



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUCAS PONTES MADEIRO DE ARAÚJO

**INCORPORAÇÃO DE CONCENTRADO DE PITAYA VERMELHA EM FILMES DE
DESINTEGRAÇÃO ORAL À BASE DE GALACTOMANANA E AMIDO DE MILHO**

FORTALEZA

2026

LUCAS PONTES MADEIRO DE ARAÚJO

INCORPORAÇÃO DE CONCENTRADO DE PITAYA VERMELHA EM FILMES DE
DESINTEGRAÇÃO ORAL À BASE DE GALACTOMANANA E AMIDO DE MILHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos do Centro de Ciências Agrárias, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana de Siqueira
Oliveira.

Coorientadora: MSc. Lorena Maria Freire
Sampaio.

FORTALEZA

2026

LUCAS PONTES MADEIRO DE ARAÚJO

INCORPORAÇÃO DE CONCENTRADO DE PITAYA VERMELHA EM FILMES DE
DESINTEGRAÇÃO ORAL À BASE DE GALACTOMANANA E AMIDO DE MILHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos do Centro de Ciências Agrárias, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana de Siqueira
Oliveira.

Coorientadora: MSc. Lorena Maria Freire
Sampaio.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Luciana de Siqueira Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Kalliana Sítonio Eça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Diogo da Rocha Viana
(UFC - Programa de Pós-graduação em Gastronomia)

A Deus.

À minha mãe, Vaniêr.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha mãe, por sempre ser meu alicerce e porto seguro, me encorajando e apoiando em todas as minhas decisões.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro concedido durante parte da minha graduação.

Ao Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos (LACONSA) e a todos os seus integrantes, em especial Joabson, Igor, Lauanna, Rosenildo, Sebastião, Maju e Dilson, pelo companheirismo, pela troca de conhecimento e pela ajuda mútua durante o período em que estive lá

À Prof^a. Dr^a. Luciana e minha coorientadora MSc. Lorena, pela excelente orientação, paciência e dedicação.

Aos amigos que fiz na faculdade, que sempre foram muito companheiros e atenciosos. Passamos por muitas coisas juntos, tanto alegrias quanto dificuldades, mas sempre nos apoiando. Um agradecimento especial aos integrantes dos grupos G8 e LGBTQQICAAPF2K+. Vocês possuem um espaço especial no meu coração.

Ao meu namorado, Christian, por estar sempre ao meu lado, me inspirando, encorajando e torcendo pelo meu sucesso.

Aos meus amigos mais próximos, João Vitor, William e Gabriel, que estão há muitos anos comigo, participando ativamente da minha vida e sendo as pessoas em quem confio de olhos fechados.

RESUMO

Os filmes de desintegração oral (FDO) representam uma alternativa promissora para a incorporação e liberação de compostos bioativos, associando praticidade de administração e potencial aplicação nutracêutica. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver FDO à base de galactomanana, extraída de sementes de *Caesalpinia pulcherrima*, e amido de milho, incorporados com diferentes concentrações de concentrado de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) (CP), visando à obtenção de um produto com potencial nutracêutico. Os filmes foram produzidos pelo método de *casting*, utilizando formulações contendo 0%, 5%, 7% e 9% de CP. As soluções filmogênicas foram analisadas quanto aos seus parâmetros reológicos e os filmes orais foram avaliados pelos testes físicos: colorimetria, propriedades mecânicas e mucoadesivas, pH de superfície, espectros de FTIR, tempo de desintegração *in vitro*, umidade e capacidade de absorção de fluidos orais. Além disso, os teores de compostos bioativos (betacianinas, betaxantinas e polifenóis extraíveis totais) e a atividade antioxidante pelo método ABTS dos filmes foram determinados. As soluções apresentaram comportamento pseudoplástico, adequado ao processo de espalhamento em placa. A incorporação do CP conferiu uma tonalidade vermelho-intensa aos filmes e reduziu o pH superficial de 8,27 (CP-0%) para até 5,49 (CP-9%), uma faixa biocompatível com a mucosa oral. Ademais, observou-se uma redução no teor de umidade (16,25%–9,33%), na capacidade de absorção de fluidos orais e na tensão de ruptura (15,68 MPa–1,75 MPa), acompanhada pelo aumento da espessura (46,00 μm –159,67 μm) e da elasticidade (47,49%–126,79%) dos FDO. Os parâmetros relacionados à mucoadesividade (força e trabalho de adesão) foram diminuídos com a adição de CP, mostrando que os filmes tendem a se desprender rapidamente da mucosa. O FTIR confirmou a incorporação dos compostos bioativos e indicou interações intermoleculares entre os constituintes da matriz polimérica. CP-9% exibiu maiores teores de betacianinas (474,83 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), betaxantinas (290,03 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e polifenóis (12,72 mg AGE $\cdot\text{g}^{-1}$), apresentando, consequentemente, maior percentual de captura do radical ABTS (92%), o que indica elevada atividade antioxidante. Entretanto, essa formulação foi a mais pegajosa entre as demais e obteve tempo de desintegração superior (243,24 s). Dessa forma, as formulações contendo 5% e 7% de CP apresentaram o melhor equilíbrio entre propriedades tecnológicas e funcionais, demonstrando potencial nutracêutico dos FDO.

Palavras-chave: *Hylocereus polyrhizus*; *Caesalpinia pulcherrima*; betalainas; filmes orodispersíveis; biopolímeros; nutracêutico.

ABSTRACT

Oral disintegrating films (ODF) represent a promising alternative for the incorporation and release of bioactive compounds, combining administration practicality with potential nutraceutical application. This study aimed to develop ODFs based on galactomannan extracted from *Caesalpinia pulcherrima* seeds and corn starch, incorporated with different concentrations of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) concentrate (PC) to obtain a product with nutraceutical potential. The films were produced by the casting method, using formulations with 0%, 5%, 7%, and 9% PC. The film-forming solutions were analyzed for rheological parameters, and the oral films were evaluated through physical tests: colorimetry, mechanical and mucoadhesive properties, surface pH, FTIR spectra, *in vitro* disintegration time, moisture content, and oral fluid absorption capacity. Furthermore, total bioactive compounds (betacyanins, betaxanthins, and total extractable polyphenols) and antioxidant activity via the ABTS method were determined. The solutions exhibited pseudoplastic behavior, which is adequate for the plate-casting process. PC incorporation provided an intense red hue to the films and reduced the surface pH from 8.27 (PC-0%) to 5.49 (PC-9%), a range biocompatible with the oral mucosa. Additionally, a decrease in moisture content (16.25%–9.33%), oral fluid absorption capacity, and tensile strength (15.68 MPa–1.75 MPa) was observed, accompanied by an increase in thickness (46.00 μm –159.67 μm) and elasticity (47.49%–126.79%). Mucoadhesive parameters (adhesive force and work of adhesion) decreased with PC addition, indicating that the films tend to detach quickly from the mucosa. FTIR confirmed the successful incorporation of bioactive compounds and indicated intermolecular interactions within the polymeric matrix. The PC-9% formulation exhibited the highest contents of betacyanins (474.83 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), betaxanthins (290.03 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), and polyphenols (12.72 mg GAE $\cdot\text{g}^{-1}$), consequently showing the highest ABTS radical scavenging capacity (92%). However, this formulation was the stickiest and showed an excessive disintegration time (243.24 s), exceeding standard limits. Thus, formulations containing 5% and 7% PC achieved the best balance between technological and functional properties, demonstrating the high nutraceutical potential of these ODFs.

Keywords: *Hylocereus polyrhizus*; *Caesalpinia pulcherrima*; betalains; orodispersible films; biopolymers; nutraceutical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura química geral da galactomanana.....	21
Figura 2. Estruturas da amilose (A) e da amilopectina (B), que compõem o grânulo de amido.	23
Figura 3. Imagens do processo de extração do polímero Galactomanana.	26
Figura 4. Galactomanana, amido de milho e sorbitol nas quantidades escolhidas para 100 mL de água destilada.	27
Figura 5. Solução filmogênica (75GM25AM) sob agitação magnética.	28
Figura 6. Fluxograma simplificado para obtenção dos FDO.....	29
Figura 7. Soluções filmogênicas à base GM e AM adicionadas de concentrado de pitaya em diferentes concentrações.	29
Figura 8. Filmes à base de galactomanana (GM) e amido de milho (AM) após serem retirados das placas de acrílico.	30
Figura 9. Comportamento reológico em relação a taxa e tensão de cisalhamento e viscosidade de soluções filmogênicas à base de galactomanana (GM) e amido de milho (AM).	37
Figura 10. Comparação visual entre FDO formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya.	39
Figura 11. Espectros de FTIR dos filmes controle (CP-0%) e aditivados com concentrado (CP-5%, CP-7% e CP-9%).	41
Figura 12. Capacidade de absorção de fluidos orais das formulações de FDO em diferentes tempos de imersão.	45
Figura 13. Conteúdo de betacianinas (A), betaxantinas (B), PET (C) e atividade antioxidante (D) dos FDOs formulados com diferentes concentrações de concentrado de pitaya.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de concentrado de pitaya (CP) para 50 g de solução filmogênica.	28
Tabela 2. Composição da solução salivar produzida.	32
Tabela 3. Índice de comportamento (n), índice de consistência (k) e coeficiente de determinação (R^2) de soluções filmogênicas à base de galactomanana (GM) e amido de milho (AM) adicionados de concentrado de pitaya em diferentes concentrações.	36
Tabela 4. Características preliminares dos FDO com diferentes concentrações de CP.	38
Tabela 5. Parâmetros colorimétricos dos FDOs formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya (CP).	39
Tabela 6. pH de superfície, tempo de desintegração, umidade e espessura dos FDOs formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya.	43
Tabela 7. Propriedades mecânicas e mucoadesividade dos FDOs formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Amido de milho
CMC	Carboximetilcelulose
CP	Concentrado de pitaya
FDO	Filme(s) de desintegração oral
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
GM	Galactomanana
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulose
PET	Polifenóis extraíveis totais
PVA	Álcool polivinílico

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
R^2	Coeficiente de determinação
k	Índice de consistência
n	Índice de comportamento
L^*	Luminosidade
a^*	Coordenada de cromaticidade verde/vermelho
b^*	Coordenada de cromaticidade azul/amarelo
ΔE	Variação global da cor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Pitaya vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) como fonte de betalainas	17
3.2	Uso de compostos bioativos em filmes biodegradáveis.....	18
3.3	Filmes de desintegração oral (FDO)	19
3.4	Biopolímeros aplicados em FDO	20
3.5	Galactomanana	21
3.6	Amido de milho como agente filmogênico	22
3.7	Interação entre galactomanana (GM) e amido (AM).....	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Extração da Galactomanana	25
4.2	Elaboração dos filmes de desintegração oral (FDO)	27
4.3	Reologia das soluções filmogênicas	30
4.4	Caracterização dos filmes de desintegração oral (FDO).....	30
4.4.1	<i>Características preliminares</i>	30
4.4.2	<i>Colorimetria</i>	31
4.4.3	<i>Espessura</i>	31
4.4.4	<i>Tempo de desintegração</i>	31
4.4.5	<i>pH de superfície</i>	32
4.4.6	<i>Umidade</i>	32
4.4.7	<i>Propriedades mecânicas</i>	33
4.4.8	<i>Mucoadesividade</i>	33
4.4.9	<i>FTIR</i>	34
4.4.10	<i>Polifenóis extraíveis totais (PET)</i>	34
4.4.11	<i>Betacianinas e Betaxantinas</i>	34
4.4.12	<i>Atividade antioxidante (ABTS)</i>	35
4.4.13	<i>Absorção de fluidos orais</i>	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Características reológicas das soluções filmogênicas	36

5.2	Características preliminares e colorimetria dos filmes de desintegração oral (FDO)	38
5.3	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	40
5.4	pH de superfície, tempo de desintegração, umidade e espessura	43
5.5	Absorção de fluidos orais	45
5.6	Propriedades mecânicas e mucoadesividade	46
5.7	Compostos bioativos e atividade antioxidante	48
6	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) destaca-se como uma fruta de grande interesse científico e tecnológico, sendo reconhecida por apresentar elevados teores de betalainas. Esses pigmentos hidrossolúveis são quimicamente divididos em duas classes principais: as betacianinas, responsáveis pela coloração vermelho-púrpura característica, e as betaxantinas, que conferem tons amarelo-alaranjados (Abreu et al., 2012). Além de conferir coloração atrativa, as betalainas são compostos bioativos e apresentam diversas propriedades biológicas e funcionais, incluindo atividades anti-inflamatória, antioxidante, anticancerígena e antimicrobiana (Esatbeyoglu et al., 2014; Khan, 2016; Lugo-Radillo; Delgado-Enciso; Peña-Beltrán, 2012).

