



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CEFET- MG

Lorena Pissolati de Almeida

**DESENVOLVIMENTO DE BIOFILME A BASE DE AMIDO ENRIQUECIDO COM
DERIVADO DA VANILINA PARA USO COMO EMBALAGEM ATIVA EM
ALIMENTOS**

Belo Horizonte

2025

Lorena Pissolati de Almeida

**DESENVOLVIMENTO DE BIOFILME A BASE DE AMIDO ENRIQUECIDO COM
DERIVADO DA VANILINA PARA USO COMO EMBALAGEM ATIVA EM
ALIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em Química
Tecnológica.

Orientadora: Profa. Dra. Flavia Augusta
Guilherme Gonçalves

Coorientadores: Profa. Dra. Adriana Akemi
Okuma e Prof.Dr. Leonel da Silva Teixeira

Belo Horizonte

2025

Lorena Pissolati de Almeida

**DESENVOLVIMENTO DE BIOFILME A BASE DE AMIDO ENRIQUECIDO COM
DERIVADO DA VANILINA PARA USO COMO EMBALAGEM ATIVA EM
ALIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado
em Química Tecnológica
CEFET- MG

Belo Horizonte, 22 de junho de 2025

Prof^a. Dr^a. Flavia Augusta Guilherme Gonçalves
(Orientadora – CEFET- MG)

Prof^a. Dr^a. Adriana Akemi Akuma
(Coorientadora – CEFET - MG)

Prof. Dr. Leonel da Silva Teixeira
(Coorientador – CEFET - MG)

Luciene e Silvio, meus pais, meus exemplos de amor, carinho e dedicação; Flávia e Adriana, que me auxiliaram e me instruíram.

Deus e Nossa Senhora, meu porto seguro, fontes de amor inesgotável que sempre me mantiveram de pé e forte durante toda a jornada.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho só foi possível com o apoio e cuidado de pessoas que me rodearam ao longo da minha jornada acadêmica. E Deus e Nossa Senhora me abençoando e iluminando meus caminhos, para que com muita dedicação fosse possível concluir essa árdua etapa da minha vida.

A professora doutora Flávia Augusta Guilherme Gonçalves, a professora doutora Adriana Akemi Okuma e o professor doutor Leonel da Silva Teixeira que foram fonte de ensinamento, aprendizado e instrução durante a construção e execução desse trabalho. Pela compreensão, pelo conhecimento e pelo direcionamento. Concomitantemente aos professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica e meu crescimento pessoal. Em especial a Professora Janice Cardoso Pereira, coordenadora do curso, que sempre foi um pilar de apoio nessa jornada, além de um exemplo de profissional.

À minha família, em especial a minha mãe e meu pai, pelo apoio, suporte e encorajamento. Por sempre estarem presente em cada momento de dificuldade e serem fonte de força para persistir. O amor e o apoio de vocês deixaram o fardo acadêmico mais leve e foi crucial para vencer cada etapa e desafio até aqui.

Aos meus amigos que conheci durante a jornada da vida e que sempre estiveram presentes em minha vida. Aos amigos e colegas do CEFET-MG que me apoiaram e ajudaram-me por todo caminho acadêmico. Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, fizeram parte desse processo, e que contribuíram para a execução deste trabalho.

ABSTRACT

The use of plastics in single-use food packaging results in high levels of waste production, which decomposes slowly, leading to environmental imbalance and serious harm to the ecosystem. As a sustainable and low-cost alternative, biofilms using starch as their matrix have emerged in this context. Simultaneously, the incorporation of active compounds into these biofilms adds new functionalities, allowing them to be used as active food packaging. In this study, biodegradable biofilms were developed using an adapted casting method based on starch. Additionally, following the principles of green chemistry, 4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-3-buten-2-one, a vanillin derivative, was synthesized and incorporated into the biofilm. The synthesized derivative conferred photoprotective properties to the biofilm, delaying oxidation reactions in food, thereby extending shelf life and preserving the sensory qualities of shoestring potatoes compared to the control test. The biofilms exhibited satisfactory thickness. However, it was observed that both their solubility and moisture content are characteristics that could be improved to broaden their application in the food industry. Finally, this work aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) and the principles of green chemistry, offering an ecologically sustainable and economically viable solution for packaging in the food sector.

Keywords: Biodegradable films, Starch, Green synthesis, Active packaging, Photoprotection.

RESUMO

A aplicação de plásticos em embalagens alimentícias de uso único gera uma alta produção de resíduos que tem uma taxa de decomposição lenta, ocasionando em um desequilíbrio ambiental e sérios problemas ao meio ambiente. O uso de biofilmes, que possuem amido como sua matriz, surgem como uma alternativa sustentável e de baixo custo a esse contexto. Concomitantemente a isso, a incorporação de compostos ativos a esses biofilmes agrega outras funcionalidades podendo então serem aplicados como embalagens ativas em alimentos. Nesse trabalho, portanto, desenvolveram-se biofilmes biodegradáveis por meio do método de Casting adaptado, à base de amido, e sintetizou-se, seguindo os preceitos da química verde, a 4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona), um derivado da vanilina, foi incorporado ao biofilme. O derivado sintetizado adicionou caráter fotoprotetor ao biofilme retardando as reações de oxidação em alimentos e conseqüentemente aumentando a vida de prateleira e mantendo as qualidades sensoriais da batata palha em relação ao teste controle. Os biofilmes apresentaram uma boa espessura. Entretanto, observou-se que tanto a sua solubilidade quanto seu teor de umidade são características que podem ser aprimorados para aumentar a abrangência de aplicação na indústria de alimentos. Por fim, o trabalho alinhou-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos princípios da química verde, promovendo uma solução ecologicamente sustentável e economicamente viável para o uso em embalagens pelo setor alimentício.

Palavras-chave: Filmes biodegradáveis, Amido, Síntese verde, Embalagens ativas, Fotoprotetor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estruturas da Amilose e da Amilopectina.....	4
Figura 2- Estrutura química da 4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona	5
Figura 3- Híbrido de ressonância do derivado aniônico da acetona.....	13
Figura 4- Mecanismo de reação entre a Vanilina e o enolato de sódio.....	14
Figura 5- Alterações da coloração da mistura reacional durante a síntese do derivado da Vanilina	15
Figura 6- Biofilmes e a alteração da coloração de acordo com a massa de aditivo ..	17
Figura 7- Formulação dos filmes ao atingir a temperatura de gelatinização	17
Figura 8- Biofilme e sua transparência logo após o processo de gelatinização do amido	18
Figura 9- Coloração e aspecto visual dos biofilmes após secagem a 105°C	22
Figura 10- Coloração da água e dos filmes após o teste de solubilidade	24
Figura 11- Espectro de transmitância para os biofilmes com 0,1% de aditivo	28
Figura 12- Espectro de Transmitância para os biofilmes com 0,2% de aditivo	28
Figura 13- Espectro de Transmitância para os biofilmes com 0,3% de aditivo	29
Figura 14- Registro do primeiro dia de aplicação dos biofilmes em alimento.....	30
Figura 15 - Aparência após quinze dias de aplicação dos biofilmes em alimento.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulação dos biofilmes em relação a quantidade de aditivo	10
Tabela 2 - Rendimento reacional da síntese do 4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona	16
Tabela 3- Resultados para a uniformidade dos filmes para as três concentrações de aditivo	19
Tabela 4- Resultados obtidos para espessura dos biofilmes	19
Tabela 5 - Resultados obtidos para gramatura e densidade	20
Tabela 6- Resultados para o teor de umidade dos filmes	21
Tabela 7: Resultados para a solubilidade em água dos filmes.....	23
Tabela 8 -Valores médios, valores de $F_{\text{calculado}}$ e valor de $F_{\text{crítico}}$	25
Tabela 9 - Valores de DMS para gramatura dos biofilmes	26
Tabela 10- Valores de DMS para densidade dos biofilmes.....	26
Tabela 11- Valores de DMS para o teor de umidade dos biofilmes	26
Tabela 12- Valores de DMS para a solubilidade dos biofilmes	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
	2.1 Objetivos específicos.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
	3.1 Amido como matriz polimérica para biofilmes.....	3
	3.2 A 4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona e suas especificidades.....	5
	3.3 Embalagens ativas e sua sustentabilidade.....	6
	3.4 Biofilmes como embalagens alimentícias e sua vida de prateleira.....	7
	3.5 Alimentos ricos em ácidos graxos e suas reações oxidativas.....	8
4	METODOLOGIA.....	9
	4.1 Síntese Verde do derivado da Vanilina.....	9
	4.2 Desenvolvimento do biofilme.....	10
	4.3 Análises para caracterização das propriedades do biofilme.....	11
	4.4 Aplicação do biofilme em alimentos.....	12
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
	5.1 Síntese verde do derivado da Vanilina.....	13
	5.2 Desenvolvimento do biofilme e avaliação das suas propriedades.....	16
	5.3 Aplicação do biofilme em alimentos.....	30
6	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O uso de embalagens plásticas é amplamente difundido por ser uma opção mais prática, versátil e de baixo investimento. Além disso, esse tipo de embalagem possui uma capacidade de conservação e fatores que contribuem para a segurança e a durabilidade dos produtos. O Brasil é um dos maiores produtores de resíduos plásticos, gerando mais de 11 milhões de toneladas por ano (Abrelpe, 2020). De acordo com Lima *et al.* (2019), aproximadamente 40% do plástico produzido no país são empregados no setor de embalagens. Sendo o setor de produtos alimentícios, um dos que mais consome embalagens plásticas de aplicação única, corroborando para a geração de resíduos em grande escala, que é destinada a aterros ou a ecossistemas terrestre e aquático (Santos; Almeida, 2020).

Diante da crescente preocupação devido ao impacto ambiental, o uso das embalagens plásticas apresenta desafios expressivos, principalmente ocasionados pelo descarte inadequado e a baixa escala de reciclagem dessas embalagens após o consumo (Abrelpe, 2021). Tendo em vista esse cenário, a busca por alternativas sustentáveis vem crescendo, dentre elas o desenvolvimento de biofilmes formulados a base de amido e de produtos naturais, surgindo como uma opção biodegradável (Silva; Almeida, 2019).

Os biofilmes são películas finas formadas a partir de biopolímeros naturais, como o amido e a gelatina que são facilmente decompostas não gerando resíduos tóxicos (Costa; Medeiros, 2018). Esses biofilmes podem ser aplicados como embalagens ativas, o que agrega uma segunda funcionalidade às embalagens além da proteção física aos alimentos. Assim, a adição de antioxidantes e antimicrobianos, proporcionam funcionalidades adicionais que ajudam a prolongar a vida de prateleira de alimentos e manter as propriedades sensoriais do alimento, com enfoque nas propriedades nutricionais (Rajha *et al.*, 2020).

