

Desenvolvimento e Caracterização de Biofilmes de amido de mandioca (Manihont esculenta Crantz) com diferentes concentrações de Sílica gel em pó como reforço polimérico

Sara Correa Souza¹ ; Luzilene Sousa Rosas².

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a produção de biofilmes por meio do método de secagem por moldagem, conhecido como casting, utilizando amido de fécula de mandioca como matriz polimérica e sílica gel em pó em diferentes concentrações. A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar, à temperatura constante de 40 C, durante 8 horas. Após esse processo, os biofilmes foram armazenados, para a realização de análises físicas e mecânicas. A pesquisa visa investigar parâmetros como espessura, resistência, flexibilidade e integridade dos filmes, buscando desenvolver matérias biodegradáveis com potencial aplicação em embalagens sustentáveis. O uso de matérias-primas acessíveis e ambientalmente adequadas contribui para proposta de alternativas ecológicas no setor de embalagens, alinhando-se às demandas por soluções na indústria de materiais poliméricos.

Palavras-chaves: Biofilmes. Amido de mandioca. Sílica gel. Casting. Materiais biodegradáveis.

Financiamento: O presente estudo foi financiado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) Campus Zé Doca.

Introdução

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo uso excessivo de polímeros sintéticos, especialmente devido à sua baixa biodegradabilidade, tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, como os biopolímeros. Esses materiais, oriundos de fontes renováveis, são capazes de se decompor em ambientes

1 Estudante do Curso de Licenciatura em Química do IFMA-Campus Zé Doca; E-mail: sara.souza@acad.ifma.edu.br.

2 Professora do Curso de Licenciatura em Química do IFMA-Campus Zé Doca; E-mail: luzilenerosas@ifma.edu.br

naturais por ação de microrganismos, representando uma alternativa promissora aos plásticos convencionais (BRITO et al., 2011). Dentre os biopolímeros, destaca-se o amido, uma macromolécula presente em diversas plantas, com destaque para a fécula de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), amplamente estudada devido à sua abundância, baixo custo e propriedades filmogênicas (DA RÓZ, 2004; LAROTONDA, 2002).

Diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o objetivo de desenvolver e caracterizar biofilmes à base de amido de mandioca, aplicando técnicas como o casting, que permite a formação de filmes por espalhamento e secagem de soluções filmogênicas. Os trabalhos de Silva et al. (2021) e Gomes (s.d.) evidenciam a eficácia dessa técnica na produção de filmes incorporados com extratos naturais, como o de própolis, com potencial atividade antimicrobiana. Outras abordagens incluem a incorporação de agentes reforçantes como nanocelulose, quitosana, polpa de frutas, entre outros aditivos naturais, buscando melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e funcionais dos filmes (FERREIRA; BENTO, 2013).

Considerando os impactos ambientais causados pelo acúmulo de resíduos plásticos oriundos do petróleo, torna-se imprescindível a realização de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de materiais biodegradáveis, capazes de substituir o plástico convencional em diversas aplicações. Além dos benefícios ambientais, há também uma dimensão econômica significativa, uma vez que tais alternativas podem reduzir a dependência de recursos não renováveis e promover maior sustentabilidade na cadeia produtiva.

Nesse contexto, a presente pesquisa destaca-se por contribuir além de soluções inovadoras para o problema ambiental, valorizar a mandioca produzida regionalmente, conferindo-lhe um potencial tecnológico e econômico ampliado. Ademais, a utilização da sílica gel como agente de reforço em compósitos representa um avanço metodológico relevante, dado o número reduzido de estudos existentes sobre essa abordagem, o que abre caminhos promissores para futuras investigações científicas.

Metodologia

O biofilme está sendo elaborado por meio do método de secagem por moldagem (casting), uma técnica amplamente utilizada na obtenção de filmes poliméricos. O processo envolve o uso de amido de mandioca, glicerol como plastificante e água destilada e adição de sílica gel em pó em diferentes concentrações, com o objetivo de estudar as características físicas do biofilme formado.

Os materiais utilizados no experimento incluem fécula de mandioca, glicerol, sílica gel em pó e água destilada como reagentes principais, além de equipamentos como balança analítica, termômetro, placas de Petri, forma de pão (quadradas e redondas), etiquetas, agitador magnético, proveta, bastão de vidro, espátulas, estufa de secagem, béquer, chapa aquecedora e garras para sustentação e controle das condições reacionais.