A incorporação de ingredientes naturais ricos em compostos bioativos tem sido explorada como uma estratégia para agregar funcionalidade a novas matrizes tecnológicas, como as embalagens ativas e os sistemas de liberação de compostos (Bala et al., 2013).

Nesse cenário, os filmes de desintegração oral (FDO) surgem como uma alternativa promissora para a veiculação dessas substâncias. Os FDO são matrizes de espessura fina e flexível, de pequenas dimensões (Musazzi et al., 2020; Pezik et al., 2021) que apresentam capacidade de se desintegrar rapidamente ao entrar em contato com a saliva (Gupta et al., 2021).

Os FDO podem ser constituídos por diversos materiais, incluindo polímeros formadores de filme, plastificantes, e adicionados de compostos ativos, adoçantes, estimulantes de saliva, aromatizantes, corantes, surfactantes, intensificadores de permeação e desintegrantes (Thakur et al., 2019). O desenvolvimento desses sistemas depende diretamente da escolha de materiais capazes de formar matrizes contínuas, estáveis e compatíveis com os compostos incorporados, tornando os biopolímeros naturais uma alternativa de grande interesse devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e capacidade filmogênica (Thakur et al., 2019).

Devido à procura por produtos mais sustentáveis, biopolímeros como a galactomanana (GM) e o amido de milho (AM) têm sido estudados como alternativas aos polímeros sintéticos à base de petróleo (Neal et al., 2026). A GM apresenta propriedades emulsificantes, espessantes e gelificantes (Albuquerque et al., 2017), características que evidenciam seu potencial para aplicação em FDO. Enquanto o AM é amplamente empregado em sistemas filmogênicos devido à sua abundância, baixo custo, renovabilidade e capacidade de formar matrizes contínuas após gelatinização (Pelissari et al., 2009). Entretanto, filmes produzidos exclusivamente com AM podem apresentar fragilidade mecânica e elevada

sensibilidade à umidade, o que motiva sua associação com outros hidrocoloides para melhoria de suas propriedades tecnológicas (Thakur et al., 2019).

A combinação entre GMs e AM tem demonstrado efeitos sinérgicos relevantes. Estudos indicam que as GMs interagem com as moléculas de amilopectina durante o aquecimento, aumentando a viscosidade do sistema e modificando o comportamento de gelatinização e retrogradação do AM (Tahmouzi et al., 2023). Além disso, a estrutura expandida das galactomananas favorece interações por ligações de hidrogênio com moléculas de amilose, contribuindo para o aumento da viscosidade aparente, do índice de consistência e da estabilidade da rede polimérica formada (Tahmouzi et al., 2023).

Diante do potencial funcional das betalaínas e demais compostos bioativos presentes na pitaya vermelha e das propriedades filmogênicas da combinação entre GM e AM, torna-se relevante investigar a viabilidade da incorporação desse concentrado em filmes orais. A utilização de matrizes poliméricas naturais pode representar uma estratégia promissora para o desenvolvimento de sistemas nutracêuticos inovadores, capazes de associar propriedades tecnológicas adequadas à incorporação de compostos bioativos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver filmes de desintegração oral (FDO) à base de amido de milho (AM) e galactomanana (GM) extraída a partir dos endospermas de sementes de *Caesalpinia pulcherrima*, para posterior incorporação de diferentes concentrações de concentrado de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) (CP), visando à obtenção de um produto com potencial aplicação nutracêutica.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a viabilidade de elaboração de soluções filmogênicas e FDO a partir da galactomanana extraída de sementes de *Caesalpinia pulcherrima* e amido de milho;
- Adicionar diferentes concentrações do concentrado de pitaya (CP) nas soluções filmogênicas formadas e analisar o seu comportamento reológico;
- Avaliar os FDO obtidos quanto às suas características visuais e colorimétricas, bem como determinar os seus perfis espectrais (FTIR), pH de superfície, tempo de desintegração, umidade, espessura e capacidade de absorção de fluidos orais;
- Avaliar as propriedades mecânicas (tensão de ruptura e elasticidade) e a mucoadesividade *in vitro* dos FDO;
- Quantificar o teor de compostos bioativos (betacianinas, betaxantinas e polifenóis extraíveis totais) e determinar o potencial de atividade antioxidante pelo método ABTS nos filmes formulados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*)

A pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*), caracterizada pela casca rosada e polpa vermelho-intensa, é uma fruta nativa do México e das Américas Central e do Sul. Essa coloração característica é resultado do alto teor de betalaínas presentes tanto na casca quanto na polpa (Tenore; Novellino; Basile, 2012). Sua aparência morfológica distinta e suas potenciais propriedades promotoras da saúde atraem interesse comercial e científico significativo ao longo dos anos (Song et al., 2016).

Do ponto de vista físico-químico, Hua et al. (2018) relatam que a pitaya é uma boa fonte de vitaminas, fibras alimentares, betacianinas, ácidos orgânicos, aminoácidos e açúcares. A polpa e a casca também apresentam elevados teores de água (geralmente superior a 80%) e pH levemente ácido (frequentemente entre 4,5 e 5,5), com predomínio do ácido málico (Gomes et al., 2026; Chen et al., 2022).

As propriedades funcionais da pitaya, como sua capacidade antioxidante, têm sido atribuídas às betalaínas e aos compostos fenólicos, ambos presentes na polpa da fruta. Segundo Abreu et al. (2012), a pitaya vermelha apresentou os maiores valores relacionados à atividade antioxidante entre as variedades analisadas, especialmente na polpa. Os autores relacionam essa atividade aos compostos bioativos presentes na fruta, os quais possuem capacidade de neutralizar radicais livres e atuar na prevenção do estresse oxidativo.

As betalaínas presentes na pitaya vermelha também demonstram propriedades biológicas importantes, incluindo atividades antioxidante, anti-inflamatória, antiproliferativa, hipoglicemiante, radioprotetora, cardioativa, diurética, hipolipidêmica, neuroprotetora e analgésica em casos de osteoartrite (Esatbeyoglu et al., 2014; Khan, 2016; Lugo-Radillo; Delgado-Enciso; Peña-Beltrán, 2012). Adicionalmente, Huang et al. (2021) relatam que as betacianinas da pitaya vermelha, pertencentes à classe das betalaínas, apresentaram efeito significativo na atenuação do acúmulo de lipídios e no ganho de peso corporal induzido por uma dieta rica em gordura.

Sobre os compostos fenólicos, há evidências crescentes de que seu consumo de maneira variada pode diminuir o risco de distúrbios de saúde devido à sua atividade antioxidante (Shahidi; Ambigaipalan, 2015). Além disso, esses constituintes podem prevenir doenças por mecanismos distintos da função antioxidante, como sinalização celular, expressão gênica e modulação da atividade enzimática (Milenkovic et al., 2011). Em de Luo et al. (2021),

foi possível verificar que polifenóis estimularam o crescimento de bactérias benéficas no trato intestinal, como as dos gêneros *Lactobacilos*, *Barnesiella* e *Bifidobacterium*) ao mesmo tempo que inibiram o crescimento de microrganismos prejudiciais à saúde, como *Escherichia coli*.

Devido à presença de compostos bioativos, ao seu caráter hidrofílico e à afinidade com matrizes poliméricas polares, especialmente amido e álcool polivinílico (PVA), os extratos de pitaya vermelha têm sido utilizados no desenvolvimento de produtos mais complexos (Qin et al., 2020; Azlim et al., 2021). Qin et al. (2020) desenvolveram filmes poliméricos de amido e PVA incorporados com extrato de pitaya vermelha para atuar como indicador de pH, com o intuito de monitorar o frescor de camarões durante o armazenamento. Além da função indicadora, os autores pontuam que a incorporação de extratos de pitaya em matrizes poliméricas pode conferir atividade antioxidante e auxiliar na preservação da qualidade dos alimentos embalados.

3.2 Uso de compostos bioativos em filmes biodegradáveis

O plástico é um polímero sintético composto por extensas cadeias de carbono que não são decompostas facilmente na natureza, o que leva ao acúmulo no meio ambiente e à formação de grandes reservatórios de resíduos. A problemática da poluição por plásticos em escala global foi recentemente mapeada e quantificada por Cottom, Cook e Velis (2024), cujo inventário de emissões estimou um vazamento anual de aproximadamente 52,1 milhões de toneladas métricas (Mt) de macroplásticos para o meio ambiente.

Os filmes biodegradáveis ativos têm sido amplamente estudados devido à sua capacidade de atuar não apenas como barreira física e alternativa ao plástico convencional, mas também como sistemas funcionais capazes de aumentar a vida útil e a segurança dos alimentos (Mir et al., 2018). Além disso, filmes ativos à base de quitosana, alginato e dióxido de titânio demonstraram elevada atividade antimicrobiana e capacidade de prolongar a vida útil de tomates em até oito dias (Perera et al., 2022).

A incorporação de extratos naturais em matrizes poliméricas biodegradáveis tem sido considerada uma estratégia promissora para agregar propriedades antioxidantes e antimicrobianas aos filmes. Extratos de folhas, sementes, frutas e óleos essenciais são frequentemente utilizados devido à presença de compostos fenólicos bioativos (Mir et al., 2018). Bertotto et al. (2022) desenvolveram um filme biodegradável contendo própolis que apresentou atividade antimicrobiana, especialmente contra *Staphylococcus aureus*.

Os filmes biodegradáveis também podem atuar como sistemas de proteção e liberação controlada de compostos bioativos. A matriz polimérica pode agir protegendo substâncias sensíveis, como óleos essenciais e compostos fenólicos, contra a degradação causada por luz, oxigênio e temperatura (Nogueira et al., 2020). Segundo Borges et al. (2024), a incorporação de óleos essenciais em filmes poliméricos biodegradáveis pode otimizar a atividade biológica desses compostos e protegê-los contra processos degradativos. Os autores também relatam que essas matrizes podem atuar como sistemas transportadores de moléculas bioativas, permitindo aplicações antimicrobianas, anti-inflamatórias e cicatrizantes.