Dentre as bases poliméricas para biofilmes, o amido é uma das mais utilizadas na produção de biofilmes, em virtude de sua vasta disponibilidade, custo acessível e propriedades favoráveis, principalmente em relação ao desenvolvimento de filmes transparentes com boa maleabilidade (Fernandes *et al.*, 2021). Todavia, esse tipo de base polimérica, isoladamente, apresenta restrições como a resistência à água reduzida e a suscetibilidade a alguns microrganismos, sendo, portanto,

associado a aditivos a fim de aperfeiçoar suas características (Martins; Santos, 2019).

A vanilina (*4-hidroxi-3-metoxibenzaldeido*), o principal composto responsável pelo aroma e sabor característicos da baunilha, é amplamente utilizada nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. E possui derivados da sua síntese verde como o *4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona*, seu derivado primário. Estudos abordam que esse derivado possui propriedades fotoprotetora (Leite, 2016), sendo assim, este se apresenta como um bom aditivo dentre as opções para a agregar a funcionalidade de fotoproteção.

Tendo em vista tais fatos, a produção de biofilmes a base de amido e enriquecidos com aditivos, ocasionam na formulação de embalagens com propriedades funcionais na segurança dos alimentos e que caminham em prol da sustentabilidade. Estudos abordam que a incorporação de aditivos em biofilmes com base polimérica de amido tende a aperfeiçoar a resistência do material e potencializar uma ação prolongada de liberação de compostos bioativos, gerando uma barreira que auxilia na conservação dos alimentos e podem prolongar sua vida de prateleira (Rodrigues; Silva, 2022).

O presente trabalho tem como finalidade desenvolver um biofilme à base de amido enriquecido com *4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona*, com foco em sua aplicação como embalagem ativa em alimentos. Propondo avaliar a capacidade fotoprotetora do biofilme desenvolvido e, concomitantemente contribuindo para o avanço da ciência no estudo de materiais sustentáveis pela proposição de uma alternativa viável e inovadora às embalagens convencionais no setor alimentício, fortalecendo assim, práticas sustentáveis e incentivando o uso de recursos naturais renováveis.

2 OBJETIVOS

Desenvolver um biofilme a base de amido e incorporado com derivado da Vanilina, obtido por síntese verde, para uso em embalagens e revestimentos para alimentos.

2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho em questão foram:

- Desenvolver um biofilme a base de amido;
- Sintetizar, usando os preceitos da química verde o derivado da Vanilina a *4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona*;
- Caracterizar o biofilme adicionado do derivado da vanilina em relação a espessura, gramatura, densidade, solubilidade, teor de umidade e capacidade fotoprotetora;
- Avaliar a aplicação do biofilme como embalagens alimentícias fotoprotetora em batata palha.

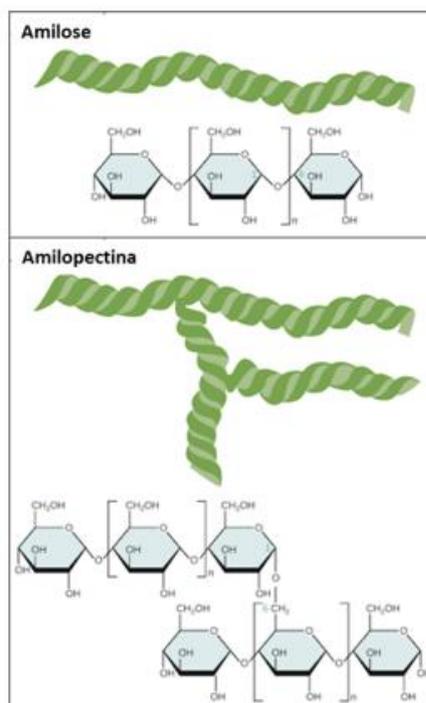
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Amido como matriz polimérica para biofilmes

Um dos biopolímeros mais utilizados na formulação de materiais biodegradáveis é o amido devido a sua grande abundância, baixo custo e alta versatilidade de aplicação. O amido pode ser extraído de diferentes fontes, como milho, batata ou mandioca e desempenhar diferentes funcionalidades de acordo com as características específicas. Essas propriedades podem ser exploradas individualmente ou combinadas com outras matrizes poliméricas, de modo a atender às diferentes demandas de aplicação. Estudos recentes também destacam seu potencial utilização em compósitos para melhorar propriedades mecânicas e barreiras, expandindo sua aplicabilidade industrial (Friedrichsen et al., 2022).

O amido é reconhecido por ser um excelente formador de biofilmes devido a possuir em sua estrutura um polissacarídeo que apresenta ligações glicosídicas α -1,4, a amilose. Outro polissacarídeo estrutural do amido, importante na formação dos filmes, é a amilopectina que apresenta ligações α -1,4 e α -1,6, contribuindo para a estrutura e propriedades viscoelásticas dos filmes formados por essa matriz (Cui et al., 2021), como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1- Estruturas da Amilose e da Amilopectina



Fonte: Tan *et al.* (2022)

A formação dos filmes se dá pelo fenômeno da gelatinização dos grânulos, uma vez que os grupos hidroxilas de sua estrutura interagem com outros grupos hidroxila por ligações de hidrogênio, o que corrobora na formação dos filmes transparentes e biodegradáveis. Essas características tornam o amido uma das matrizes ideais como alternativa aos materiais plásticos convencionais, principalmente por sua versatilidade no processamento e sua alta taxa de biodegradabilidade (Ayyubi *et al.*, 2022).

O amido representa cerca de 85% a 90% do mercado na produção de bioplásticos, seja em sua forma natural, modificada ou combinado com materiais sintéticos (Mohamed *et al.*, 2022). Apesar disso, os filmes à base de amido ainda apresentam limitações, como baixa resistência à umidade e pouca durabilidade, sendo necessário adicionar compostos estabilizantes para melhorar seu desempenho em embalagens (Liu *et al.*, 2022). Por outro lado, o uso do amido ajuda a reduzir o impacto ambiental por ser facilmente biodegradável, e visto suas limitações, sua aplicação em embalagens é normalmente aliada com indicadores

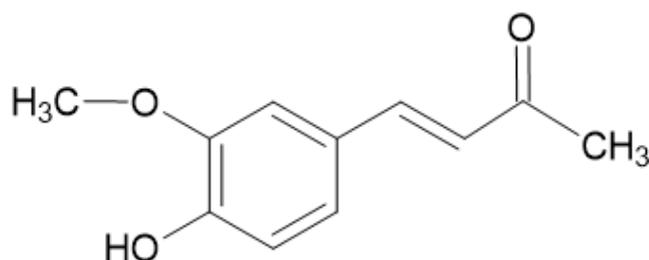
naturais ou aditivos, que permitem monitorar e garantir a segurança dos alimentos, atendendo às demandas do mercado consumidor (Cui *et al.*, 2021).

3.2 A 4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona e suas especificidades

A 4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona) é uma substância orgânica de fórmula molecular $C_{11}H_{12}O_3$ (Figura 2) e massa molecular de $192,21 \text{ g mol}^{-1}$. Algumas outras nomenclaturas atribuídas a essa substância são *desidrozingeron*a, *vanilalacetona*, *feruloilmetano* e *4-Hidroxi-3-metoxibenzilidenoacetona* (NIST, 2025). Sob condições ambiente apresenta-se como um sólido cristalino de cor levemente amarela, e com temperatura de fusão que varia de 129°C a 131°C (Agarwal *et al.*, 2001)

A 4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona) pode ser obtida por várias vias. Uma dessas formas de obtenção é como derivado primário da Vanilina a partir da condensação aldólica cruzada da Vanilina com acetona (Leite *et al.*, 2016). Essa substância também é encontrada naturalmente nos rizomas do gengibre (*Zingiber officinale*) podendo ser obtido por meio de extração (Yogosawa *et al.*, 2012). Outra rota de obtenção envolve a degradação metabólica da curcumina, processo no qual essa substância surge como um dos produtos intermediários (Pavelyev *et al.*, 2018).

Figura 2- Estrutura química da 4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona



Fonte: Autoria própria

Considerando suas formas de obtenção e ou extração, a substância possui propriedades importantes que se assemelham as matérias-primas precursoras. Sendo assim algumas propriedades que merecem maior destaque são: a aplicação como substância fotoprotetora, relatado por Leite e colaboradores (2016), e as atividades antioxidantes e anti-inflamatórias relatadas por Pavelyeve e colaboradores (2018). Diante dessas características, este derivado demonstra

potencial para aplicação como aditivo em biofilmes, agregando funcionalidade a materiais biodegradáveis a partir de suas propriedades já estudadas e documentadas.

3.3 Embalagens ativas e sua sustentabilidade

As embalagens ativas destacam-se por apresentarem funcionalidades que vão além das utilidades convencionais das embalagens plásticas disponíveis no mercado, contribuindo significativamente para a preservação e o prolongamento da vida de prateleira dos alimentos. Algumas dessas embalagens ainda possuem propriedades fotoprotetoras e são capazes de interagir diretamente com o alimento, atuando como indicadores da qualidade e do estado de conservação, conforme relatado por (Carvalho *et al.*, 2022).

De forma integrada, essas embalagens vêm sendo desenvolvidas a partir de matrizes poliméricas biodegradáveis ou materiais sustentáveis, o que contribui para a redução do impacto ambiental gerado pelas embalagens convencionais, especialmente em razão da menor geração de resíduos (Costa; Medeiros, 2018). Segundo Carvalho *et al.* (2022) produção desses filmes segue os princípios da Química Verde, priorizando materiais renováveis e minimizando resíduos, e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima).

O amido, por sua vez, é uma matriz polimérica amplamente utilizada na produção de biofilmes. Quando associado à incorporação de derivados da vanilina, especialmente aqueles obtidos por síntese verde, dentro dos princípios da química verde, torna-se possível o desenvolvimento de biofilmes com propriedades avançadas, como atividade antioxidante, anti-inflamatória e fotoprotetora. Esses biofilmes funcionam como sistemas inteligentes, atuando como indicadores da segurança e qualidade dos alimentos embalados, o que atende às crescentes demandas dos consumidores por produtos mais saudáveis e seguros Cui *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2022).

Essas formas desenvolvidas para atuar como indicadores qualitativos, essas tecnologias utilizam sensores, biossensores e pigmentos naturais sensíveis, capazes de detectar em tempo real mudanças nas condições de armazenamento,

como temperatura, pH, presença de gases, patógenos ou vazamentos (Mkhari; Adeyemi; Fawole, 2025). Com isso, fornecem dados relevantes durante todo o ciclo de vida do produto, otimizando sua conservação e segurança, e representam uma inovação promissora para o setor alimentício, oferecendo uma solução sustentável e funcional para a embalagem de alimentos naturais ou processados (Aliabbasi *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2022).

3.4 Biofilmes como embalagens alimentícias e sua vida de prateleira

Os filmes à base de biopolímeros têm se mostrado altamente eficazes na conservação de alimentos, atuando como barreiras protetoras contra agentes externos, como umidade, oxigênio e micro-organismos. Essa funcionalidade contribui diretamente para a manutenção da qualidade dos produtos alimentícios e para o prolongamento de sua vida de prateleira, auxiliando na redução do desperdício (Díaz Montes *et al.*, 2022; Dirpan *et al.*, 2023).