Para padronizar os experimentos, foi adotado o seguinte protocolo:

1. Pesagem dos reagentes: foram pesados 5 g de fécula de mandioca, quantidades variáveis de glicerol (0,86 a 2,0 g) e sílica gel em pó 0,5 g, utilizando balança analítica.
2. Preparo da solução aquosa: em um béquer de 250 ml, adicionaram-se 100 ml de água destilada, seguida da dispersão do amido
3. Adição do plastificante: o glicerol foi incorporado à mistura, sob agitação magnética por cerca de 2 a 3 minutos.
4. Adição da sílica: adicionou-se a sílica gel em pó, homogeneizando até completa dispersão.
5. Aquecimento: as soluções foram submetidas a banho-maria (50 a 65 °C) sob agitação magnética por 12 a 30 minutos.
6. Resfriamento: após o tempo estipulado, a mistura foi deixada resfriar por alguns minutos à temperatura ambiente.
7. Moldagem: a solução ainda viscosa foi vertida em formas de pão (redondas ou quadradas com cavidades), em volumes controlados (20, 25, 30 ou 100 ml).
8. Secagem: as formas foram levadas à estufa a 45 °C por até 8 horas, dependendo da formulação.

Tabela 1: Formulações experimentais

Amostra	Amido (g)	Sílica (g)	Glicerol (g)	Água destilada (ml)
1	5,00	0,5	0,86	100
2	5,00	0,5	1,0	100
3	5,00	0,5	1,30	100
4	5,00	0,5	1,45	100
5	5,00	0,5	1,48	100
6	5,00	0,5	1,55	100
7	5,00	0,5	1,57	100
8	5,00	0,5	1,60	100
9	5,00	0,5	2,00	100

Fonte: A autoria própria (2025).

Tabela 2: Condições experimentais

Amostra	Tempo de preparo (min)	Temp. (°C)	Estufa (°C)	Tempo de secagem
1	15	50	45	8 h
2	22	50	45	8 h
3	15	50	45	8 h
4	30	50	45	8 h
5	15	50	45	8 h
6	15	50	45	8 h
7	15	50	45	8 h
8	15	50	45	8 h
9	10	50	45	8 h

Fonte: Autoria própria (2025).

Resultados e Discussão

Na amostra 1, composta por 5 g de amido, 0,86 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água, o biofilme obtido apresentou excelente maleabilidade e resistência, com superfície lisa, transparente e sem a presença de bolhas ou rasuras. Observou-se que, ao utilizar formas de pão quadradas com 100 ml de solução, o filme aderiu de maneira uniforme e foi facilmente removido. Diversas replicadas realizadas em dias diferentes confirmaram a reprodutibilidade da formulação.

Figura 1: Amostra 1 – Biofilme uniforme, liso e maleável.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 2: Composta por 5 g de amido, 1 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O filme apresentou boa maleabilidade e facilidade de remoção. Observou-se que o aumento da temperatura acelerou o processo de secagem. Apesar de

pequenas imperfeições superficiais, o filme manteve aspecto semelhante ao plástico. Esse resultado indica que a formulação é promissora, embora ajustes finos possam otimizar a resistência estrutural.

Figura 2: Amostra 2 – Biofilme maleável, com pequenas imperfeições superficiais.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 3: Composta por 5 g de amido, 1,30 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O filme apresentou fragilidade e dificuldade de remoção, embora ainda conservasse a integridade mínima de um biofilme. A análise sugere que a concentração de glicerol utilizada comprometeu parcialmente a coesão estrutural.

Figura 3: Amostra 3 – Biofilme frágil, de difícil remoção.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 4: Composta por 5 g de amido, 1,45 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O biofilme apresentou superfície lisa e maleabilidade satisfatória, embora com pequenas rasuras superficiais. A aparência do filme se assemelhou a filmes plásticos comerciais, demonstrando que a formulação está próxima de condições ideais.

Figura 4: Amostra 4 – Biofilme liso, maleável e com pequenas rasuras.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 5: Composta por 5 g de amido, 1,48 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O filme apresentou fragilidade significativa, superfície dura e tendência à fratura, indicando que a concentração de glicerol começou a comprometer a integridade mecânica do biofilme.

Figura 5: Amostra 5 – Biofilme quebradiço e rígido.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 6: Composta por 5 g de amido, 1,55 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O biofilme apresentou dificuldade de remoção e diversas imperfeições superficiais, indicando baixa uniformidade e fragilidade estrutural.