A incorporação de compostos bioativos altera significativamente as propriedades físicas, mecânicas, ópticas e de barreira dos filmes biodegradáveis. A mistura de polímeros biodegradáveis com aditivos é uma das estratégias mais eficazes para obter materiais com propriedades desejadas (Mir et al., 2018). De acordo com Souza et al. (2017), a incorporação de antioxidantes naturais em filmes de quitosana melhorou suas propriedades de barreira contra a luz e aumentou sua resistência mecânica. Outro trabalho semelhante aponta que a adição de lignina em filmes de quitosana pode promover aumento da elasticidade, da resistência à água e da atividade antioxidante (Zhang et al., 2022).

3.3 Filmes de desintegração oral (FDO)

A administração de medicamentos por via oral é amplamente utilizada devido à sua praticidade, caráter não invasivo, facilidade de uso e elevada aceitação pelos pacientes (Irfan et al., 2016). Entretanto, formas farmacêuticas sólidas podem não ser bem aceitas por uma parcela de pacientes pediátricos, geriátricos ou com dificuldade de deglutição, o que pode comprometer a adesão ao tratamento (Nagaraju et al., 2013). Além disso, após a ingestão, os compostos ativos estão sujeitos a diferentes barreiras fisiológicas ao longo do trato gastrointestinal, incluindo variações de pH e a ação de enzimas digestivas, fatores que podem afetar sua bioacessibilidade (Raghav et al., 2023). Como alternativa para superar essas limitações, foram desenvolvidos sistemas de desintegração oral, capazes de promover a rápida liberação de fármacos sem a ingestão de água. Esses sistemas também possibilitam a absorção de ativos na mucosa oral através da circulação sistêmica, o que evita o metabolismo hepático de primeira passagem (Saxena; Singh, 2022).

Os FDO, também conhecidos como filmes orodispersíveis, são matrizes poliméricas finas e flexíveis, que se hidratam e desintegram na cavidade oral, liberando compostos ativos para absorção sem necessidade de ingestão de água (Arya et al., 2010). Eles

apresentam maior superfície de contato e maior biodisponibilidade em comparação aos medicamentos sólidos convencionais, devido ao alto fluxo sanguíneo e à elevada permeabilidade da mucosa oral (Pezik et al., 2021).

A composição típica dos FDO consiste em polímeros formadores de filme, um fármaco ou composto ativo, um agente plastificante e outros componentes que podem melhorar a aceitabilidade sensorial por parte dos consumidores, como realçadores de sabor, corantes, surfactantes e estimuladores de saliva (Hoffmann; Breitenbach; Breitreutz, 2011; Irfan et al., 2016). A rápida dissolução dessas matrizes está atrelada à natureza hidrofílica de seus polímeros, como maltodextrina, amido, pululano, hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e carboximetilcelulose (CMC), que contribuem para o entumescimento (*swelling*) da matriz polimérica, com seu posterior rompimento e liberação do composto ativo (Pacheco et al., 2021).

3.4 Biopolímeros aplicados em FDO

Diversos polímeros podem ser utilizados na produção de FDO, atuando isoladamente ou na forma de misturas, de acordo com as propriedades desejadas (Alhayali; Vuddanda; Velaga, 2019). Além de características estruturais favoráveis, a escolha e a concentração dos polímeros utilizados devem considerar fatores como mucoadesividade, biocompatibilidade e atoxicidade. Segundo Lam et al. (2014), os polímeros também podem melhorar a estabilidade química, física e microbiológica, além de aumentar a biodisponibilidade do produto e a aceitabilidade do consumidor. A escolha do polímero é de extrema importância para garantir ao filme resistência mecânica adequada, alta hidrofiliabilidade e boas propriedades mucoadesivas (Tedesco; Monaco-Lourenço; Carvalho, 2016).

De acordo com Pacheco et al. (2021), as matrizes de FDO são tipicamente compostas por polímeros hidrofílicos. Dentre eles, os polímeros naturais têm recebido destaque por serem obtidos de fontes renováveis e apresentarem características como atoxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade e elevada capacidade de formação de filmes, favorecendo a incorporação e a liberação de compostos bioativos. Esses polímeros são produzidos por seres vivos e possuem alta capacidade de degradação no ambiente pela presença de átomos de oxigênio e de nitrogênio na sua estrutura (Yadav, 2015).

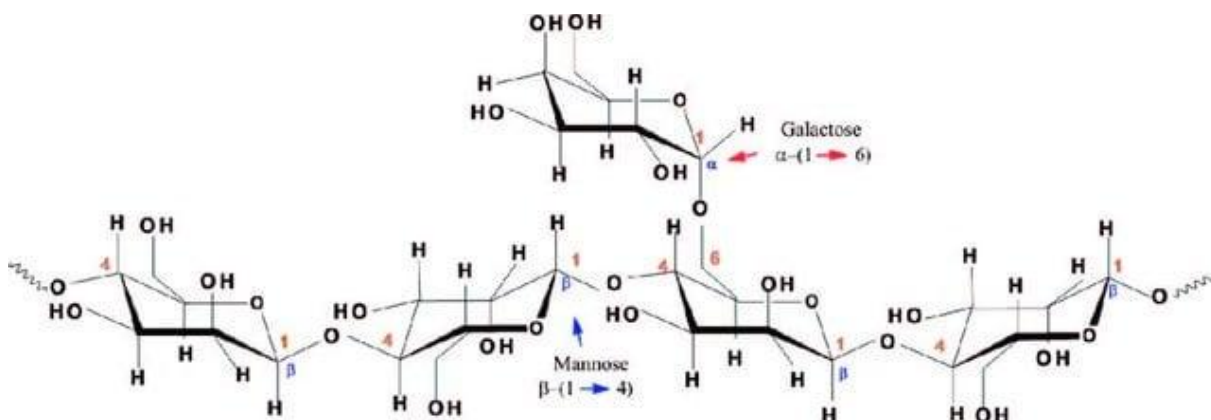
Dentre as classes de biopolímeros, os polissacarídeos são os mais explorados para a geração de filmes biodegradáveis devido ao seu baixo custo, variedade de fontes de extração e propriedades funcionais (Díaz-Montes, 2022). Diversos polissacarídeos naturais têm sido retratados na literatura para a produção de FDO, incluindo o amido, a maltodextrina, a pectina,

o alginato, a quitosana, o pululano e a galactomanana (Lee et al., 2017; Irfan et al., 2016; Nascimento et al., 2019).

3.5 Galactomanana

As galactomananas são biopolímeros hemicelulósicos neutros que atuam como polissacarídeos de reserva, sendo extraídas principalmente do endosperma de sementes de leguminosas (Sharma et al., 2022). Sua estrutura é formada por uma cadeia principal de pv ligada por β -(1 $\rightarrow$ 4) e ramificações de galactose ligadas por α -(1 $\rightarrow$ 6) (Blibech et al., 2013), conforme ilustrado na Figura 1. A proporção entre manose e galactose (relação M/G) varia de acordo com a espécie vegetal e influencia diretamente suas propriedades físico-químicas e funcionais, como massa molar média, viscosidade e polidispersidade dos polímeros naturais. Além disso, uma menor razão M/G é caracterizada por uma maior solubilidade em água fria, ao passo que uma relação mais elevada indica menor solubilidade a frio, necessitando de temperaturas maiores para sua completa dissolução (Flores García et al., 2025).

Figura 1. Estrutura química geral da galactomanana.



Fonte: Sousa et al. (2019).

Por apresentarem diferentes propriedades físico-químicas, as galactomananas são biopolímeros versáteis utilizados em diversas áreas, tais como as indústrias têxtil, farmacêutica, biomédica, cosmética e de alimentos (Vieira et al., 2007). Sua principal utilização na indústria alimentícia é como agente de reforço e estabilizador de emulsões. Além disso, seu perfil hidrocolóide é capaz de formar soluções aquosas altamente viscosas e estáveis, mesmo em baixas concentrações (Cerqueira et al., 2009).

As galactomananas apresentam comportamento pseudoplástico (fluido não newtoniano), no qual a viscosidade diminui sob a aplicação de uma força de cisalhamento, facilitando processos de bombeamento, mistura e espalhamento durante o processamento industrial (Yaşar; Kahyaoglu; Şahan, 2009; Mudgil; Barak; Khatkar, 2014). Quanto à sua capacidade filmogênica, esses polissacarídeos são capazes de formar filmes contínuos, flexíveis e coesos por meio da evaporação do solvente (Mikkonen et al., 2007). Essa propriedade está associada à tendência de formação de interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas, especialmente ligações de hidrogênio (Cheng et al., 2002).

Devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e elevada capacidade filmogênica, o uso das galactomananas tem sido amplamente investigado no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e revestimentos comestíveis para alimentos (Dos Santos Araujo et al., 2025; Dos Santos et al., 2015). Os filmes obtidos a partir desses biopolímeros podem apresentar propriedades mecânicas e de barreira adequadas, atuando na redução da perda de umidade e no controle da transferência de gases, como oxigênio e dióxido de carbono, o que contribui para a manutenção da qualidade e para o aumento da vida útil dos alimentos (Cerqueira et al., 2011). Na área farmacêutica, as galactomananas têm sido amplamente estudadas como excipientes e biomateriais em sistemas de liberação controlada e direcionada de fármacos, atuando como matrizes, hidrogéis, nanopartículas e materiais de revestimento (Yadav; Maiti, 2020; Silveira; Bresolin, 2011). Além disso, podem ser empregadas na produção de filmes farmacêuticos devido à sua biocompatibilidade, atoxicidade e capacidade de formar estruturas filmogênicas flexíveis e estáveis (Flores García et al., 2025).

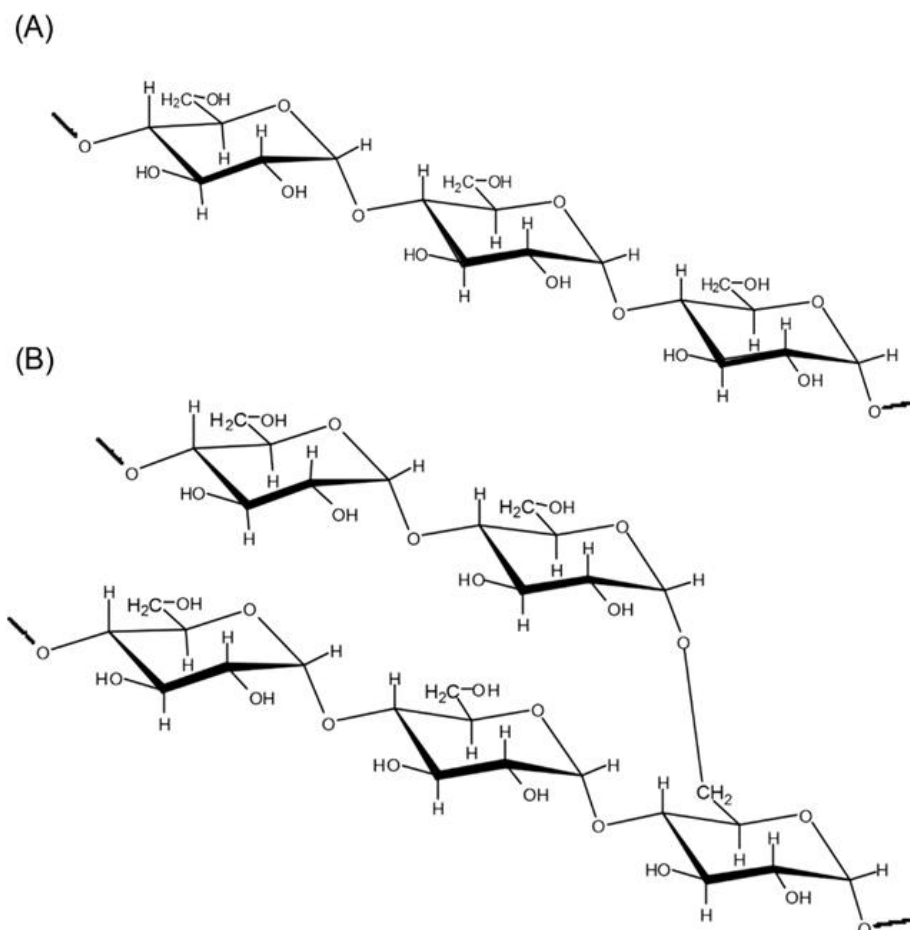
3.6 Amido de milho como agente filmogênico

O amido de milho é um polissacarídeo natural amplamente utilizado na produção de filmes biodegradáveis devido à sua abundância, baixo custo, biodegradabilidade, atoxicidade e capacidade de formar matrizes contínuas (Jia et al., 2023). Além de sua ampla aplicação na indústria alimentícia, esse biopolímero tem despertado interesse no desenvolvimento de materiais sustentáveis como alternativa aos polímeros sintéticos derivados do petróleo (Fonseca et al., 2021).