Além disso, esses biofilmes podem ser enriquecidos com compostos bioativos, como aditivos de ação antimicrobiana ou antioxidante, que reforçam sua eficácia na proteção dos alimentos, promovendo a extensão da vida útil de forma natural e segura (Martins; Santos, 2019). No entanto, apesar dos avanços, ainda persistem desafios técnicos que limitam o desempenho desses materiais, especialmente no que diz respeito à resistência à água, propriedades mecânicas e barreiras a gases.

Para superar essas limitações, algumas estratégias inovadoras vêm sendo estudadas, como a modificação dos métodos de produção. Além do uso de nanopartículas e a formulação de *blends* poliméricos, combinações entre diferentes tipos de polímeros que buscam melhorar as propriedades funcionais dos biofilmes (Baghi *et al.*, 2022; Dirpan *et al.*, 2023; Westlake *et al.*, 2023). Tais abordagens visam tornar o uso desses materiais mais viável em escala industrial, sem comprometer a segurança ou a sustentabilidade do produto.

Essa busca por embalagens mais sustentáveis está diretamente alinhada aos princípios da economia circular, promovendo soluções que atendam simultaneamente às demandas da indústria e às expectativas de consumidores cada vez mais conscientes ecologicamente. Nesse cenário, os biofilmes produzidos a partir de polímeros biodegradáveis, como celulose, amido e quitosana, surgem como

alternativas viáveis e ambientalmente responsáveis para substituir os plásticos convencionais em larga escala (Baghi *et al.*, 2022; Díaz Montes *et al.*, 2022).

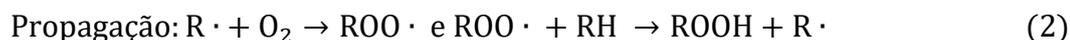
3.5 Alimentos ricos em ácidos graxos e suas reações oxidativas

Os alimentos processados ricos em óleos e gorduras, como batata palha, *chips*, *snacks* fritos e produtos similares, são produtos que passam normalmente pelo processo de fritura. Segundo Freire e colaboradores (2013) é um método bastante aplicado devido a sua eficiência e baixo custo, sendo capaz de conferir aos alimentos características sensoriais agradáveis, sendo então consumidos principalmente pelo seu sabor marcante e sua textura crocante. O processo de fritura pode ser realizado de forma contínua ou descontínua. Em ambos, o alimento é imerso em óleo vegetal ou gordura quente, desencadeando alterações em suas propriedades nutricionais. O óleo utilizado no processo pode ser reutilizado, tornando o processo mais rápido, entretanto oferece mais risco a saúde humana.

Esses alimentos são ricos em lipídios provenientes do processo de fritura por imersão. Os lipídios presentes nos alimentos são altamente suscetíveis a condições ambientais adversas, como exposição à luz, calor e oxigênio (Ziegleder; Danzl, 2007). Logo quando estes estão expostos a essas condições, ocorre a formação de radicais livres por meio da oxidação lipídica, o que compromete a estabilidade do sistema alimentar. Esses radicais também podem interagir com proteínas, promovendo sua oxidação e posterior agregação (Geng; Liu; Zhang, 2023). Esses fenômenos afetam propriedades físico-químicas, resultando na redução da qualidade sensorial e da vida útil dos alimentos.

A autooxidação é uma reação espontânea entre compostos orgânicos, especialmente ácidos graxos insaturados, e o oxigênio atmosférico é um dos principais mecanismos de deterioração lipídica em alimentos. Esse fenômeno leva à formação de compostos voláteis, como aldeídos e cetonas, responsáveis pelo ranço oxidativo, afetando negativamente o sabor, aroma, valor nutricional e a vida útil dos alimentos. Esse processo ocorre em três etapas distintas: iniciação, propagação e terminação. Na fase de iniciação, ocorre a formação de radicais livres a partir dos lipídios, geralmente catalisados por calor, luz ou presença de metais de transição como ferro e cobre. Esses radicais reagem com o oxigênio na fase de propagação, originando radicais peróxil e hidroperóxidos, que continuam a reação em cadeia,

como pode ser visto nas equações 1, 2 e 3 respectivamente. A terminação ocorre quando dois radicais se combinam para formar um produto estável, encerrando o ciclo (Dramodan; Parkin; Fennema, 2010).



Lâmpadas fluorescentes que são normalmente usadas em supermercados e estabelecimentos comerciais possuem energia suficiente para extrair prótons de ácidos graxos e formar radicais químicos, que são ponto crucial para o início da autoxidação. Sendo assim a aplicação de embalagens que utilizem aditivos com propriedades fotoprotetoras e ou filtros UV são essenciais nas embalagens, uma vez que, absorvem a maior parte da radiação ultravioleta incidente, protegendo os produtos embalados (Rieblinger, 2003 apud Ziegleder; Danzl, 2007).

4 METODOLOGIA

A metodologia foi baseada nos trabalhos de Leite *et al.* (2016) em relação a síntese verde da vanilina para obtenção de seu derivado e Barnabé *et al.* (2020) para o desenvolvimento do biofilme enriquecido. Para aplicação foram consideradas as proposições de Wang *et al.* (2023) e adaptou-se aplicando o biofilme como revestimento de batatas palhas e realizando a avaliação por observações visuais.

4.1 Síntese Verde do derivado da Vanilina

A síntese da *4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona*, um derivado primário da Vanilina foi realizada adaptando a metodologia de Leite *et al.* (2016), reduzindo o tempo reacional e minimizando a quantidade de reagentes. Realizou-se a solubilização de 1,0 g de hidróxido de sódio (NaOH) em aproximadamente 25 mL de água destilada, à qual adicionou-se 10 mL de Acetona e, em seguida, 0,5 g de Vanilina. A solução foi preparada em um Erlenmeyer que foi deixado para reagir a temperatura ambiente com agitação magnética por aproximadamente 24 h.

Após esse período, o meio reacional foi acidificado com uma solução de ácido clorídrico (HCl) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, até observação de mudança na coloração da solução (avermelhado para amarelo), indicando a formação do produto. Em seguida, a mistura foi resfriada, promovendo a precipitação do sólido de interesse, o que foi então filtrado à vácuo, seco e pesado. A *4-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona* obtida foi acondicionada adequadamente em placas de petri para posterior uso nas etapas experimentais subsequentes.

4.2 Desenvolvimento do biofilme

Os biofilmes foram produzidos por meio do método de *casting*, consiste em despejar uma solução polimérica sobre uma superfície plana, seguida da evaporação do solvente para formar um biofilme contínuo. Utilizou-se o amido como matriz polimérica, de acordo com metodologia adaptada de Barnabé *et al.* (2020), sendo variada apenas a concentração do aditivo incorporado e aplicação de plastificantes.

Inicialmente, adicionou-se um béquer 5,0 g de amido, 40,0 mL de água destilada e 6,0 mL de solução aquosa de ácido acético a 4% v v⁻¹. Após isso, adicionou-se a solução 4,0 mL de glicerina como plastificante primário, e como plastificantes secundários, frutose e sorbitol, em uma proporção de 35% da massa de amido, visando melhorar a flexibilidade.

Posteriormente, o derivado da vanilina foi incorporado em três diferentes proporções: 0,1%, 0,2% e 0,3% (com base na massa de amido utilizada), resultando na formulação de três biofilmes distintos, cada um com concentração crescente de aditivo, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulação dos biofilmes em relação a quantidade de aditivo

Biofilme	Massa de amido (g)	Concentração de aditivo (%)	Massa de aditivo (g)
1	5,00	0,1	0,005
2		0,2	0,010
3		0,3	0,015

Fonte: Aatoria Própria (2025)

Após adicionada todas as matérias primas a solução filmogênica em temperatura ambiente. Estas foram aquecidas em chapa elétrica até 70 °C, sob agitação constante a 1000 rpm. Após atingir a temperatura de interesse, as soluções permaneceram sob essas condições por aproximadamente 8 minutos, tempo necessário para adquirir uma consistência viscosa e uniforme. Em seguida, foram distribuídas em placas de Petri com o auxílio de um distribuidor de fase estacionária utilizado no preparo de placas de cromatografia em camada delgada e levadas à estufa a 45 °C por um período de 4 a 5 h para secagem. Após esse processo, foram obtidos filmes flexíveis com as três concentrações de aditivo, os quais foram devidamente acondicionados para análises posteriores.

4.3 Análises para caracterização das propriedades do biofilme

Para a avaliação da qualidade e reprodutibilidade dos biofilmes, foram analisados, em triplicata, parâmetros como uniformidade, espessura, gramatura, densidade, opacidade, teor de umidade e solubilidade em água.

A uniformidade dos filmes foi avaliada apenas visualmente, observando a presença de bolhas, deformidades ou imperfeições. Filmes que não atendiam ao padrão mínimo de qualidade, apresentando tais parâmetros visuais mencionados, foram descartados. A espessura dos biofilmes foi determinada conforme a metodologia adaptada de Jacobs (2020), utilizando-se um paquímetro digital, com quatro medições por amostra. Os valores das medições foram usados para a obtenção da espessura média dos filmes.

As propriedades de barreira e resistência foram avaliadas por meio da gramatura e da densidade. A gramatura (g cm^{-2}) foi calculada pela razão entre a massa do biofilme seco e sua respectiva área adaptando o procedimento estabelecido por Silva (2011). A densidade foi obtida pela razão entre gramatura e espessura.

Para determinar o teor de umidade (U%), amostras de 4 cm^2 do filme foram medidas e secas em estufa a 105 °C por 24 h, sendo novamente medidas após a secagem (Standard Methods 1967; apud Silva, 2011). O valor foi calculado com base na equação 4.

$$U (\%) = \frac{Massa\ inicial - Massa\ Final}{Massa\ Inicial} \times 100 \quad (4)$$

A solubilidade em água foi determinada conforme a metodologia de Silva (2011). Após secagem e medição, os biofilmes foram imersos em 80 mL de água destilada, sob agitação magnética por 24 h. Em seguida, os filmes foram novamente levados à estufa a 105 °C por mais 24 h e medidos. A perda de massa por solubilização (PM%) foi calculada pela equação 5.

:

$$PM (\%) = \frac{Massa\ inicial - Massa\ Final}{Massa\ Inicial} \times 100 \quad (5)$$

Por fim, a avaliação da transmitância luminosa dos filmes foi conduzida conforme o método descrito por Crotti (2019), a fim analisar o caráter fotoprotetor do biofilme. O teste foi realizado em um espectrofotômetro UV-Vis para sólidos, com a varredura de 200 a 900 nm. E a transmitância foi obtida em porcentagem, sendo dita pela autora como a razão entre a quantidade de luz que atravessa o filme e a quantidade de luz que incide perpendicularmente sobre sua superfície.