Figura 6: Amostra 6 – Biofilme frágil com rasuras.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 7: Composta por 5 g de amido, 1,57 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O filme apresentou fragilidade, com tendência a formar dobras durante a manipulação, indicando que o aumento progressivo de glicerol comprometeu a coesão estrutural do material.

Figura 7: Amostra 7 – Biofilme quebradiço e com dobras.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 8: Composta por 5 g de amido, 1,60 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O biofilme mostrou-se frágil e difícil de remover, evidenciando que a formulação não favoreceu a obtenção de um filme estruturado.

Figura 8: Amostra 8 – Biofilme altamente quebradiço e de difícil remoção.



Fonte: Autoria própria (2025)

Amostra 9: Composta por 5 g de amido, 2,00 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água. O filme apresentou textura mole, instável e propensa a enrolar sobre si mesmo, demonstrando que a concentração elevada de glicerol comprometeu completamente a integridade estrutural.

Figura 9: Amostra 9 – Biofilme mole e instável, enrolando-se sobre si.



Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos indicam que a formulação dos biofilmes à base de fécula de mandioca é altamente influenciada pela concentração de plastificante (glicerol), presença de sílica em gel e pelo volume de solução utilizado na moldagem. Observou-se que concentrações mais baixas de glicerol (como na Amostra 1, 0,86 g) produziram biofilmes maleáveis, resistentes, com superfície lisa e transparente, sem formação de bolhas ou rasuras. Por outro lado, concentrações elevadas de glicerol (Amostras 7 a 9, entre 1,57 g e 2,00 g) resultaram em filmes frágeis, quebradiços ou com tendência a enrolar-se sobre

si mesmos, evidenciando que o excesso de plastificante compromete a coesão estrutural da matriz polimérica (Silva et al., 2021; Ferreira e Bento, 2013).

A presença de sílica em gel contribuiu para a resistência mecânica dos biofilmes, reforçando sua estrutura e promovendo maior estabilidade durante a manipulação, corroborando estudos anteriores que mostram que aditivos inorgânicos podem melhorar a integridade de filmes poliméricos (Costa, 2022; Oliveira, 2020).

A técnica de casting mostrou-se adequada para a produção de biofilmes homogêneos e reprodutíveis. Observou-se que volumes acima de 25 ml e 30 ml dificultaram a remoção dos filmes e provocaram aderência excessiva aos moldes, enquanto o volume de 100 ml favoreceu a formação de filmes uniformes e com propriedades mecânicas desejáveis. Tais achados estão de acordo com relatos da literatura, que indicam que a espessura do filme e o volume da solução influenciam diretamente a uniformidade, resistência e maleabilidade dos biofilmes (Gomes; Almeida, 2019; Silva et al., 2021).

A análise comparativa entre as amostras evidencia a importância do equilíbrio entre os componentes da solução filmogênica. O amido, principal componente da matriz, confere estrutura e coesão, enquanto o plastificante promove flexibilidade, evitando que o filme se torne quebradiço. A sílica em gel atua como reforço, aumentando a resistência mecânica. Estudos destacam que a composição do amido, formada por amilose (20 a 30%) e amilopectina (70 a 80%), influencia diretamente a formação, transparência e integridade estrutural do biofilme (Da Róz, 2004; Larotonda, 2002).

Além das propriedades físicas e mecânicas, os biofilmes produzidos demonstraram potencial sustentável, apresentando características compatíveis com filmes biodegradáveis. Isso reforça a relevância do uso de polímeros naturais como alternativa aos plásticos sintéticos, cuja decomposição é lenta e contribui para o acúmulo de resíduos ambientais (Brito et al., 2011; Brown et al., 2021). A obtenção de biofilmes biodegradáveis, maleáveis e resistentes é um avanço para aplicações em embalagens sustentáveis e comestíveis, alinhando-se às tendências atuais de desenvolvimento de materiais ecológicos (Nunes da Silva et al., 2021; Souza et al., 2022).

Em síntese, os resultados indicam que a formulação ideal para obtenção de biofilmes de fécula de mandioca combina 5 g de amido, 0,86 g de glicerol, 0,5 g de sílica em gel e 100 ml de água, aplicada em volumes de 100 ml por molde. Formulações com excesso de plastificante ou volumes maiores comprometeram a integridade estrutural e a

uniformidade do filme, destacando a necessidade de ajustes finos para otimização das propriedades mecânicas e físicas.

Tabela 3: Comparação das propriedades dos biofilmes conforme a composição.