Os grânulos de amido são formados principalmente por dois polímeros de glicose: a amilose e a amilopectina. A amilose (Figura 2-A) é formada por unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas α (1 $\rightarrow$ 4), resultando em uma cadeia linear e correspondendo à fração solúvel do polissacarídeo. Por sua vez, a amilopectina (Figura 2-B) constitui a fração insolúvel

e é composta por unidades de D-glicose ligadas por ligações glicosídicas α (1 $\rightarrow$ 4) e α (1 $\rightarrow$ 6), sendo estas últimas responsáveis pela formação de sua estrutura ramificada (Denardin; Silva, 2009; Soares, 2003).

Figura 2. Estruturas da amilose (A) e da amilopectina (B), que compõem o grânulo de amido.



Fonte: adaptado de Soares (2003).

Quando o amido é exposto a altas temperaturas e excesso de água, ocorre o processo de gelatinização, no qual os grânulos passam de uma fase semicristalina para uma conformação amorfa (Ratnayake; Jackson, 2008). A perda da cristalinidade ocorre em duas etapas. A primeira envolve a absorção de água e o entumescimento das moléculas de amido, fenômeno que ocorre entre 60 e 70 °C (Martinez-Pardo et al., 2017). Nessa etapa, observa-se uma redução da birrefringência, o que indica o início da desorganização das regiões cristalinas e da quebra das ligações de hidrogênio, sem um aumento significativo da viscosidade. A segunda etapa ocorre em temperaturas acima de 90 °C, sendo marcada pelo entumescimento mais acentuado dos grânulos, juntamente com a solubilização. Nela, há a perda completa da integridade estrutural

interna do amido (Ivanič et al., 2017). A retrogradação, por sua vez, ocorre com a redução da temperatura do amido gelatinizado. As cadeias de amilose e amilopectina se reassociam de maneira mais ordenada, formando novas pontes de hidrogênio intermoleculares. Esse fenômeno reduz o volume e a afinidade do polímero pela água, podendo gerar filmes com características desejáveis (Thakur et al., 2019).

Segundo Thakur et al. (2019), filmes à base de amido possuem boas propriedades ópticas, organolépticas e de barreira a gases. No entanto, exibem propriedades mecânicas limitadas, especialmente em relação à resistência e à flexibilidade. De acordo com os autores, a adição de copolímeros biodegradáveis ou outros aditivos secundários, como os plastificantes, pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades mecânicas e de tração dos filmes.

3.7 Interação entre galactomanana (GM) e amido (AM)

A compatibilidade entre polímeros é um fator de grande importância para a formação de filmes homogêneos, uma vez que sistemas compatíveis apresentam menor tendência à separação de fases e melhor distribuição dos componentes na matriz polimérica. No caso da galactomanana e do amido, a compatibilidade é favorecida pela natureza hidrofílica de ambos os biopolímeros e pela elevada concentração de grupos hidroxila (-OH) presentes em suas cadeias. A combinação entre esses polímeros tem sido explorada com o objetivo de melhorar as características físico-químicas e reológicas do sistema. Segundo Zhang et al. (2024), a introdução da GM em matrizes de AM é capaz de modular o perfil de gelatinização, diminuir a digestibilidade, aumentar a dureza do gel e o teor de amido resistente, parâmetros que podem ser benéficos para pacientes acometidos por diabetes e obesidade. Em complemento, outros estudos relatam que a viscosidade aparente de soluções de AM aquecidas é rapidamente aumentada com a adição de GM, mesmo em baixas concentrações (Funami et al., 2005; Choi; Yoo, 2009). Segundo Funami et al. (2005), quanto menores as cadeias laterais da galactose presentes na GM, maior a viscosidade da solução, o que relaciona diretamente a razão de M/G com esse comportamento reológico.

As ligações de hidrogênio constituem o principal mecanismo de interação molecular entre a GM e o AM. Ambos os biopolímeros possuem numerosos grupos hidroxila, os quais estabelecem forças de atração intermolecular entre si. Essas interações promovem maior coesão da matriz polimérica e favorecem a formação de filmes contínuos e estruturalmente estáveis (Dos Santos et al., 2015; Tahmouzi et al., 2023).

Como abordado anteriormente, filmes puramente à base de AM podem apresentar características quebradiças e rígidas. A interação com a GM pode ser uma solução para essa limitação, pois o emaranhamento físico das cadeias de GM de alta massa molar confere maior flexibilidade e tenacidade aos filmes com esse polímero (Mikkonen et al., 2007). O estudo de Freitas et al. (2025) apresentou melhoria expressiva nas características mecânicas de filmes de amido quando adicionados de galactomanana e óleo de buriti.

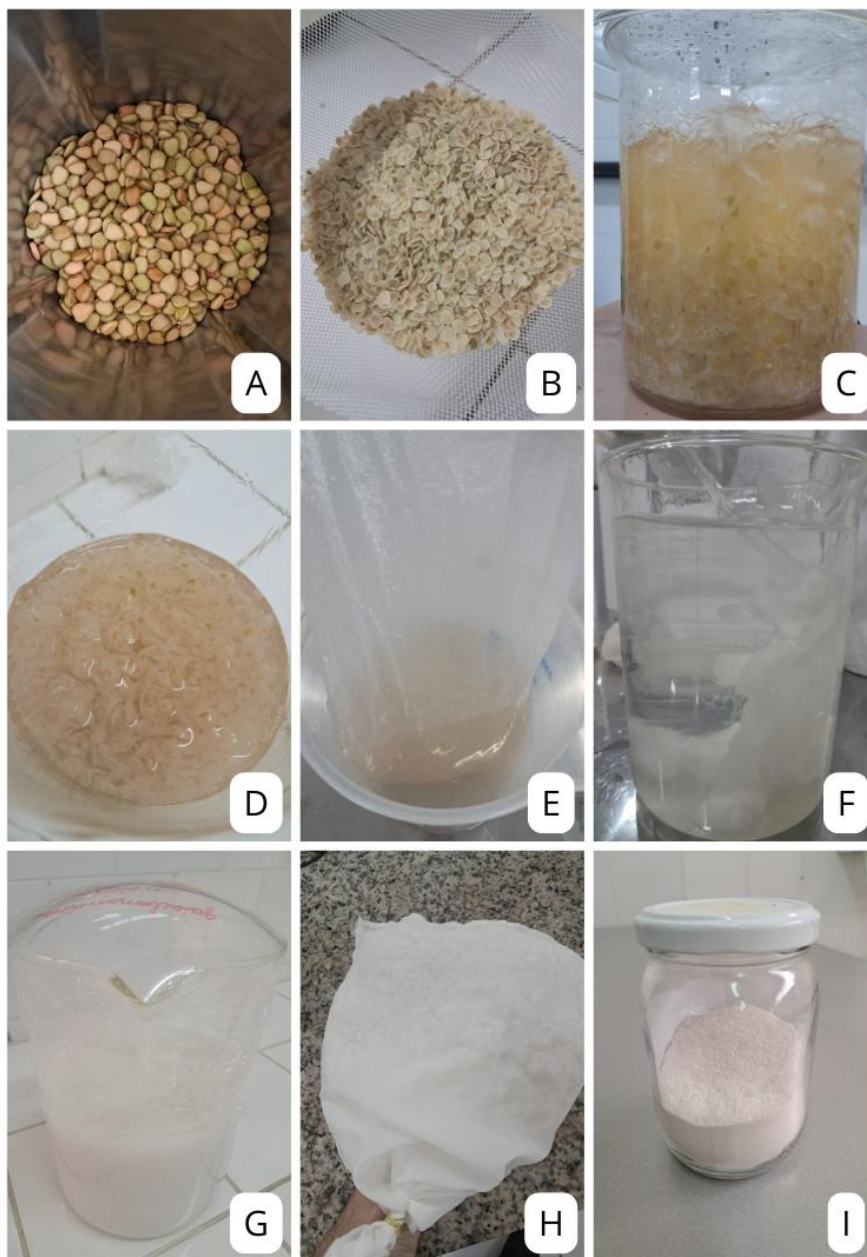
4 MATERIAIS E MÉTODOS

A polpa concentrada de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) utilizada na produção das formulações dos filmes de desintegração oral (FDO) foi fornecida pela Embrapa Agroindústria Tropical (Fortaleza, Ce, Brasil). A galactomanana foi obtida através da extração do polímero de sementes de *Caesalpinia pulcherrima*, coletadas nos arredores da Universidade Federal do Ceará (UFC). O amido de milho e o plastificante sorbitol foram adquiridos da empresa Adicel (Belo Horizonte, MG, Brasil).

4.1 Extração da Galactomanana

O biopolímero foi obtido a partir das sementes de *Caesalpinia pulcherrima*, extraídas conforme o procedimento descrito por Cerqueira et al. (2009), com algumas adaptações. Inicialmente, as sementes foram retiradas das vagens, submetidas à limpeza e fragmentadas utilizando um liquidificador industrial (Spolu SPL-022-ECO). Posteriormente, os endospermas foram separados manualmente das cascas resultantes da trituração. Em seguida, o material foi suspenso em álcool 96° na proporção de 1:2 (m/v; endosperma:álcool). A suspensão obtida foi mantida em ebulição a 100 °C por 15 minutos em uma chapa aquecedora (Marconi MA-039), com o objetivo de promover a inativação enzimática (Figura 3).

Figura 3. Imagens do processo de extração do polímero Galactomanana.



Fonte: elaborado pelo autor (2026). A = Sementes de *C. pulcherrima*; B = Endospermas após a liquidificação das sementes; C = Inativação enzimática dos endospermas; D = Endospermas após imersão em água destilada por 12h a 8 °C; E = Filtração do material em malha de nylon; F = Precipitação da galactomanana em álcool etílico absoluto 99,5% P. A.; G = Imersão do precipitado em acetona; H = Material seco após 24h a 40 °C. I = Galactomanana após trituração e peneiramento.

Após a inativação, o álcool foi removido por decantação e os endospermas foram transferidos para água destilada na proporção de 1:5 (m/v; endosperma:água), permanecendo em repouso por 12 horas a 8 °C. Em seguida, foi adicionada água na proporção de 1:10 (suspensão:água). A mistura resultante foi submetida à homogeneização em liquidificador

industrial (Spolu SPL - 022 - ECO) e filtrada utilizando uma malha de nylon com abertura de 0,125 mm (Figura 3).