4.4 Aplicação do biofilme em alimentos

Para a aplicação do biofilme desenvolvido, escolheu-se a batata palha como alimento modelo, devido ao seu elevado teor de óleos e gorduras, que a torna particularmente suscetível a reações oxidativas devido a exposição de luz. A batata palha utilizada no experimento foi comercial adquirida em supermercado varejista localizado no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. A amostra é pertencente de um mesmo lote, com data de validade prevista para dezembro de 2025. O experimento consistiu na aplicação dos biofilmes formulados como revestimento protetor da batata palha, sendo as amostras acondicionadas em condições ambientes e contato com luzes convencionais e monitoradas ao longo do período de 15 dias de estudo.

Paralelamente, foram conduzidos testes controle, em que uma amostra foi mantida sem qualquer revestimento, enquanto outra foi mantida com o filme plástico comercial. Essas amostras permitiram uma comparação direta entre os biofilmes desenvolvidos e as embalagens convencionais. Durante todo o experimento, foi

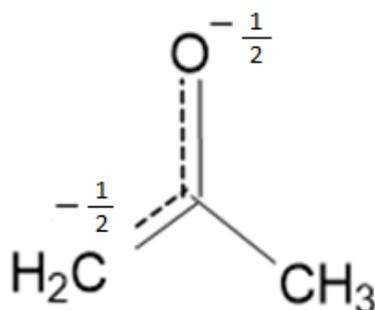
realizado um monitoramento diário com base em observações visuais, registrando-se eventuais alterações nas características sensoriais e na qualidade do alimento, como cor, textura e aparência geral.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Síntese verde do derivado da Vanilina

A síntese do derivado da Vanilina tem início com a desprotonação da acetona, catalisada pelo meio básico. Nesse processo, o íon hidróxido (-OH) proveniente do NaOH remove um hidrogênio alfa do carbono adjacente à carbonila. A perda desse hidrogênio alfa pela acetona gera um ânion enolato, que é estabilizado por ressonância. Assim, a carga negativa do ânion é deslocalizada entre os átomos de carbono, como evidenciado no híbrido de ressonância da acetona, Figura 3.

Figura 3- Híbrido de ressonância do derivado aniônico da acetona



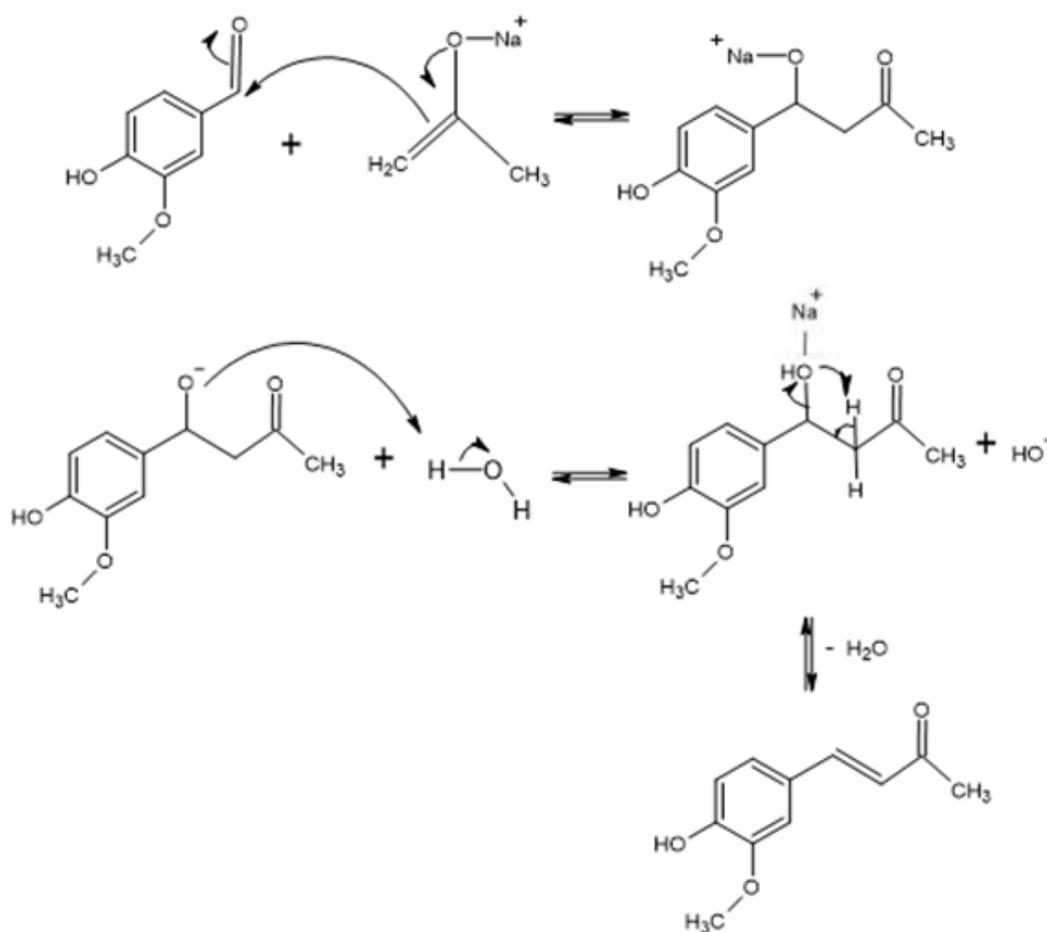
Fonte: Autoria própria (2025)

Considerando o híbrido de ressonância, é possível observar que um próton pode ser adicionado tanto ao carbono quanto ao oxigênio do íon enolato formado. No entanto, para compostos monocarbonílicos, como a acetona, a quantidade da forma enólica (onde o próton é adicionado ao oxigênio) é extremamente pequena (aproximadamente $1,5 \times 10^{-4} \%$). Isso ocorre devido ao fato de a forma ceto dos compostos monocarbonílicos possuir uma ligação π mais forte entre o carbono e o oxigênio, quando comparada à ligação π entre os carbonos na forma enólica (Solomons *et al.*, 2018).

A molécula de Vanilina é composta por um anel benzênico com grupo hidroxila e um grupo metoxila na terceira posição do anel aromático, o que lhe

confere a possibilidade de receber elétrons é a carbonila do grupo formila, sendo então uma molécula eletrofílica adequada para o ataque nucleofílico. O enolato formado então ataca o carbono carbonílico, que é mais polarizado, da Vanilina formando um intermediário tetraédrico ao quebrar a ligação π entre o carbono e o oxigênio, como visto na Figura 4. Por conseguinte, a base remove um próton do carbono beta e restabelece a insaturação, agora entre os carbonos da cadeia, tendo como produto da síntese o derivado da vanilina o *4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona*, interesse deste trabalho.

Figura 4- Mecanismo de reação entre a Vanilina e o enolato de sódio



Fonte: Autoria Própria

O ácido clorídrico é adicionado na última etapa para reagir com o sódio neutralizando a molécula para a formação do composto de interesse, e formando como resíduo cloreto de sódio (NaCl) em meio aquoso. Adaptou-se a metodologia

de Leite *et al.* (2016) reduzindo a quantidade de solução de ácido clorídrico usada, para reduzir a quantidade final de resíduo da síntese.

Como observado, a síntese gera como subprodutos água e cloreto de sódio, alinhando-se assim aos princípios da química verde. A química verde, conforme estabelecido por Anastas e Warner (1998), propõe o desenvolvimento de processos químicos que minimizem o uso de substâncias perigosas e que reduzem a geração de resíduos. Nesse caso, os reagentes utilizados possuem baixo grau de toxicidade e são empregados em quantidades mínimas, seguindo o princípio da prevenção da poluição na fonte. Além disso, os subprodutos gerados, como a água e o cloreto de sódio (NaCl), não apresentam potencial tóxico, podendo ser descartados sem causar danos ao meio ambiente, o que está em conformidade em minimizar os resíduos gerados após o processo.

Durante a síntese, foi possível acompanhar visualmente as diversas etapas reacionais. Inicialmente, durante a formação do enolato, a mistura reacional permanece incolor. Ao adicionar a vanilina, a solução adquire uma coloração amarelada. Passado o tempo reacional, a solução evolui para um vermelho escuro. Com a acidificação do meio, a solução volta à cor amarela e adquire uma leve turbidez, indicando a formação do composto de interesse. Após o resfriamento, a solução perde a turbidez, e o sólido se cristaliza, apresentando cor amarela, uma fina espessura e brilho suave, Figura 5.

Figura 5- Alterações da coloração da mistura reacional durante a síntese do derivado da Vanilina



Fonte: Autoria Própria (2025)

A síntese orgânica foi realizada em triplicata, a fim de avaliar a reprodutibilidade e o rendimento da obtenção do derivado. Os rendimentos foram

calculados para cada uma das repetições, resultando em uma média de (75,8 \pm 0,7)% como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Rendimento reacional da síntese do 4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona

Réplicas	Massa Teórica (g)	Massa Experimental (g)	Rendimento (%)	Média (%)	CV (%)
1	0,6348	0,4768	75,11	75,8	0,7
2	0,6448	0,4891	75,85		
3	0,6412	0,4905	76,49		

Fonte: Autoria própria (2025)

Tais resultados demonstram a reprodutibilidade devido ao coeficiente de variação de 0,6% e os índices de rendimento das sínteses apresentam-se como satisfatórios uma vez que se aproximaram ao rendimento obtido por Leite e colaboradores (2016) de 85%. As adaptações na realização da síntese, como a redução da quantidade de solução de ácido clorídrico utilizada, foram vantajosas uma vez que mantiveram um bom rendimento associado a boa reprodutibilidade, e ao mesmo tempo minimizaram o uso de reagentes e a produção de resíduos. Concomitantemente, ressalta-se a importância do aprimoramento do processo em relação ao tempo reacional substituindo a agitação magnética por irradiação de micro-ondas, uma fonte eficiente de energia.

5.2 Desenvolvimento do biofilme e avaliação das suas propriedades

Durante a preparação da solução dos filmes pode-se observar que o aditivo apresenta solubilidade moderada em água. Isso se deve ao fato de seus grupos hidroxila e cetona, grupos polares, favorecerem a solubilidade, apesar de ao mesmo tempo o anel aromático e a cadeia hidrofóbica reduzirem a solubilidade. Por isso, já esperava-se que a solubilidade fosse moderada como evidenciado experimentalmente.

Apesar de se tratar de um sólido amarelo a coloração da solução dos filmes não apresentou alteração significativa, ainda aparentando um carácter translúcido. Os filmes de menor concentração de aditivo demonstraram-se mais transparentes e o aditivo de maior concentração de aditivo apresentou maior opacidade quando

comparado com os demais, embora a concentração de aditivo alterasse de um filme para outro a coloração dos filmes não apresentou diferença visual, como evidenciado na Figura 6.

Figura 6- Biofilmes e a alteração da coloração de acordo com a massa de aditivo



Fonte: Autoria Própria (2025)

Durante a preparação dos biofilmes, foi possível observar também o processo de gelatinização do amido, que aconteceu assim que a sua temperatura de gelatinização foi atingida. Nesse momento verificou-se que os grânulos de amido começaram a absorver água e a sofrer alterações estruturais, deixando a solução filmogênica mais densa e espessa, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7- Formulação dos filmes ao atingir a temperatura de gelatinização



Fonte: Autoria Própria (2025)

O fenômeno observado se alinha ao processo descrito por Friedrichsen *et al.* (2022), no qual os grânulos absorvem água, incham e rompem sua estrutura semicristalina, permitindo a interação dos grupos hidroxila por meio de ligações de hidrogênio, sendo que o arranjo molecular é reorganizado, ocasionando na transparência dos filmes, como visto na Figura 8.