Amostra	Glicerol (g)	Maleabilidade	Resistência	Superfície	Remoção	Observações
1	0,86	Alta	Alta	1	Fácil	Filme uniforme, maleável e resistente, ideal
2	1,00	Média-Alta	Média	Lisa, algumas bolhas	Fácil	Aspecto de plástico, algumas rasuras, secagem mais rápida
3	1,30	Média	Baixa	Lisa, sem uniformidade	Difícil	Quebradiço, estrutura fragilizada
4	1,45	Média	Média	Lisa, algumas rasuras	Média	Aspecto de filme plástico, maleável
5	1,48	Média	Baixa	Lisa, quebradiça	Difícil	Filme duro, totalmente quebradiço
6	1,55	Baixa	Baixa	Rasurada	Difícil	Filme cheio de rasuras, difícil manipulação
7	1,57	Baixa	Baixa	Rasurada	Difícil	Quebradiço, formas dobradas
8	1,60	Baixa	Muito baixa	Rasurada	Muito difícil	Totalmente quebradiço, estrutura instável
9	2,00	Muito baixa	Muito baixa	Mole, irregular	Muito difícil	Enrola-se sobre si mesmo, muito frágil

Fonte: autoria própria (2025).

Conclusões

O desenvolvimento do presente projeto resultou na produção de biofilmes à base de fécula de mandioca, demonstrando a viabilidade de sua elaboração. O estudo possibilitou compreender os fatores que influenciam as propriedades dos filmes e evidenciou a importância das condições de armazenamento para sua estabilidade. Apesar das limitações encontradas, foi possível atingir o objetivo principal da pesquisa, estabelecendo uma base metodológica relevante para futuros trabalhos voltados à caracterização e ao aprimoramento dos biofilmes, com vistas a aplicações sustentáveis.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA) pelo apoio financeiro à pesquisa e ao Laboratório de Química do Campus Zé Doca.

Referências

ALMEIDA, Juliana da Rocha. *Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz*. 2019. Dissertação (Mestrado em

Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

BRITO, G. M. de et al. *A aplicação de polímeros biodegradáveis como uma alternativa sustentável*. 2011.

Brown, A. et al. (2021). *Estratégias para a transição para materiais sustentáveis em embalagens: uma análise abrangente*. *Ciência e Tecnologia Ambiental*, 45(14), 6147-6156.

COSTA, Diego Lopes. *Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão*. 2022. TCC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2022.

DA RÓZ, A. L. *A utilização do amido na produção de materiais biodegradáveis*. 2004.

FERREIRA, M. S.; BENTO, A. P. *Desenvolvimento e caracterização de biofilmes comestíveis*. 2013.

FELICIO, Polyanna Batista. *Polímeros sintéticos: aplicações, características e propriedades a partir de uma transposição didática*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2022.

FERREIRA, Daniela Cristina. *Efeito do processamento e das condições ambientais nas propriedades de materiais*. 2018. Monografia – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

GOMES, Maria Leticia de Sousa. *Filmes biodegradáveis de mandioca (Manihot esculenta Crantz): uma revisão*. [S.l.: s.n.], [s.d.].

LAROTONDA, F. D. S. *Propriedades do amido e aplicação em embalagens biodegradáveis*.

LIMA, Janaina Sousa de. *Desenvolvimento e caracterização de biofilme à base de amido de mandioca (Manihot esculenta) e jambu (Acmella oleraceae)*. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

SOUSA, Tainara et al. *Desenvolvimento e caracterização de filmes e blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca para revestimento em frutos*. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjvras/a/9ymdB4CgFGVqHL5n9XhFpGS/?lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SILVA, Layanne Pereira da. *Desenvolvimento e caracterização de filme de fécula de mandioca (Manihot esculenta) reforçado com nanocelulose extraída de resíduo de pupunha (Bactris gasipaes Kunth)*. 2020. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

SILVA, Daniela dos Santos. *Produção de filmes comestíveis biodegradáveis a partir de bagaço de malte ou subprodutos do processamento de mandioca*. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019.

SOUZA, José Carlos Lima de. *Elaboração de biofilmes de fécula de mandioca e avaliação do seu uso na imobilização de caulinita intercalada com ureia*. 2019. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SANTOS, Marília Farias dos. *Espalhamento e secagem de filme de amido-glicerol-fibra preparado por “tape-casting”*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

SOUSA, Thamires Silva. *Desenvolvimento de soluções filmogênicas para a produção de filmes biodegradáveis, comestíveis e com atividade antioxidante: revisão sistemática*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.