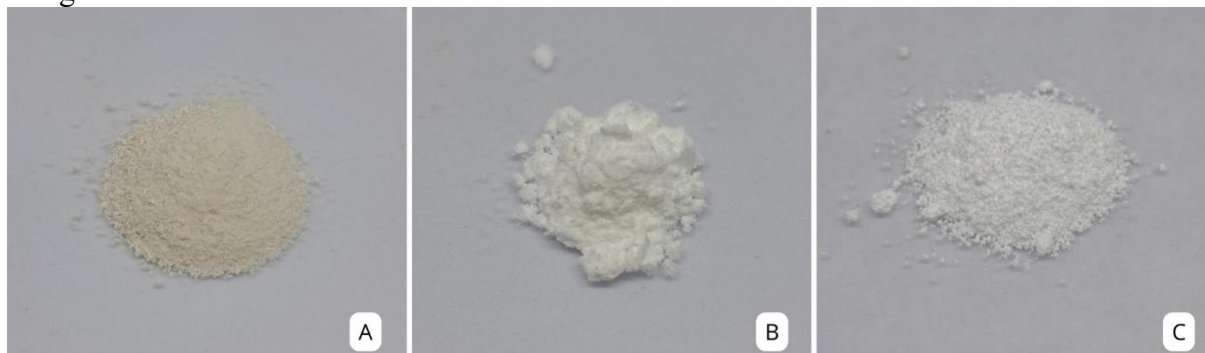
Para promover a precipitação da galactomanana, o sobrenadante obtido foi adicionado a álcool etílico absoluto 99,5% P.A., na proporção de 1:2 (sobrenadante:álcool). Em seguida, o material precipitado foi imerso em acetona, utilizando-se a razão de 1:5 (m/v; precipitado:acetona), permanecendo nessa solução por 15 minutos. Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, MA 035) a 40 °C durante 12 horas. Após a secagem, o produto obtido foi triturado em moedor de grãos (Black Decker Gourmand Inox MG200), peneirado em malha de 35 mesh e armazenado em recipiente de vidro à temperatura ambiente (Figura 3).

4.2 Elaboração dos filmes de desintegração oral (FDO)

Para a produção das soluções filmogênicas, 1 g de polímeros (Liu et al., 2020; Rodriguez-Canto et al., 2020 - Adaptados), na proporção 75% de GM e 25% de AM (75GM25AM), foram adicionados gradualmente a 100 mL de água destilada, permanecendo sob agitação magnética (EduLab 78HW-1 Constant Temperature) por uma hora, até completa incorporação ao meio. A solução continuou sob agitação e foi aquecida até 90 °C, por 15 minutos. Em seguida, a solução foi resfriada (40 °C) e o plastificante sorbitol (0,4 g/g de polímero) foi adicionado ao sistema até sua completa homogeneização (20 minutos) (Figura 5).

A proporção de GM:AM foi selecionada com base em resultados prévios do grupo que demonstraram adequada capacidade filmogênica, propriedades mecânicas e rápida desintegração.

Figura 4. Galactomanana, amido de milho e sorbitol nas quantidades escolhidas para 100 mL de água destilada.



Fonte: elaborado pelo autor (2026). A = Galactomanana; B = Amido de milho; C = Sorbitol.

Figura 5. Solução filmogênica (75GM25AM) sob agitação magnética.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Posteriormente, a solução foi dividida igualmente em dois béqueres (50 mL em cada), aos quais foram adicionados a quantidade de CP correspondente a cada amostra (Tabela 1). Após 30 minutos em agitação magnética, as misturas (50 mL) foram espalhadas pelo método *casting* em placas de acrílico (12 × 12 cm). O conjunto então foi levado a uma estufa com circulação e renovação de ar (Marconi MA 035), onde permaneceu a 40 °C por 24 h. Após a retirada da estufa, os filmes permaneceram em repouso à temperatura ambiente durante 12 h, sendo posteriormente removidos. (Figura 8).

Tabela 1. Quantidade de concentrado de pitaya (CP) para 50 g de solução filmogênica.

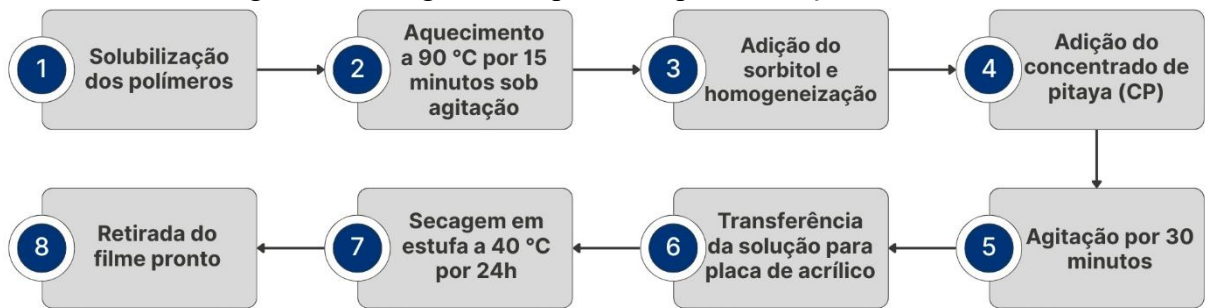
Valores de CP para 50 g de solução filmogênica	
5%	2,5 g
7%	3,5 g
9%	4,5 g

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

As concentrações foram definidas com base em ensaios preliminares, nos quais avaliou-se a viabilidade de formação e a integridade do filme.

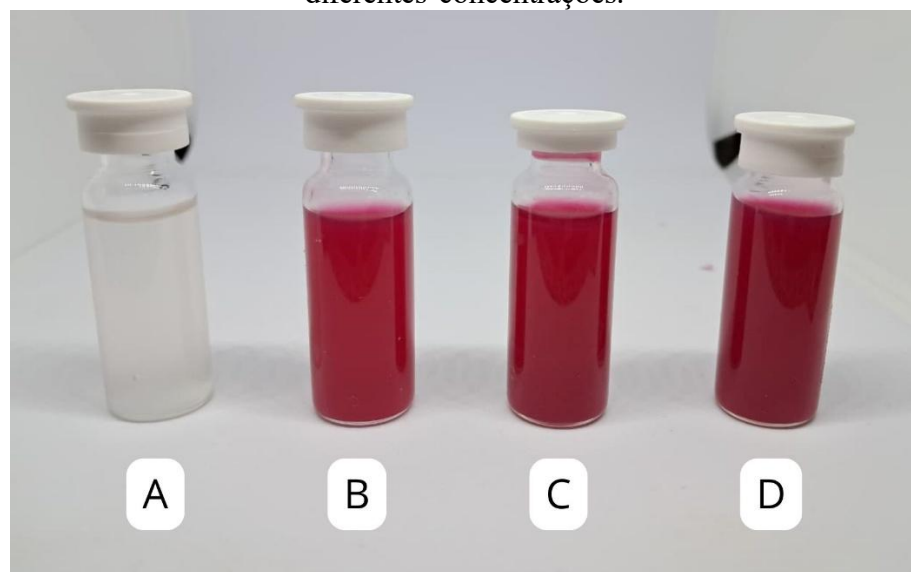
As etapas para obtenção dos FDO podem ser observadas de forma resumida no fluxograma exibido na Figura 6.

Figura 6. Fluxograma simplificado para obtenção dos FDO.



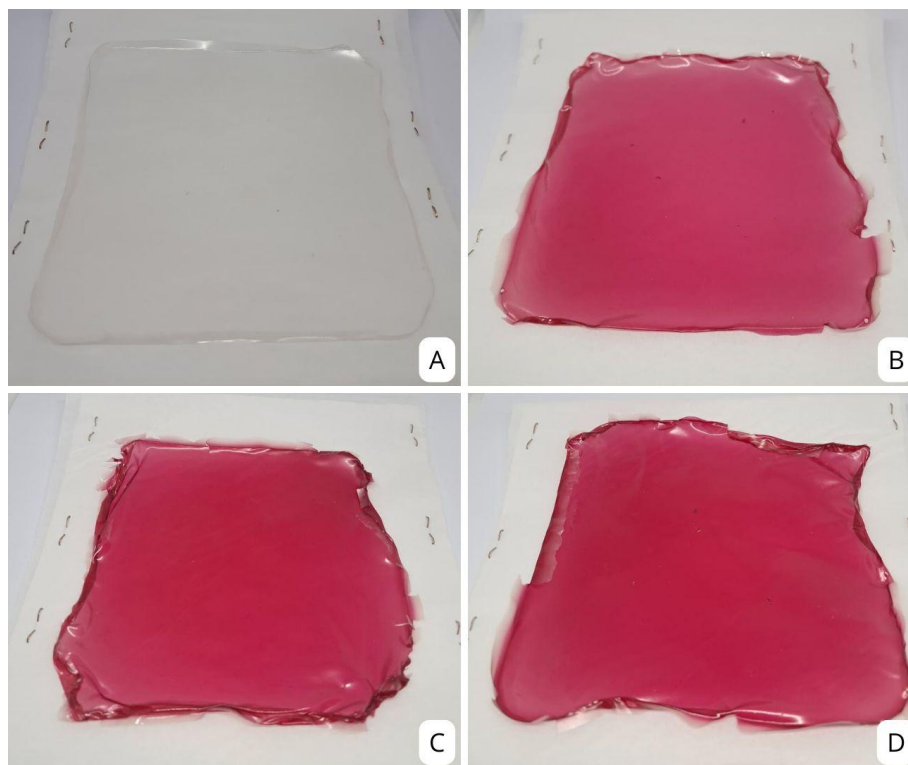
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Figura 7. Soluções filmogênicas à base GM e AM adicionadas de concentrado de pitaya em diferentes concentrações.



Fonte: elaborado pelo autor (2026). A = Formulação com 0% de CP; B = Formulação com 5% de CP; C = Formulação com 7% de CP; D = Formulação com 9% de CP.

Figura 8. Filmes à base de galactomanana (GM) e amido de milho (AM) após serem retirados das placas de acrílico.



Fonte: elaborado pelo autor (2026). A = Formulação com 0% de CP; B = Formulação com 5% de CP; C = Formulação com 7% de CP; D = Formulação com 9% de CP.

4.3 Reologia das soluções filmogênicas

O comportamento reológico das soluções filmogênicas, na presença e na ausência de CP, foi avaliado utilizando um reômetro da TA Instruments (modelo AR-550, EUA), equipado com geometria cone-placa de 40 mm de diâmetro. As medições foram realizadas por meio da variação da taxa de cisalhamento entre 0 e 200 s^{-1} , à temperatura ambiente (25 °C).

4.4 Caracterização dos filmes de desintegração oral (FDO)

4.4.1 Características preliminares

As características preliminares foram avaliadas com base na metodologia descrita por Sowjanya e Rao (2023).

Capacidade de formação de filme: Se refere à habilidade dos polímeros em formar filmes contínuos e íntegros, passíveis de remoção da superfície de secagem sem danos. Os

filmes foram classificados qualitativamente em muito ruins, ruins, medianos, bons e muito bons.

Aparência física: Os FDO passaram por inspeção visual, considerando aspectos como textura superficial, coloração, homogeneidade e transparência dos filmes.

Pegajosidade: Determinada por meio da pressão leve dos filmes entre os dedos, classificando-os qualitativamente como pegajosos, pouco pegajosos ou muito pegajosos.