Figura 8- Biofilme e sua transparência logo após o processo de gelatinização do amido



Fonte: Autoral (2025)

É importante ressaltar que o aditivo não transferiu coloração amarelada às soluções filmogênicas. Esse aspecto é particularmente relevante para a indústria alimentícia, em que filmes transparentes ou translúcidos possuem maior valor agregado, pois permitem que o consumidor visualize o produto e avalie sua qualidade (FABESP, 2023). Além disso, a transparência, aliada à biodegradabilidade dos filmes, são características essenciais que os tornam alternativas promissoras e sustentáveis em substituição aos materiais plásticos convencionais (Ayyubi *et al.*, 2022).

A utilização de plastificantes, sorbitol e o glicerol na formulação de biofilmes acarretou uma essencial melhoria no aspecto colante do biofilme. Esses efeitos foram perceptíveis especialmente durante a elaboração da formulação do biofilme, na qual, após a adição desses plastificantes, observou-se a diminuição do caráter pegajoso e alterações positivas para o espalhamento e retirada desses na placa de vidro. Além disso, o sorbitol e o glicerol podem contribuir para a redução da rigidez da matriz, promovendo maior flexibilidade, alongamento e resistência à tração, bem como influenciando na solubilidade do material polimérico (Moia *et al.*, 2021).

Passado o tempo de secagem na estufa das três réplicas de cada uma das formulações com 0,1; 0,2 e 0,3% do derivado, avaliou-se inicialmente o parâmetro visual da uniformidade, com especial atenção à presença de pontos de heterogeneidade no filme formado. A análise visual considerou a homogeneidade dos filmes formados, identificação de falhas, bolhas, rachaduras e a existência de regiões com aglomeração ou má dispersão do derivado. Os resultados obtidos estão contidos na tabela 3, mostrando que todos os filmes foram aceitos uma vez que não apresentaram deformações, bolhas e imperfeições.

Tabela 3- Resultados para a uniformidade dos filmes para as três concentrações de aditivo

Biofilme	0,1%	0,2%	0,3%
Réplica 1	Aceito	Aceito	Aceito
Réplica 2	Aceito	Aceito	Aceito
Réplica 3	Aceito	Aceito	Aceito

Fonte: Aatoria Própria (2025)

De forma geral, pode-se perceber que a concentração de aditivo não acarretou alterações na homogeneidade do filme, assim como não houve falhas e ou rachaduras nos filmes formulados. Sendo assim os filmes foram retirados das placas e percebeu-se uma leve elasticidade e uma boa textura ao toque.

Por conseguinte, os biofilmes foram seccionados em áreas menores, com dimensões aproximadas de 4 cm². Para dar início às demais análises, determinou-se a massa inicial de cada amostra e mediu-se a espessura das réplicas dos filmes em quatro pontos distintos, utilizando-se paquímetro digital. A partir desses valores, foi calculada a espessura média de cada réplica, e aplicou-se tratamento estatístico para determinar a espessura média geral para cada um dos biofilmes formulados com as diferentes concentrações do derivado. Os resultados obtidos para esses parâmetros estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados obtidos para espessura dos biofilmes

Biofilme	Espessura média (mm)	CV
0,1%	0,121	0,004
0,2%	0,123	0,005
0,3%	0,128	0,006

Fonte: Aatoria própria (2025)

A espessura obtida para os biofilmes apresentando valores similares, variando de (0,121 ± 0,004) mm a (0,128 ± 0,006) mm, indicando boa reprodutibilidade entre os filmes em relação a esse parâmetro. Tal resultado pode ser atribuído ao uso do

carrinho de camada delgada como ferramenta para espalhar a solução filmogênica sobre as placas, o que foi um fator crucial para a padronização do processo. A utilização desse equipamento permitiu o controle da quantidade de solução distribuída por placa e manter uma uniformidade da espessura. Concomitantemente, os valores de espessura encontrados se aproximam ligeiramente àqueles relatados na literatura, de $(0,11 \mp 0,03)$ mm, por Silva et al. (2011), e as encontradas por Viégas (2016) no biofilme a base de amido e quitosana (25:75) com espessura de $(0,125 \pm 0,010)$ mm.

Conforme descrito por Viégas (2016), a espessura dos filmes influencia diretamente suas propriedades mecânicas e a permeabilidade ao vapor de água. De maneira geral, filmes mais espessos tendem a apresentar maior permeabilidade, comportamento que pode ser explicado com base na Lei de Difusão de Fick e na Lei de Sorção de Henry (Carvalho, 1997; Sobral, 2000; Mali et al., 2004; Galdeano, 2007; Cuq et al., 1996, apud Viégas, 2016). Sendo assim, a espessura mais fina pode colaborar para a garantia de melhores características para aplicação destes filmes industrialmente.

Os resultados obtidos para a espessura serviram como base para o cálculo dos parâmetros de gramatura e densidade, juntamente com a massa obtida. Esses dados possibilitaram avaliar a compactação e a distribuição da massa nos biofilmes, aspectos fundamentais para suas propriedades mecânicas e funcionais. Os valores calculados para gramatura e densidade estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados obtidos para gramatura e densidade

Biofilme	Gramatura média (g cm ⁻²)	Desvio padrão	Densidade média (g cm ⁻³)	Desvio Padrão
0,1%	0,042	0,001	3,4	0,1
0,2%	0,055	0,003	4,46	0,07
0,3%	0,065	0,005	5,1	0,3

Fonte: Autoria Própria (2025)

Os valores obtidos para a gramatura variaram de $(0,042 \mp 0,001) \text{ g cm}^{-2}$ a $(0,065 \mp 0,005) \text{ g cm}^{-2}$ e sendo que os valores obtidos para o biofilme com 0,1% de aditivo estão de acordo com os encontrados por Silva et al. (2011) de $(0,0245 \pm 0,0008) \text{ g cm}^{-2}$, já os com 0,2% e 0,3% de aditivo obtiveram valores mais distantes do evidenciado na literatura. As gramaturas encontradas para os três biofilmes formulados aumentam a medida que aumentou-se a quantidade de aditivo. Isso, indica que o aumento da quantidade de aditivo acarretou em maior massa e, conseqüentemente maior gramatura. De forma semelhante à densidade obtida por meio da relação entre a gramatura e a espessura dos filmes, apresentou uma variação crescente em relação ao aumento de aditivo na formulação do biofilme, $(3,4 \mp 0,1) \text{ g cm}^{-3}$, $(4,46 \mp 0,07) \text{ g cm}^{-3}$ e $(5,1 \mp 0,3) \text{ g cm}^{-3}$, para as concentrações de 0,1, 0,2 e 0,3% de aditivos, respectivamente.

Por conseguinte, realizou-se a determinação do teor de umidade do biofilme. Uma vez que a umidade influencia diretamente suas propriedades físico-químicas, como flexibilidade, permeabilidade e estabilidade, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6- Resultados para o teor de umidade dos filmes

Biofilme	Teor de Umidade médio (%)	Desvio padrão
0,1%	53,7	1,3
0,2%	51,3	0,9
0,3%	49,9	0,2

Fonte: Autoria própria (2025)

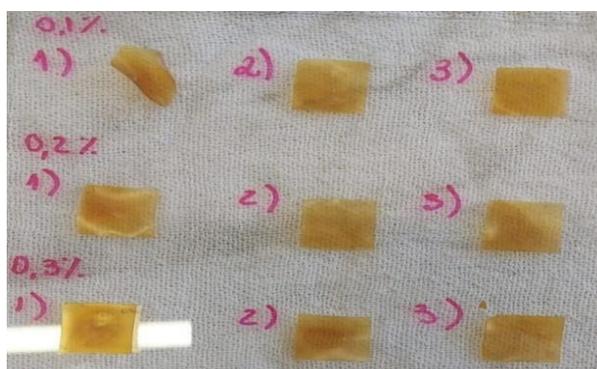
Percebeu-se valores médios de o teor de umidade que variaram entre 49,9% e 53,7%. Pode-se inferir que houve uma leve tendência de diminuição do teor de umidade com o aumento da concentração do aditivo de 0,1% para 0,3%. O biofilme com 0,1% de aditivo apresentou o maior teor de umidade $(53,7 \pm 1,3)\%$, enquanto aquele com 0,3% apresentou o menor $(49,9 \pm 0,2)\%$. Contudo os valores de teor de

umidade encontrados de distanciam aos apontados por Silva et al. (2011) em seus estudos de $(10,40 \pm 0,21)\%$.

A diferença no teor de umidade encontrado na literatura com o valor obtido pode estar associada a formulação e a matriz polimérica usadas. Já era prevista uma certa retenção de água nos biofilmes, uma vez que à presença de múltiplos plastificantes higroscópicos na formulação, como a glicerina, frutose e sorbitol, que possuem uma alta afinidade por água, corrobora para tal fato. Como evidenciado por Bierhalz e Kieckbusch (2009, apud Stolle, 2018), o aumento da concentração de glicerol promoveu um acréscimo de quase 7% no teor de umidade dos biofilmes. Entretanto, o teor de umidade encontrado se apresentou mais elevado do que era esperado mesmo com a adição de plastificantes que aumentem esse percentual, sendo uma característica que pode ser aprimorada no biofilme.

Ao observar a Figura 8, percebe-se que após a secagem a uma temperatura de 105°C , a coloração dos filmes ficou amarronzado, o que pode ser indicativo da reação de escurecimento não-enzimático de caramelização (Thuppahige et al., 2023). Dentre os componentes do biofilme, tem-se amido, que em temperaturas entre 100 e 120°C desidratam-se e sofrem uma degradação, liberando no meio a glicose, que é um açúcar redutor, que pode polimerizar-se com derivado da vanilina formando composto de coloração escura. Ao mesmo tempo a frutose contida na formulação também sofre a reação de escurecimento não-enzimático de caramelização corroborando também para essa coloração.

