIKOTRAFITI, E.; RHOADES, J.; PETRIDIS, D.; KANNIDOU, E.; STAMELOS, A.; THEODORIDOU, M.; ARAMPATZIDOU, A.; TOSOUNIDOU, A.; TSEKMES, L.; TSICHLAKIS, K.; GKIKAS, G.; TOURASANIDIS, E.; KARAGEORGIU, V. Otimização das propriedades funcionais de filmes biodegradáveis à base de amido. **Foods** (Basel, Suíça), 24 de jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12142812>. Acesso em: 29 de jul. 2026.
- LIMA, L. S. N. H.; SILVA JUNIOR, M. A. DE M.; NUNES, A. O.; MEDEIROS, F. G. M. DE; RODRIGUES, D. DA C.; BASTOS, M. do S. R.; MATSUI, K. N. Produção e caracterização dos filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca: influência da temperatura de secagem. **Portal Embrapa**, 2021. Disponível em: [10.47402/ed.ep.c202153726097](https://doi.org/10.47402/ed.ep.c202153726097). Acesso em: 28 de jul. 2026.
- MOREIRA, C.; SCHNEIDER, B. S.; KUNST, S. R.; MORISSO, F. D. P.; OLIVEIRA, C. T.; MACHADO, T. C. Desenvolvimento e caracterização de compósitos bioplásticos à base de amido de milho com diferentes materiais



de reforço. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35676>. Acesso em: 29 de jul. 2026.

ROHMAN, A.; CHE MAN, Y. B. Analysis of fats and oils by FTIR spectroscopy. **Food Reviews International**, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/05704928.2011.619020>. Acesso em: 30 de jul. 2026.

SILVA, L. C.; DIAS, Í. V. Comparação visual de bioplástico de amido de milho com e sem adição de nanocelulose do pseudocaule de bananeira. **Revista Ifes Ciência**, v. 10, n. 1. 25 de mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36524/ric.v10i1.2404>. Acesso em: 27 de jul. 2026.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. *Princípios de análise instrumental*. 5 ed. 2002.

SMITH, B. C. *Infrared Spectral Interpretation: A Systematic Approach*. Boca Raton: CRC Press, 2018.

STUART, B. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

ZOLIN, Ivan. *Ensaio Mecânicos e Análises de Falhas*. e-Tec Brasil, 2011. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/15_ensaios_mecanicos_analises_falhas.pdf. Acesso em: 29 de jul. 2026.