4.4.2 Colorimetria

Os parâmetros de cor das formulações, incluindo luminosidade L^* (0 - preto a 100 - branco) e cromaticidade a^* [(-) verde a (+) vermelho] e b^* [(-) azul a (+) amarelo], foram determinados por meio de um colorímetro Chroma Meter CR-410 (Konica Minolta, Japan). Para as análises, os filmes foram recortados no tamanho correspondente a uma placa de Petri de 5 cm de diâmetro, sendo realizadas 5 leituras em faces alternadas do material.

4.4.3 Espessura

A espessura dos FDO foi determinada com o auxílio de um micrômetro digital (Mitutoyo, QuantuMike, EUA). As medições foram realizadas em 10 regiões distintas de cada filme, sendo efetuadas 5 leituras em cada região.

4.4.4 Tempo de desintegração

O tempo de desintegração *in vitro* foi determinado colocando um recorte de FDO (3×2 cm) em uma placa de Petri e aplicando 200 μ L de solução salivar sobre sua superfície. A solução foi produzida conforme Brodkorb et al. (2019) e as quantidades dos sais utilizados estão descritas na Tabela 2. Em seguida, cronometrou-se o tempo necessário para que a solução promovesse a ruptura do centro do filme (Garsuch; Breitzkreutz, 2010). A análise utilizou 3 corpos de prova para cada formulação.

Tabela 2. Composição da solução salivar produzida.

Nome do composto	Fórmula química	Conc. de estoque (M)	Quantidade (mL) para 500 mL de Sol. Salivar	Conc. no Fluido Salivar (mmol/L)
Cloreto de potássio	KCl	0,5	18,9	18,90
Fosfato monopotássico	KH ₂ PO ₄	0,5	4,6	4,60
Bicarbonato de sódio	NaHCO ₃	1,0	8,5	17,00
Cloreto de magnésio hexa-hidratado	MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0,15	0,6	0,18
Carbonato de amônio	(NH ₄) ₂ CO ₃	0,5	0,1	0,10
Ácido clorídrico	HCl	6,0	0,1	1,20
Cloreto de cálcio di-hidratado	CaCl ₂ (H ₂ O) ₂	0,3	0,03	0,018

Fonte: adaptado de Brodtkorb et al. (2019).

4.4.5 pH de superfície

A determinação do pH de superfície dos filmes foi realizada com base na metodologia proposta por Prabhu et al. (2011), com algumas adaptações.

Três amostras (3 × 2 cm) de cada formulação foram imersas individualmente em 1 mL da solução salivar, preparada conforme descrito na análise anterior (Tabela 2), em tubos Falcon, e homogeneizadas com o auxílio de um bastão de vidro. O pH foi então medido utilizando um pHmetro Quimis 110V, Q400A (eletrodo de cloreto de prata). Os valores foram considerados após a estabilização da leitura.

4.4.6 Umidade

A análise de umidade seguiu a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2005). Inicialmente, amostras em triplicata dos filmes com diâmetro de aproximadamente 5 cm foram pesadas juntamente com cadinhos previamente tarados em estufa Marconi MA 035 a 105 °C, por 1 h. Na sequência, os cadinhos contendo as amostras foram levados à mesma estufa, a 105 °C por 3 horas, para então serem pesados novamente.

O teor de umidade (%) foi calculado de acordo com a Equação (1):

$$\% \text{ Umidade} = \frac{100 \times N}{P} \quad (1)$$

em que N corresponde à perda de massa (g) e P ao peso inicial da amostra (g).

4.4.7 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes (resistência à tração e alongamento na ruptura) foram avaliadas conforme o método ASTM D882-09, utilizando uma máquina universal de ensaios (EMIC, modelo DL-3000). Para a análise, foram utilizados oito corpos de prova com dimensões de 60×12 mm.

Antes das análises, as amostras foram armazenadas em dessecador contendo nitrato de magnésio hexahidratado por 48 h, com o objetivo de manter a umidade relativa em $50 \pm 5\%$, sob a temperatura de 24 ± 2 °C.

Os corpos de prova foram fixados nas garras do equipamento, com distância inicial de 100 mm entre elas, aplicando-se carga de 100 N e velocidade de tração de 50 mm/min. Durante o ensaio, foram registrados os valores de força (N) e alongamento (mm) até a ruptura dos filmes.

A resistência à tração (MPa) foi determinada pela razão entre a força máxima aplicada no momento da ruptura e a área da seção transversal do filme. O alongamento na ruptura (%) foi determinado pela variação do comprimento do corpo de prova ao longo do ensaio.

4.4.8 Mucoadesividade

As propriedades mucoadesivas dos FDO foram avaliadas utilizando um texturômetro (Stable Systems Ltd., modelo TA-TX2i), conforme metodologia descrita por Okeke e Boateng (2016). Amostras dos filmes com diâmetro de 16 mm foram fixadas em uma sonda cilíndrica de acrílico (20 mm de diâmetro) por meio de fita adesiva. A sonda foi então deslocada até entrar em contato com uma superfície contendo gelatina bovina a 10% (m/v) (150 bloom/30 mesh), previamente preparada para simular a mucosa bucal e umedecida com 40 µL de solução salivar simulada, conforme Brodkorb et al. (2019).

Durante o ensaio, foi aplicada uma força constante de 1 N por um tempo de contato de 10 segundos, seguida de uma etapa de separação com velocidade de 0,5 mm/s. Como parâmetros de resposta, foram determinados a força de adesão (N) e o trabalho de adesão (N·mm).

4.4.9 FTIR

Os espectros de absorção no infravermelho dos filmes de desintegração oral foram obtidos utilizando um espectrômetro FTIR IRTracer-100 (Shimadzu, Japão), equipado com acessório de refletância total atenuada (ATR). As análises foram realizadas diretamente na superfície dos filmes, na faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} , utilizando 64 varreduras para cada amostra. Os espectros obtidos foram utilizados para avaliar possíveis interações intermoleculares entre os componentes da matriz polimérica e o concentrado de pitaya incorporado.

4.4.10 Polifenóis extraíveis totais (PET)

A determinação dos polifenóis extraíveis totais (PET) foi realizada a partir da extração de compostos presentes nos FDO. Inicialmente, 40 mg das amostras foram adicionados a 10 mL de solução etanólica a 50% (v/v) e mantidos sob agitação magnética por 1 hora. Em sequência, o material foi levado a um banho ultrassônico (Unique USC, 15 kHz, 150 W) por 30 minutos, a 25 °C, seguido de centrifugação (modelo LS-3 PLUS, CELM, Brasil) a 3500 rpm por 20 minutos (Li et al., 2025).

Após a centrifugação, o sobrenadante obtido foi utilizado para a quantificação de PET, conforme metodologia descrita por Obanda et al. (1997). Para a análise, uma alíquota de 250 μL do extrato foi misturada a 250 μL do reagente de Folin–Ciocalteu (10%, v/v), 500 μL de carbonato de sódio (20%, m/v) e 500 μL de água destilada. A mistura foi mantida em repouso, ao abrigo da luz, por 30 minutos.

A absorbância foi determinada em leitor de microplacas (SynergyMx, Biotek, Miami, FL, USA), a 700 nm. A quantificação dos polifenóis foi realizada por meio de uma curva padrão construída com diferentes concentrações de ácido gálico a 0,01% (0–50 $\mu\text{g mL}^{-1}$, $y = 0,020x + 0,009$, $R^2 = 0,997$). Os resultados foram expressos em mg AGE. g⁻¹ de FDO.

4.4.11 Betacianinas e Betaxantinas

A análise de betacianinas e betaxantinas seguiu a metodologia de Lim et al (2011), e foi conduzida utilizando o mesmo extrato empregado nas metodologias anteriores.

As leituras foram realizadas em leitor de microplacas (SynergyMx, Biotek, Miami, FL, USA), com comprimento de onda de 538 nm e 478 nm, respectivamente. Os resultados foram calculados por meio da Equação (4):

$$\text{Betacianinas ou Betaxantinas}(\text{mg} \times 100\text{g}^{-1} \times \text{DW}) = \frac{A_{538} \times \text{MM} \times V \times \text{DF} \times 100}{\varepsilon \times L \times M} \quad (4)$$

onde:

A_{538} = absorvância a 538 nm ou 478 nm;

MM = massa molecular (550 g·mol⁻¹);

V = volume do extrato (mL);

DF = fator de diluição no momento da leitura;

ε = coeficiente de absorvidade molar (60.000 L·mol⁻¹·cm⁻¹ em H₂O);

L = caminho óptico da cubeta (1 cm);

M = massa utilizada na extração (g).

Os resultados foram expressos em mg de betacianinas por 100 g de peso seco (DW).

4.4.12 Atividade antioxidante (ABTS)

Para a determinação da atividade antioxidante, foi utilizado o mesmo extrato produzido inicialmente para a análise de PET, descrito na metodologia anterior. O ensaio do radical ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) foi realizado adicionando 0,5 mL do extrato em 1,5 mL da solução ABTS. A mistura foi mantida ao abrigo da luz por 6 minutos a 25 °C, e então analisada em leitor de microplacas (SynergyMx, Biotek, Miami, FL, USA), no comprimento de onda de 734 nm. A absorvância foi medida no mesmo leitor, em comprimento de onda de 517 nm.

Ambos os ensaios seguiram a metodologia descrita por Li et al. (2025). A absorvância foi calculada a partir da Equação (3):

$$\% \text{ ABTS} = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

onde A0 corresponde à absorvância da solução de ABTS e A1 à absorvância da amostra.

4.4.13 Absorção de fluidos orais

A absorção de fluidos orais foi determinada por método gravimétrico adaptado de Rani et al. (2021) e Muralidhar et al. (2023). Amostras dos FDO (2 cm²) foram inicialmente pesadas em placas de Petri previamente taradas e, em seguida, imersas individualmente em solução salivar simulada (Tabela 2). Após intervalo de 30 s, os filmes foram removidos, o excesso superficial da solução foi retirado e as amostras foram novamente pesadas. Esse procedimento foi repetido até 60 s, uma vez que após esse período os filmes apresentaram perda de integridade estrutural, impossibilitando a continuidade das pesagens.

A absorção de fluidos orais (%) foi calculada por meio da Equação (5):

$$\% \text{ Absorção de fluidos orais} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (5)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características reológicas das soluções filmogênicas

Para a análise dos dados obtidos nos ensaios reológicos, foi utilizado o modelo da Lei da Potência (ou de Ostwald-de Waele). Esse modelo foi o que melhor adequou-se aos resultados, visto que todas as soluções filmogênicas apresentaram valores de coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,96 (Tabela 3), indicando que a equação $\tau = k \cdot \gamma^n$ descreve adequadamente o comportamento de escoamento das soluções analisadas.

Tabela 3. Índice de comportamento (n), índice de consistência (k) e coeficiente de determinação (R^2) de soluções filmogênicas à base de galactomanana (GM) e amido de milho (AM) adicionados de concentrado de pitaya em diferentes concentrações.