Figura 9- Coloração e aspecto visual dos biofilmes após secagem a 105°C



Fonte: Autoral (2025)

A determinação da solubilidade em água dos biofilmes também é considerado um parâmetro interessante, pois permite quantificar a fração solúvel do biofilme,

forneendo informações importantes sobre sua estabilidade em meio aquoso e sua possível aplicação em diferentes contextos, principalmente naqueles que envolvem contato com umidade. A solubilidade em água dos biofilmes pode sofrer influências com a presença de aditivos na matriz polimérica. A solubilidade dos biofilmes variou de acordo com a concentração do aditivo, $(41,12 \pm 0,51)\%$, $(46,11 \pm 0,27)\%$ e $(49,18 \pm 0,82)$, para 0,1, 0,2 e 0,3% de aditivo, respectivamente, como visto na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados para a solubilidade em água dos filmes

Biofilme	Solubilidade média (%)	Desvio padrão
0,1%	41,12	0,51
0,2%	46,11	0,27
0,3%	49,18	0,82

Fonte: Autoria Própria (2025)

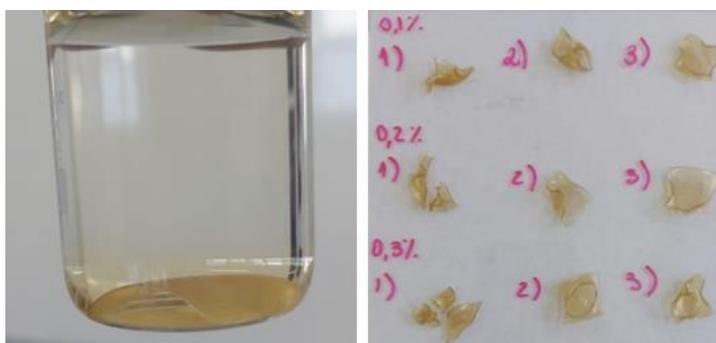
Farias et al. (2012) observaram que a adição de polpa de acerola resultou em uma redução da solubilidade dos filmes em água, com valores variando de 16,8% a 52,9%, sendo que os teores mais elevados de polpa promoveram menores níveis de solubilidade. De acordo com os autores, esse comportamento pode estar relacionado à interação dos compostos presentes no aditivo com a estrutura do amido, formando uma matriz mais densa e menos suscetível à hidratação. De maneira similar ao relatado, a adição do derivado da vanilina pode ter promovido alterações estruturais na matriz do biofilme, impactando não apenas a solubilidade, mas também a capacidade de retenção de água.

Os valores de solubilidade em água obtidos para os biofilmes formulados, que variaram entre $(41,12 \pm 0,51)\%$, para 0,1% de aditivo e $(49,18 \pm 0,82)\%$, para 0,3% de aditivo foram inferiores aos relatados por Yamashita et al. (2005), que desenvolveram filmes à base de amido de mandioca com adição de conservantes, que obteve uma solubilidade entre 78% e 86% (apud Farias et al., 2012). Embora a solubilidade dos biofilmes tenha sido menor, esse parâmetro pode indicar maior integridade estrutural do biofilme para determinadas classes de alimentos, o que

significa que valores mais elevados de solubilidade não devem ser vistos como uma característica maléfica. Uma vez que para algumas classes de alimentos um maior índice de solubilidade pode representar uma característica tecnológica interessante e desejável nos biofilmes, além de que essa característica pode ser aprimorada de acordo com o interesse de aplicação industrial.

Durante o teste de solubilidade, observou-se que, mesmo após 24 h sob agitação, a coloração da água não apresentou alteração significativa, Figura 10. Esse resultado indica que o aditivo, após passar pelo processo de secagem e posterior imersão em água, não causou mudança perceptível na coloração do meio aquoso, apesar de sua solubilidade moderada. Essa observação pode ser um indicativo que o aditivo no biofilme não se transferiu para o meio aquoso. Essa característica pode ser interessante, porque não haveria a transferência de cor e de aroma para alimentos com alto teor de umidade. Apesar desse aspecto ser importante, alguns testes devem ser feitos para confirmar essa característica.

Figura 10- Coloração da água e dos filmes após o teste de solubilidade



Fonte: Autoria Própria (2025)

Para verificar se os teores avaliados de aditivo influenciaram significativamente as propriedades gramatura, densidade, teor de umidade e solubilidade dos biofilmes produzidos, foi realizada a análise da variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança para cada propriedade. Basicamente, neste tipo de teste é avaliado se a variância entre os níveis do fator (diferentes teores de aditivo) é maior que a variância aleatória dentro dos níveis (erro aleatório). Por se tratar de comparação de variâncias aplica-se o teste F ao nível de confiança desejado. Assim, a valor de $F_{\text{calculado}}$ é comparado com $F_{\text{crítico}}$, se $F_{\text{calculado}}$ for menor que $F_{\text{crítico}}$ aceita-se

a hipótese nula; se $F_{\text{calculado}}$ for maior que $F_{\text{crítico}}$, rejeita-se a hipótese nula (Skoog *et al.*, 2015).

As hipóteses testadas foram: hipótese nula (H_0) não há diferença significativa entre os três valores médios comparados e hipótese alternativa (H_a) pelo menos duas médias apresentam diferença estatística. Na Tabela 8 são apresentados os valores médios, valores de $F_{\text{calculado}}$ e valor de $F_{\text{crítico}}$. Observa-se que todos os valores de $F_{\text{calculado}}$ foram maiores que o valor de $F_{\text{crítico}}$, logo a hipótese nula foi rejeitada para todas as propriedades e conclui-se que pelo menos dois dos teores avaliados produziram uma alteração significativa nos valores das propriedades estudadas.

Tabela 8 -Valores médios, valores de $F_{\text{calculado}}$ e valor de $F_{\text{crítico}}$

Biofilmes	Gramatura (g cm ⁻²)	Densidade (g cm ⁻³)	Teor de Umidade (%)	Solubilidade (%)
0,1%	0,0425	3,4980	53,72	41,12
0,2%	0,0551	4,4643	51,38	46,11
0,3%	0,0658	5,1250	49,98	49,18
$F_{\text{calculado}}$	18,64	38,07	6,73	83,06
$F_{\text{crítico}}$			5,14	

Fonte: Autoria Própria (2025)

Para identificar quais diferenças entre as médias dentro de uma mesma propriedade foram estatisticamente significativas, utilizou-se o teste da Diferença Mínima Significativa (DMS). O valor da Diferença Mínima Significativa (DMS) foi calculado com base no número de repetições por grupo, no erro médio quadrático obtido na análise de variância e em um valor crítico da distribuição t de Student, considerando os graus de liberdade há um nível de confiança de 95%. As diferenças observadas entre as médias dos tratamentos foram então comparadas a esse valor. Quando a diferença entre duas médias ultrapassou a DMS, ela foi considerada estatisticamente significativa, indicando distinção real entre os tratamentos analisados.

Os valores das diferenças e os valores de DMS para cada propriedade são apresentados nas tabelas 9, 10, 11 e 12.

Tabela 9 - Valores de DMS para gramatura dos biofilmes

Determinação de quais resultados são diferentes			
t(6;95)	2,45	Ng	3
MQE	0,00002195	DMS	0,009372
Valor maior	Valor menor	Diferenças	Conclusão
0,04250	0,04250	0,00000	
0,05508	0,04250	0,01258	SIGNIFICATIVA
0,06583	0,04250	0,02333	SIGNIFICATIVA
0,06583	0,05508	0,01075	SIGNIFICATIVA

Fonte: Aatoria Própria (2025)

Tabela 10- Valores de DMS para densidade dos biofilmes

Determinação de quais resultados são diferentes			
t(6;95)	2,45	Ng	3
MQE	0,05276	DMS	0,4595
Valor maior	Valor menor	Diferenças	Conclusão
3,498	3,498	0,000	
4,464	3,498	0,966	SIGNIFICATIVA
5,125	3,498	1,627	SIGNIFICATIVA
5,125	4,464	0,661	SIGNIFICATIVA

Fonte: Aatoria Própria (2025)

Tabela 11- Valores de DMS para o teor de umidade dos biofilmes

Determinação de quais resultados são diferentes			
t(6;95)	2,45	Ng	3
MQE	1,597	DMS	2,528
Valor maior	Valor menor	Diferenças	Conclusão
49,98	49,98	0,000	
51,38	49,98	1,400	NÃO SIGNIFICATIVA
53,72	49,98	3,747	SIGNIFICATIVA
53,72	51,38	2,347	NÃO SIGNIFICATIVA

Fonte: Aatoria Própria (2025)

Tabela 12- Valores de DMS para a solubilidade dos biofilmes

Determinação de quais resultados são diferentes			
t(6;95)	2,45	Ng	3
MQE	0,598	DMS	1,55
Valor maior	Valor menor	Diferenças	Conclusão
41,12	41,12	0,00	
46,11	41,12	5,00	SIGNIFICATIVA
49,18	41,12	8,06	SIGNIFICATIVA
49,18	46,11	3,06	SIGNIFICATIVA

Fonte: Autoria Própria (2025)

Para os parâmetros de densidade, gramatura e solubilidade, os resultados foram estatisticamente significativos para todo o conjunto de biofilmes testados. Como a única variável entre os tratamentos foi a quantidade de aditivo incorporada nas formulações, os resultados indicam que esse fator teve influência direta sobre essas propriedades. A significância estatística observada demonstra que variações na concentração do aditivo foram suficientes para alterar de forma consistente as características físicas e funcionais dos biofilmes. Assim, a quantidade de aditivo adicionada mostrou-se um fator determinante na performance dos biofilmes, reforçando sua relevância no desenvolvimento de formulações com propriedades ajustáveis conforme a aplicação desejada, principalmente para esses parâmetros.

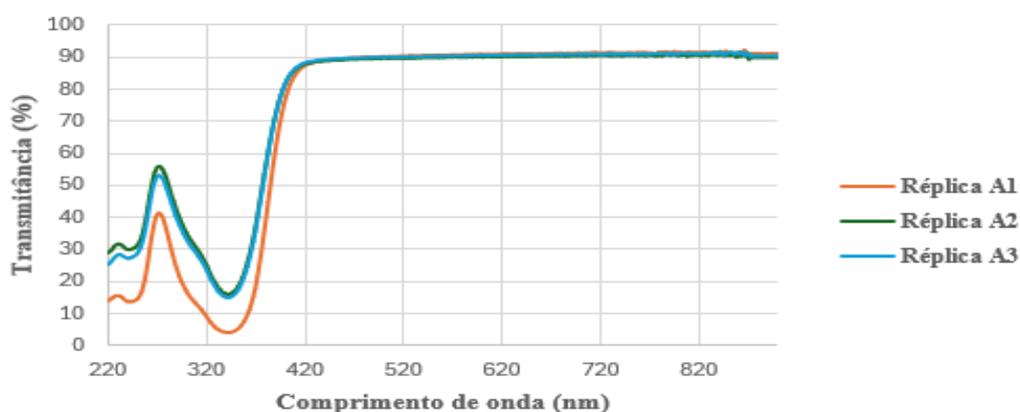
Em relação ao teor de umidade, apenas um dos conjuntos de biofilmes avaliados apresentou resultado estatisticamente significativo, enquanto os outros dois não mostraram diferenças significativas entre si. Isso indica que, apesar da variação na quantidade de aditivo adicionada, esse parâmetro não respondeu de maneira uniforme em todas as formulações. Esses resultados indicam que o teor de umidade é menos sensível à variação na concentração do aditivo, ao contrário do que foi observado para densidade, gramatura e solubilidade.