Formulações	n	k (Pa.s ⁿ)	R^2
CP-0%	0,430 ± 0,007 ^d	7,174 ± 0,383 ^a	0,977
CP-5%	0,438 ± 0,003 ^{cd}	6,339 ± 0,082 ^b	0,977
CP-7%	0,478 ± 0,005 ^a	3,960 ± 0,140 ^d	0,981
CP-9%	0,446 ± 0,003 ^b	4,692 ± 0,053 ^c	0,978

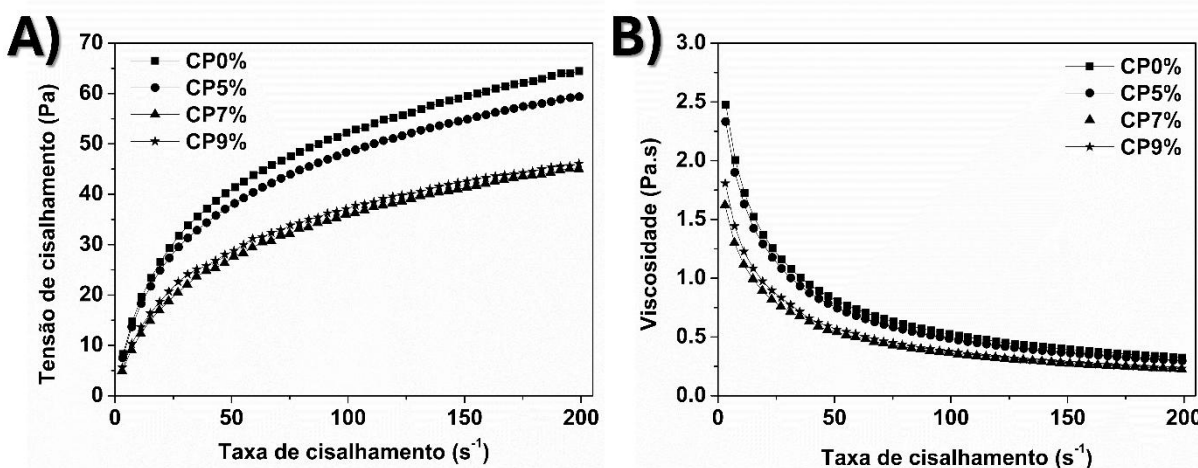
Fonte: elaborado pelo autor (2026). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as formulações propostas de acordo com Teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com o estudo de Tedesco et al. (2021), a análise da viscosidade e do comportamento de fluxo é fundamental para entender como a solução filmogênica se

comportará durante o processo de *casting* (espalhamento) e como isso influenciará as propriedades finais do filme.

Os valores de $n < 1$ (Tabela 3), aliados ao comportamento observado na curva de fluxo (Figura 9-A) e à elevada diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento (Figura 9-B), corroboram a afirmação de que todas as soluções filmogênicas analisadas têm caráter pseudoplástico. Segundo Liyanapathirana et al. (2023), o perfil pseudoplástico é crucial para a produção de filmes, pois facilita o espalhamento, ao mesmo tempo que evita o escoamento indesejado antes da secagem.

Figura 9. Comportamento reológico em relação a taxa e tensão de cisalhamento e viscosidade de soluções filmogênicas à base de galactomanana (GM) e amido de milho (AM).



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A redução do índice de consistência (k) (Tabela 3) observada com o aumento da concentração de pitaya pode estar associada à presença de açúcares e compostos de baixo peso molecular no concentrado, os quais atuam como plastificantes no sistema filmogênico (Azeredo et al., 2009).

Segundo Ployetchara e Gohtani (2018), os grupos hidroxila dos açúcares podem interagir com o amido por meio de ligações de hidrogênio, substituindo parcialmente moléculas de água e reduzindo a viscosidade da suspensão. Além disso, os plastificantes reduzem as interações inter e intramoleculares entre as cadeias poliméricas, aumentando a mobilidade molecular e diminuindo a rigidez da rede, o que favorece a redução da resistência ao escoamento do sistema. Comportamento semelhante foi discutido por Chang; Lim; Yoo (2004), que relatam que o açúcar interfere nas ligações de hidrogênio da água, retardando a reorganização das cadeias e alterando as propriedades reológicas.

Embora as curvas reológicas de CP-7% e CP-9% apresentem proximidade visual nas figuras 9-A e 9-B, a análise dos parâmetros de Ostwald-de Waele (Tabela 3) revela que o aumento da concentração de 7% para 9% de CP promoveu alterações significativas na estrutura da solução. O aumento de k e a redução de n sugerem que, em concentrações mais elevadas, novas interações moleculares voltam a fortalecer a rede polimérica (Sato; Miyawaki, 2008).

5.2 Características preliminares e colorimetria dos filmes de desintegração oral (FDO)

Todas as quatro formulações dos filmes estudados apresentaram boa capacidade de formação de filme, uma vez que exibiram aparência homogênea e uniforme (Tabela 4; Figura 10), não eram quebradiças e puderam ser retiradas das placas com facilidade.

As formulações desenvolveram um verso levemente mais brilhante, em decorrência do contato com a placa de acrílico. Segundo Villalobos et al. (2005) e Khwaldia et al. (2004), esse é um fenômeno característico do método de *casting*, pois a face do filme em contato com a placa tende a apresentar menor rugosidade, o que resulta numa maior reflexão especular da luz. Por outro lado, a evaporação do solvente na face exposta ao ar promove uma reorganização estrutural que aumenta a rugosidade superficial e, conseqüentemente, a reflexão difusa da luz, conferindo aspecto mais opaco.

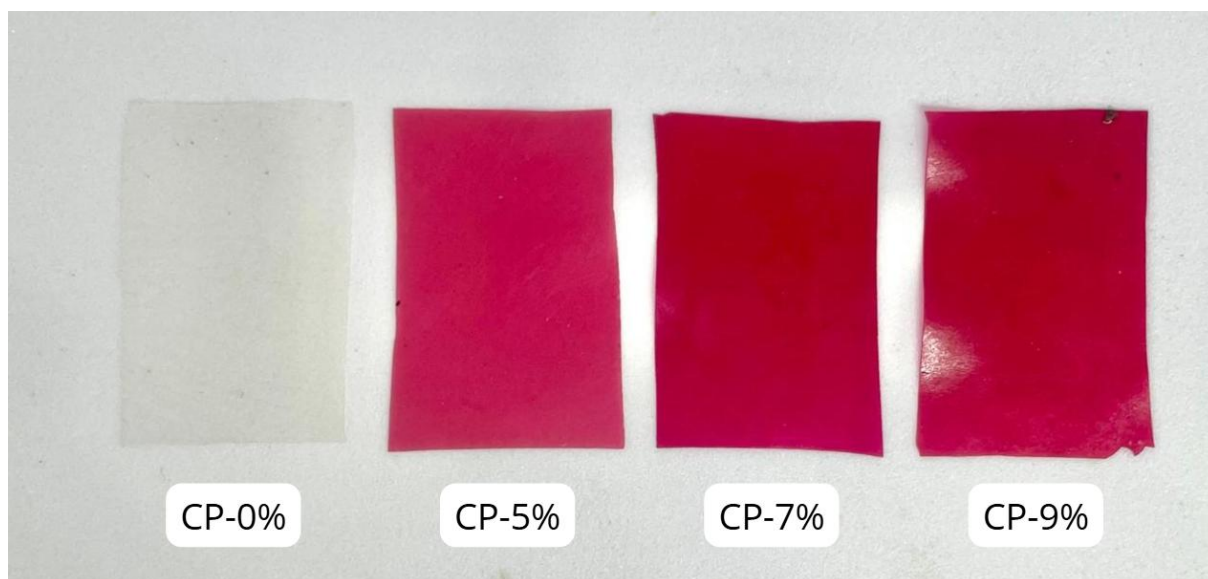
Observou-se também que, quanto maior a concentração de CP adicionada ao filme, maior era sua pegajosidade, sendo a formulação CP-9% caracterizada por aderir a si mesma (Tabela 4). O aumento da pegajosidade com a adição de CP está de acordo com os achados de Azeredo et al. (2009). Os autores atribuíram comportamento semelhante em filmes de polpa de manga à presença de açúcares de baixo peso molecular. Estes componentes atuam como plastificantes, reduzindo a coesão da matriz e aumentando a adsorção de umidade, o que resulta em uma superfície mais pegajosa.

Tabela 4. Características preliminares dos FDO com diferentes concentrações de CP.

Capacidade de formação de filme		Aparência física	Pegajosidade
Controle	Sim	Homogêneo e transparente	Não pegajoso
CP-5%	Sim	Homogêneo e cor vívida	Pouco pegajoso
CP-7%	Sim	Homogêneo e cor vívida	Pouco pegajoso
CP-9%	Sim	Homogêneo e cor vívida	Muito pegajoso

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Figura 10. Comparação visual entre FDO formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Os resultados colorimétricos (Tabela 5) revelam que a incorporação do concentrado de polpa de pitaya (CP) alterou significativamente a aparência dos filmes de desintegração oral. Houve uma queda progressiva nos valores de luminosidade (L^*) à medida que a concentração de CP aumentou, indicando a formação de filmes mais escuros.

Tabela 5. Parâmetros colorimétricos dos FDO formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya (CP).

Formulações	L^*	a^*	b^*	ΔE
CP-0%	$91,04 \pm 0,06^a$	$1,33 \pm 0,01^d$	$0,15 \pm 0,06^b$	-
CP-5%	$65,76 \pm 0,32^b$	$27,16 \pm 0,29^a$	$3,88 \pm 0,19^a$	$36,33 \pm 0,33^a$
CP-7%	$63,53 \pm 0,23^c$	$25,33 \pm 0,23^b$	$3,79 \pm 0,34^a$	$36,65 \pm 0,27^a$
CP-9%	$62,83 \pm 0,61^d$	$23,63 \pm 1,43^c$	$3,94 \pm 0,35^a$	$36,13 \pm 0,99^a$

Fonte: elaborado pelo autor (2026). L^* : luminosidade; a^* : tendência ao verde ou vermelho; b^* : tendência ao azul ou amarelo; ΔE : variação global da cor. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as formulações propostas de acordo com Teste de Tukey ($p < 0,05$).

O parâmetro a^* (transição do verde ao vermelho) apresentou um aumento expressivo em comparação ao controle (CP-0%), confirmando a influência dos pigmentos provenientes das betacianinas da pitaya na pigmentação dos filmes. Observou-se que a formulação CP-5% exibiu o maior valor de a^* , com redução nas concentrações subsequentes. Segundo Otálora et al. (2015), conforme a concentração de pigmentos aumenta, a matriz torna-se mais opaca (redução de L^*), aumentando a absorção de luz e reduzindo a refletância

necessária para a determinação dos índices de cromaticidade, como o a^* . Esse comportamento sugere que concentrações mais elevadas de CP podem levar ao escurecimento excessivo da matriz polimérica, mascarando a intensidade do vermelho para o colorímetro.