Após a avaliação das propriedades físico-químicas dos biofilmes, buscou-se analisar também seu desempenho quanto à proteção contra a radiação luminosa, uma vez que o aditivo incorporado apresenta potencial fotoprotetor. Visto isso, realizou-se a análise da transmitância dos biofilmes desenvolvidos, que permitem mensurar a quantidade de luz que atravessa a embalagem, sendo, portanto, um

parâmetro essencial para avaliar sua eficiência como barreira às radiações UV e visível (Crotti, 2019). Para isso, as amostras dos filmes foram submetidas a análise espectrofotométrica entre os comprimentos de onda de 200 a 800 nm, sendo registrada a transmitância percentual da luz.

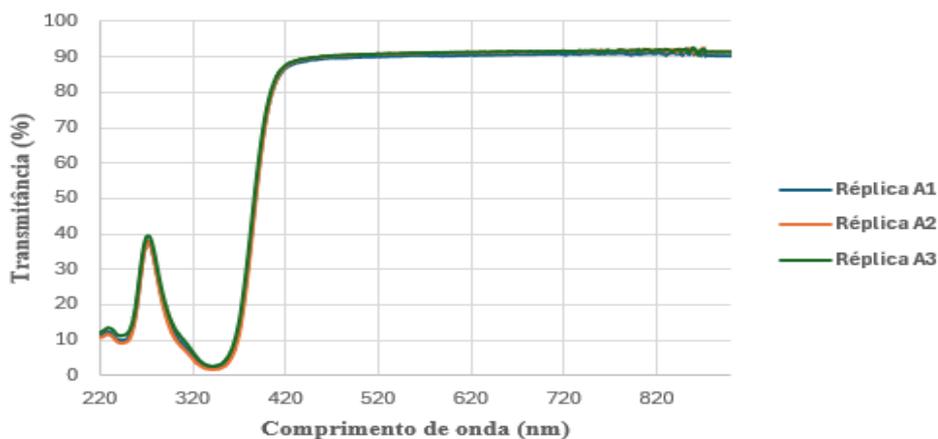
Os resultados obtidos da transmitância dos biofilmes com 0,1 %, 0,2 % e 0,3 % de aditivo podem ser observados nos gráficos das Figuras 11, 12 e 13, respectivamente.

Figura 11- Espectro de transmitância para os biofilmes com 0,1% de aditivo



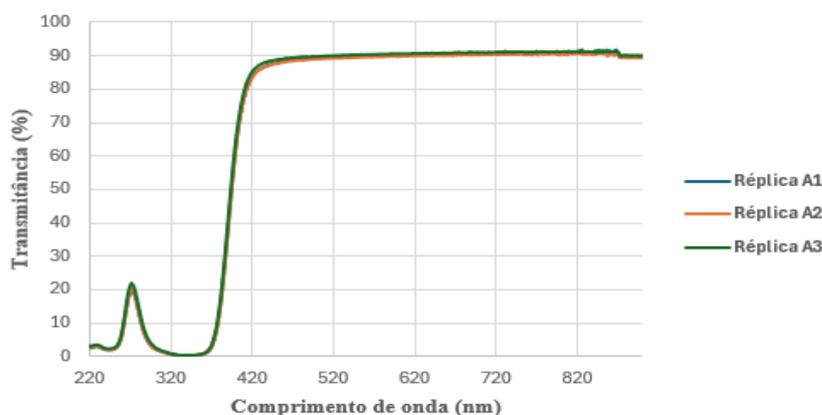
Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 12- Espectro de Transmitância para os biofilmes com 0,2% de aditivo



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 13- Espectro de Transmitância para os biofilmes com 0,3% de aditivo



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao analisar os gráficos das transmitâncias, nas Figuras 11, 12 e 13, pode-se perceber uma baixa transmissão de luz em dois principais pontos, nos comprimentos de onda próximos a 220 nm e logo em seguida entre 310 e 360 nanômetros aproximadamente. Tais fatos estão coerentes aos abordados na literatura por Leite e colaboradores (2016), uma vez que o aditivo apresentou duas bandas de absorvância uma em 225 e outra em 340 nm. O que indica que o aditivo utilizado demonstrou agregar capacidade fotoprotetora ao biofilme, diminuindo a porcentagem de transmitância, ou seja a passagem da luz que atravessa a embalagem, nos comprimentos de onda onde já foi evidenciado sua capacidade fotoprotetora de absorção.

Um alto valor de absorvância do aditivo implica em uma baixa transmitância. Logo, se o material absorve significativamente a radiação ultravioleta ou visível, ele atua como uma barreira eficaz, impedindo que essa radiação atravesse o filme. Tal fato é especialmente relevante para a proteção de alimentos sensíveis à luz, uma vez que a redução da transmitância ajuda a minimizar ou retardar as reações fotoquímicas indesejadas nesses alimentos.

Na figura 11, pode-se perceber que, em aproximadamente 270 nm há uma banda em que ocorre o aumento da porcentagem de transmitância. Ou seja, nos filmes em que foi incorporado uma menor concentração do aditivo, 0,1%, a transmitância é em média 50%. Já nos biofilmes, cuja concentração de aditivo é de 0,2% a transmitância reduziu para 40% conforme observado na Figura 12. Enquanto nos biofilmes com maior concentração do aditivo, 0,3% a transmitância chega a cerca de 20% (Figura 13). Tais fatos demonstram que a quantidade de aditivo

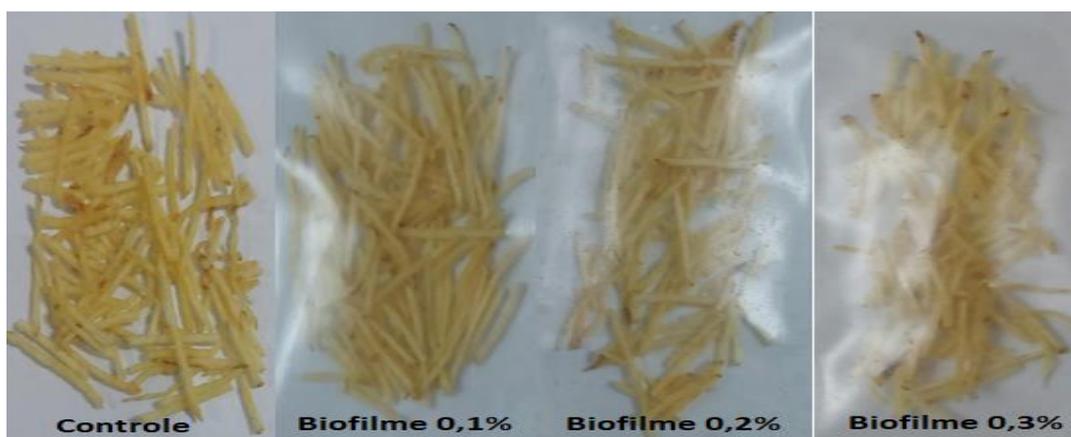
melhorou a capacidade fotoprotetora em comprimentos de onda onde não era esperada uma ação efetiva, por não apresentar bandas de absorção nesse comprimento de onda.

O biofilme com menor quantidade de aditivo foi o que apresentou maior porcentagem de transmitância, além de uma maior variabilidade entre as réplicas. Esse comportamento pode estar relacionado à baixa massa do aditivo utilizada, o que aumenta o erro relativo de pesagem e pode ter comprometido a homogeneidade das amostras, sendo sugestivo uma repetição para garantir melhor uniformidade dos dados. Em contraste, os demais biofilmes formulados apresentaram boa reprodutibilidade entre as réplicas, sugerindo maior uniformidade na incorporação do aditivo.

5.3 Aplicação do biofilme em alimentos

O processo experimental teve início no dia 30 de maio de 2025. Porções padronizadas de cerca de 1 grama de batata palha foram embaladas com os biofilmes desenvolvidos, bem como nas amostras controle, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14- Registro do primeiro dia de aplicação dos biofilmes em alimento



Fonte: Autoria Própria (2025)

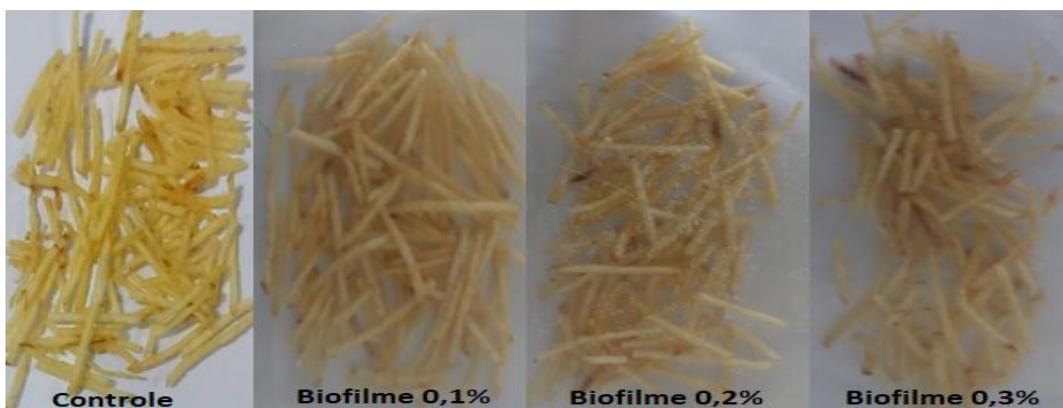
No decorrer dos 15 dias de acondicionamento, observou-se que a amostra de batata palha mantida sem qualquer tipo de revestimento apresentou perda significativa de textura, tornando-se visivelmente mais murcha ao toque, o que era de se esperar, uma vez que ela foi armazenada sem nenhuma proteção e, portanto,

barreira contra umidade. No entanto, não foram identificadas alterações, como mudança de coloração. Sensorialmente, a principal diferença percebida foi a perda de crocância, um atributo essencial para a aceitabilidade deste tipo de produto no mercado.

Em contraste, as amostras revestidas com os biofilmes desenvolvidos mantiveram suas características sensoriais inalteradas ao longo do mesmo período. Não foram observadas alterações na cor, textura ou crocância, indicando que os biofilmes podem apresentar-se como boas barreiras contra a umidade.

Também não houve percepção de alteração de outros atributos sensoriais, como sabor, aroma e odor, característicos do ranço oxidativo, uma vez que esses foram expostos à luz e à presença de oxigênio atmosférico. Além disso, as batatas não apresentaram qualquer alteração física ou de coloração que indicasse o início de processos oxidativos. Tal fator sugere uma boa estabilidade e eficiência na função como barreira fotoprotetora, como pode ser visto na Figura 15. É importante ressaltar que esses são apenas alguns apontamentos que levantados por observação visual. Para confirmar se os biofilmes realmente foram fotoprotetores, ou seja, impediram a oxidação lipídica, algumas análises, como as cromatográficas, para determinação de aldeídos, cetonas, produtos oriundos da degradação dos hidroperóxidos, responsáveis pela alteração sensorial (ranço oxidativo), devem ser feitas.

Figura 15 - Aparência após quinze dias de aplicação dos biofilmes em alimento



Fonte: Autoria Própria (2025)

Da mesma forma, a amostra acondicionada com filme plástico comercial também preservou suas características sensoriais, mantendo a crocância, o sabor e

a textura originais. A semelhança entre os resultados obtidos com os biofilmes e com a embalagem convencional evidencia não apenas a eficácia dos biofilmes na preservação da qualidade do alimento, mas também reforça seu potencial como alternativa sustentável e ambientalmente responsável para a conservação de alimentos, sejam eles naturais ou processados, conforme destacado por Aliabbasi et al. (2021). Além disso, seu uso contribui para a redução do impacto ambiental, especialmente pela menor geração de resíduos, como apontado por Carvalho et al. (2022).

6 CONCLUSÃO

As prerrogativas propostas no início deste trabalho foram alcançadas, uma vez que os biofilmes à base de amido incorporado com um derivado da síntese verde da vanilina, foram devidamente formulados. Em relação a aplicação do biofilme em alimentos foi possível verificar a sua viabilidade prática na indústria alimentícia, especialmente para produtos sensíveis à luz. As análises realizadas comprovaram que o biofilme apresenta boas propriedades físicas, como a solubilidade, a uniformidade e a espessura, já as características como o teor de umidade, a gramatura e a densidade podem ainda ser aprimorados, para melhor se adequarem aos evidenciados na literatura.

Além disso, verificou-se o desempenho satisfatório como barreira fotoprotetora, principalmente nos biofilmes de formulação com maiores concentrações do aditivo. Esses resultados indicam que o material desenvolvido é promissor para a proteção de alimentos sujeitos a reações fotooxidativas, contribuindo tanto para a preservação da qualidade quanto para a sustentabilidade devido ao desenvolvimento de embalagens ativas e biodegradáveis para o setor alimentício.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2020.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2021.
- Agarwal M, Walia S, Dhingra S, Khambay BP. Inhibition of insect growth, antifeedant and antifungal activity of compounds isolated/derived from rhizomes of *Zingiber officinale* Roscoe (ginger). *Pest Manag Sci*. 2001;57:289–300. doi: 10.1002/ps.263
- ALIABBASI, Neda *et al.* Curcumin: a promising bioactive agent for application in food packaging systems. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 105520, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2021.105520>.
- American Society for Testing Materials. ASTM D882-12 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, 11 p., 2012
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- AYYUBI, Shalahudin Nur *et al.* The effect of composition on mechanical properties of biodegradable plastic based on chitosan/cassava starch/PVA/crude glycerol: optimization of the composition using box behnken design. *Materials Today: Proceedings*, [S.L.], v. 63, p. 78-83, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.294>
- BARNABÉ, Bárbara Piacesi *et al.* Produção de bioplástico a partir de casca de batata. In: Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre, 11., 2020. Belo Horizonte: UFMG, 2020. p. 1-6.
- BAGHI, Fatemeh *et al.* Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: effects of nano/microcapsule incorporation. *Foods*, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 760, 6 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11050760>
- CARVALHO, Larissa Andreani *et al.* As contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasília: **Embrapa Agroenergia**, 2022. 22 p. (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 21774439; 50). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1150131/1/DOC50-final.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- COSTA, R. C.; MEDEIROS, M. J. O uso de biopolímeros na produção de embalagens biodegradáveis. **Jornal de Inovação e Sustentabilidade**, v. 10, n. 3, p. 102-110, 2018.
- CROTTI, Taiane. *Filmes comestíveis de pectina com extrato da semente de guaraná (Paullinia cupana) [recurso eletrônico]*. 2019. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Grande Dourados,

Dourados, 2019. Orientadora: Silvia Maria Martelli. Disponível em: <https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>. Acesso em: 13 mai. 2025.

CUI, Congli et al. Bioactive and intelligent starch-based films: a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 116, p. 854-869, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.024>.

DÍAZ-MONTES, Elsa et al. Polysaccharide-Based Biodegradable Films: an alternative in food packaging. *Polysaccharides*, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 761-775, 25 nov. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polysaccharides3040044>.

DIRPAN, Andi et al. A Review on Biopolymer-Based Biodegradable Film for Food Packaging: trends over the last decade and future research. *Polymers*, [S.L.], v. 15, n. 13, p. 2781, 22 jun. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15132781>.

FARIAS, Mônica Guimarães; FAKHOURI, Farayde Matta; CARVALHO, Carlos Wanderlei Piler de; ASCHERI, José Luis Ramírez. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 505–510, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/ZPdkSmjtDhXzQSkyZdfKZrj/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

FAPESP. Filme para embalar alimentos usa gelatina e nanocristais de celulose. **Agência FAPESP**, São Paulo, 02 ago. 2023. Disponível em: <https://namidia.fapesp.br/filme-para-embalar-alimentos-usa-gelatina-e-nanocristais-de-celulose/392996>. Acesso em: 26 maio 2025.

FENNEMA, Owen R. **Química de alimentos**. 4. ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: Artmed, 2010. Cap. 5 – Lipídios, p. 229–234.

FERNANDES, L. S.; SILVA, T. A.; ALMEIDA, M. J. Propriedades do amido em biofilmes biodegradáveis. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Materiais**, v. 10, n. 4, p. 253-265, 2021.

FREIRE, Poliana Cristina Mendonça; MANCINI-FILHO, Jorge; FERREIRA, Tânia Aparecida Pinto de Castro. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 353–363, jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732013000300010>. Acesso em: 5 jun. 2025.

FRIEDRICHSEN, Jéssica Souza Alves et al. O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis – Uma revisão. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 14, p. 1-7, 27 out. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36449>.

JACOBS, V., Siqueira Souza*, F., Souza Hamm, J. B., Szczesny Mancilha, F., (2020). Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, 21(3), 107-119.

LIMA, F. R.; MENDES, G. P.; COSTA, T. S. O impacto ambiental das embalagens plásticas no setor alimentício brasileiro. **Revista Brasileira de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 85-97, 2019.

LIU, Yanhong *et al.* Preparation and properties of biodegradable films made of cationic potato-peel starch and loaded with curcumin. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 130, p. 107690, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107690>.

LEITE FILHO, Carlos Alberto; REIS, Silvio Alan GB; ROLIM, Larissa A.; ARAÚJO, Cleônia Roberta M.; GONSÁLVES, Arlan de Assis. Síntese de resultados da Vanilina e Avaliação como Agentes Fotoprotetores frente à Radiação UVB. **Revista Virtual de Química**, <http://r.s bq.org.br>. Acesso em: 05 de dezembro de 2024.

MARTINS, D. F.; SANTOS, M. E. Melhorias em biofilmes de amido através da adição de compostos bioativos. **Estudos em Ciências dos Materiais Sustentáveis**, v. 14, n. 3, p. 120-134, 2019.

MKHARI, Tshamisane; ADEYEMI, Jerry O.; FAWOLE, Olaniyi A.. Recent Advances in the Fabrication of Intelligent Packaging for Food Preservation: a review. **Processes**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 539, 14 fev. 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr13020539>.

MOIA, Paula Josielen Santos *et al.* Efeito dos plastificantes sorbitol e glicerol em filmes de gelatina de pele de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 2, p. 5106–5122, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta/article/view/12556>. Acesso em: 28 maio 2025.

MOHAMMED, Abdulrahman A. B. A. *et al.* Effect of Various Plasticizers in Different Concentrations on Physical, Thermal, Mechanical, and Structural Properties of Wheat Starch-Based Films. **Polymers**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 63, 23 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15010063>.

NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. 4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-3-buten-2-ona). Disponível em: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C1080122&Units=SI>. Acesso em: 04/04/2025.

PAVELYEV, RS; Bondar, OV; Nguyen, TNT; Ziganshina, AA; Al Farroukh, M.; Karwt, R.; Alekbaeva, GD; Pugachev, MV; Yamaleeva, ZR; Kataeva, ON; e outros. Síntese e atividade antitumoral *in vitro* de novos derivados alquênol da piridoxina, análogos bioisostéricos do feruloil metano. **Bioórgão. Med. Química**. 2018, 26, 5824–5837.

RAJHA, H. N.; MANSOURI, S.; GUILLOU, M.; SANTOS, M. A. Incorporation of natural compounds into edible films for food preservation. **Journal of Food Engineering**, v. 276, p. 52-63, 2020.

RODRIGUES, C. M.; SILVA, T. P. Análise das propriedades antimicrobianas de biofilmes enriquecidos com cúrcuma. **Revista Brasileira de Materiais Biodegradáveis**, v. 5, n. 2, p. 145-160, 2022.

SANTOS, J. P.; SOUSA, S. C.; MARTINS, J. A. Materiais de embalagens bioativas: Cúrcuma como aditivo natural em aplicações alimentares. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 41, n. 2, p. 123-130, 2021.

SANTOS, R. D.; LIMA, T. P.; VIEIRA, C. A. Impacto ambiental das embalagens plásticas e alternativas biodegradáveis. **Revista Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 245-259, 2020.

SILVA E. M. “*Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Química)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SKOOG, D. A. *et al.* **Fundamentos de química analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. Páginas 146 a 155.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B.; SNYDER, S. A. **Química Orgânica: Volume 2**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

STOLLE, Adrielly Macedo. *Elaboração e caracterização de filmes de pectina para uso na conservação de tomates-cereja (Solanum lycopersicum)*. 2018. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Alimentos, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16655/1/PG_COALM_2018_2_02.pdf.

TAN, Shiou Xuan *et al.* A Comprehensive Review on the Emerging Roles of Nanofillers and Plasticizers towards Sustainable Starch-Based Bioplastic Fabrication. **Polymers**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 664, 10 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym14040664>.

THUPPAHIGE, Vindya Thathsaranee Weligama; MOGHADDAM, Lalehvas; GALES, Zachary G.; KARIM, Azharul. Investigação das propriedades morfológicas, químicas e térmicas de filmes biodegradáveis para embalagens de alimentos sintetizados pela utilização direta do bagaço de mandioca (*Manihot esculenta*). **Polímeros**, Basel, v. 15, n. 3, p. 767, 2023. DOI: 10.3390/polym15030767.

VIÉGAS, Larissa Paiva. *Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos*. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

WANG, Weiquan *et al.* Biodegradable cellulose/curcumin films with Janus structure for food packaging and freshness monitoring. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 324, p. 121516, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121516>

WESTLAKE, Jessica R. *et al.* Biodegradable biopolymers for active packaging: demand, development and directions. **Sustainable Food Technology**, [S.L.], v. 1, n.

1, p. 50-72, 2023. Royal Society of Chemistry (RSC).
<http://dx.doi.org/10.1039/d2fb00004k>

YOGOSAWA, S.; Yamada, Y.; Yasuda, S.; Sun, Q.; Takizawa, K.; Sakai, T. Desidrozingeronona, um análogo estrutural da curcumina, induz a parada do ciclo celular na fase G2/M e acumula ROS intracelular em células de câncer de cólon humano HT-29. *J. Nat. Prod.* 2012, 75, 2088–2093.

ZIEGLEDER, Gottfried; DANZL, Wolfgang. Proteção UV para alimentos embalados. ***New Food Magazine***, edição 4, 16 nov. 2007. Disponível em: <https://www.newfoodmagazine.com/article/1307/uv-protection-for-packaged-foods/>. Acesso em: 5 jun. 2025.