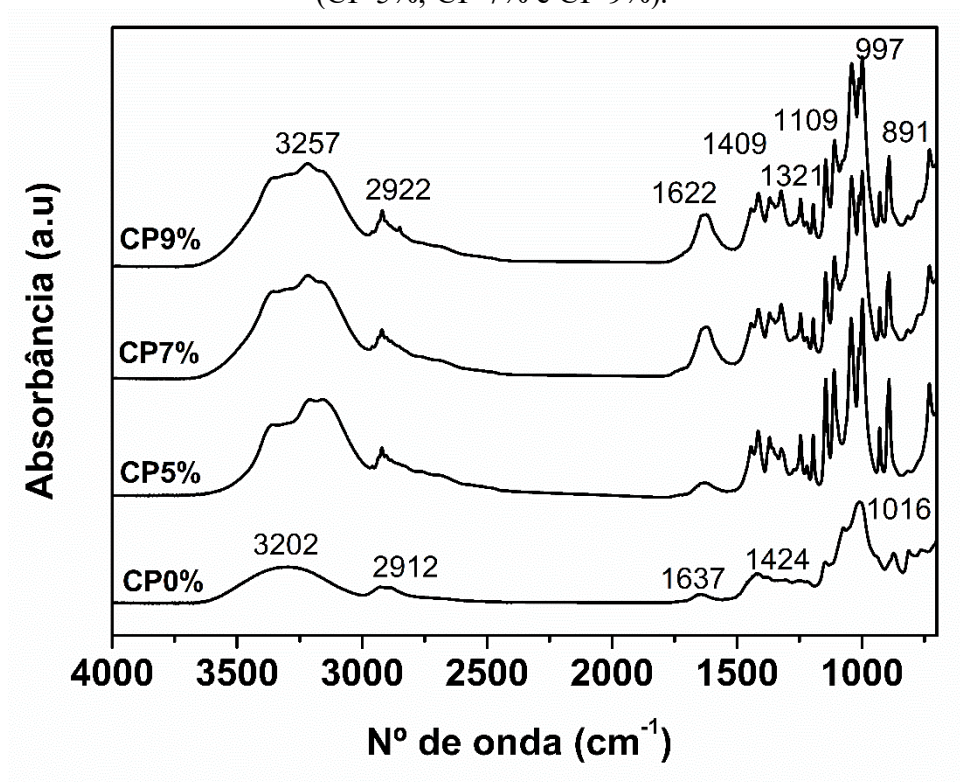
O parâmetro b^* (transição do azul ao amarelo) também aumentou com a adição de CP, indicando tendência ao amarelo, porém sem variação significativa entre as maiores concentrações. Os resultados da interação entre os três parâmetros foram colorações rosadas ou avermelhadas-púrpuras, características dos pigmentos presentes na pitaya.

Os valores de ΔE (variação global da cor) evidenciam que a adição de CP alterou a coloração dos filmes de maneira expressiva. Todas as formulações contendo CP apresentaram valores de ΔE próximos de 36, sem diferença significativa entre si ($p > 0,05$). De acordo com Mokrzycki e Tatol (2011), valores de ΔE superiores a 5 correspondem a diferenças de cor claramente perceptíveis ao observador. Dessa forma, a ausência de diferenças significativas entre as formulações contendo CP sugere que a redução da luminosidade (L^*) e as pequenas alterações nos parâmetros a^* e b^* não foram suficientes para aumentar significativamente a diferença global de cor em relação ao filme controle.

5.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR revelou alterações nos perfis espectrais dos filmes após a incorporação do concentrado de pitaya (Figura 11), indicando interações intermoleculares entre os constituintes da matriz polimérica e os compostos presentes no concentrado.

Figura 11. Espectros de FTIR dos filmes controle (CP-0%) e aditivados com concentrado (CP-5%, CP-7% e CP-9%).



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Observou-se uma banda larga na região entre 3200 e 3300 cm^{-1} , característica do estiramento de grupos hidroxila (O–H), típica de polissacarídeos e moléculas de água associadas à matriz (He et al., 2012). Com o aumento da concentração de CP, verificou-se deslocamento dessa banda de 3202 cm^{-1} (CP-0%) para 3257 cm^{-1} (CP-9%), além de alterações em sua intensidade. Esse comportamento sugere que a incorporação do CP aumentou a contribuição de grupos hidroxila no sistema, favorecendo a reorganização das interações intermoleculares, principalmente por meio de ligações de hidrogênio entre os componentes da matriz polimérica e os compostos presentes no concentrado (Qureshi et al., 2021).

Na região próxima de 2912–2922 cm^{-1} foram observadas bandas relacionadas ao estiramento assimétrico de ligações C–H de grupos alifáticos, típicos da cadeia carbônica de polissacarídeos (Radzki et al., 2019). O aumento da intensidade e definição geométrica dessas bandas sugere maior contribuição de compostos orgânicos provenientes do CP na matriz dos filmes (Kanmani; Rhim, 2014).

Também foram identificadas bandas na região entre 1600 e 1650 cm^{-1} . No filme controle, observou-se uma banda de baixa intensidade em 1637 cm^{-1} , frequentemente associada à presença de água fortemente ligada à matriz ou a estiramentos de carbonilas residuais (Fang et al., 2002 e Šárka et al., 2023). Nas amostras contendo CP, essa banda deslocou-se para 1622

cm^{-1} e apresentou um aumento acentuado de intensidade de forma dose-dependente. Esse pico pode estar associado ao estiramento de ligações $\text{C}=\text{C}$ de estruturas aromáticas e/ou de ligações $\text{C}=\text{O}$ conjugadas presentes em compostos fenólicos, o que sugere a incorporação bem-sucedida de compostos bioativos e pigmentos naturais provenientes do concentrado (Canizales-Rodríguez et al., 2024).

Na sequência, o desdobramento e o deslocamento da banda de 1424 cm^{-1} para 1409 cm^{-1} , juntamente com o surgimento do sinal em 1321 cm^{-1} nos filmes com CP, sugerem possíveis rearranjos conformacionais e deformações angulares induzidas pela interação entre os componentes das formulações (Wahlström et al., 2020 e Ghosh; Bhattacharya; Mukhopadhyay, 2021).

As mudanças mais evidentes ocorreram na região entre 900 e 1150 cm^{-1} . A banda larga observada em 1016 cm^{-1} no espectro do CP-0% é típica de estiramentos $\text{C}-\text{O}$ e $\text{C}-\text{C}$ de anéis piranosídicos de carboidratos estruturais (Kačuráková et al., 2000). Nas formulações contendo CP, essa banda sofreu um desdobramento nítido, originando picos mais intensos e agudos em 1109 cm^{-1} e 997 cm^{-1} , além do surgimento de uma nova banda em 891 cm^{-1} . O aumento da intensidade e melhor definição dessas bandas nos filmes contendo maiores concentrações de CP sugerem maior contribuição de açúcares e compostos carboidratados provenientes da pitaya, além de possível reorganização estrutural da rede polimérica ocasionada pela incorporação do concentrado (Čopíková et al., 2006).

Adicionalmente, a banda em 891 cm^{-1} apresentou maior intensidade relativa na formulação CP-5% em comparação às formulações CP-7% e CP-9%. Esse comportamento pode indicar que, em concentrações intermediárias de CP, houve uma interação mais homogênea entre os compostos do concentrado e a matriz polimérica, favorecendo uma organização estrutural mais estável (Bokobza, 2022). Em concentrações superiores, a redução relativa dessa banda pode estar associada a um efeito de saturação da matriz, com possível excesso de sólidos solúveis e reorganização da rede polimérica (Chen; Hay; Jenkins, 2012), em concordância com os resultados reológicos observados para essas formulações.

De modo geral, os espectros apresentaram bandas características de polissacarídeos, atribuídas principalmente à galactomanana, ao amido e aos compostos bioativos provenientes da pitaya.

A análise de FTIR confirmou as hipóteses levantadas no ensaio reológico, corroborando que a incorporação do concentrado de pitaya modifica a organização estrutural e as forças intermoleculares da matriz polimérica.

5.4 pH de superfície, tempo de desintegração, umidade e espessura

De acordo com a Tabela 6, a formulação controle (CP-0%) apresentou pH de superfície básico (8,27). No entanto, a incorporação de CP resultou numa redução expressiva no pH da formulação CP-5%, se estabilizando nas concentrações mais elevadas e não apresentando diferença significativa entre CP-7% e CP-9% ($p > 0,05$).

Tabela 6. pH de superfície, tempo de desintegração, umidade e espessura dos FDO formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya.

Formulações	Tempo de desintegração (s)	Umidade (%)	Espessura (μm)	pH de superfície
CP-0%	$92,14 \pm 2,56^c$	$16,25 \pm 1,32^a$	$46,00 \pm 1,00^d$	$8,27 \pm 0,21^a$
CP-5%	$97,50 \pm 6,15^c$	$9,88 \pm 0,86^b$	$127,67 \pm 1,53^c$	$6,05 \pm 0,13^b$
CP-7%	$134,84 \pm 1,37^b$	$9,33 \pm 0,22^b$	$142,00 \pm 2,00^b$	$5,52 \pm 0,14^c$
CP-9%	$243,24 \pm 5,44^a$	$10,84 \pm 0,52^b$	$159,67 \pm 0,58^a$	$5,49 \pm 0,03^c$

Fonte: autor (2026). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as formulações propostas de acordo com Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Acerca do tempo de desintegração, as formulações CP-0% e CP-5% não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$). A partir da formulação CP-7%, houve um aumento expressivo no tempo de desintegração, atingindo o máximo na formulação CP-9%. Segundo Bhattarai e Gupta (2015), filmes orodispersíveis de rápida liberação devem apresentar desintegração em até 60 s. Em contrapartida, trabalhos como o de Hoffmann, Breitenbach e Breitreutz (2011) mencionam um tempo limite de 180 s para a desintegração de filmes orodispersíveis. No presente estudo, os tempos observados variaram entre $92,14 \pm 2,56$ s e $243,24 \pm 5,44$ s. A visível relação entre o aumento do concentrado e do tempo de desintegração sugere que a incorporação do CP influencia diretamente esse parâmetro. Correlacionando esse comportamento com a espessura dos filmes, é esperado que amostras mais espessas apresentem maior quantidade de material a ser hidratado e desestruturado, conforme relatado por Zhang et al. (2018).

Além disso, conforme descrito por Hoke, Benjakul e Prodpran (2011), compostos fenólicos presentes em extratos naturais podem interagir com a matriz polimérica, promovendo redução na solubilidade dos filmes. De forma complementar, Ma, Wang e Fan (2026) relatam que as hidroxilas fenólicas formam ligações de hidrogênio com os grupos $-\text{OH}$ do amido, fortalecendo as interações intermoleculares e a estrutura do filme, consequentemente aumentando sua resistência à penetração de água.

Na perspectiva da aplicação oral, a manutenção do pH de superfície em faixa levemente ácida a neutra é importante para a biocompatibilidade com a mucosa bucal, uma vez que o pH fisiológico da cavidade oral situa-se aproximadamente entre 5,5 e 7,4, enquanto formulações excessivamente ácidas ou alcalinas podem causar irritação local (Safhi et al., 2023). Além de seguro, o pH levemente ácido mimetiza um estímulo gustatório azedo que atua diretamente nas glândulas salivares (Pedersen et al., 2018). Essa indução do fluxo salivar (salivação reflexa) é altamente vantajosa para os FDO, pois favorece a hidratação da matriz polimérica e acelera a desintegração do sistema na cavidade oral (Irfan et al., 2016).

A queda acentuada do pH de superfície com o aumento da concentração de CP (Tabela 6) está de acordo com o observado por Jamilah et al. (2011), que atribuem essa acidez à presença natural de ácidos orgânicos como o cítrico e o málico no fruto. Além disso, a manutenção do pH na faixa de 5,5 (formulações CP-7% e CP-9%) é favorável à estabilidade das betalainas, conforme descrito por Azeredo et al. (2009), garantindo a retenção da cor e das propriedades antioxidantes do filme.

No que diz respeito à umidade, a formulação CP-0% apresentou o maior teor (16,25%), diferenciando-se estatisticamente ($p < 0,05$) de todas as formulações contendo CP. Com a adição de 5%, 7% e 9% de concentrado de pitaya, observou-se uma redução nos teores de umidade para valores próximos a 10%. No entanto, dentre essas três formulações, não houve diferença significativa detectada ($p > 0,05$). Esse comportamento sugere que a incorporação de sólidos solúveis pode ter influenciado a matriz polimérica, reorganizando a estrutura e diminuindo a disponibilidade de grupos hidrofílicos livres, conforme descrito por Mali, Grossmann e Yamashita (2010).

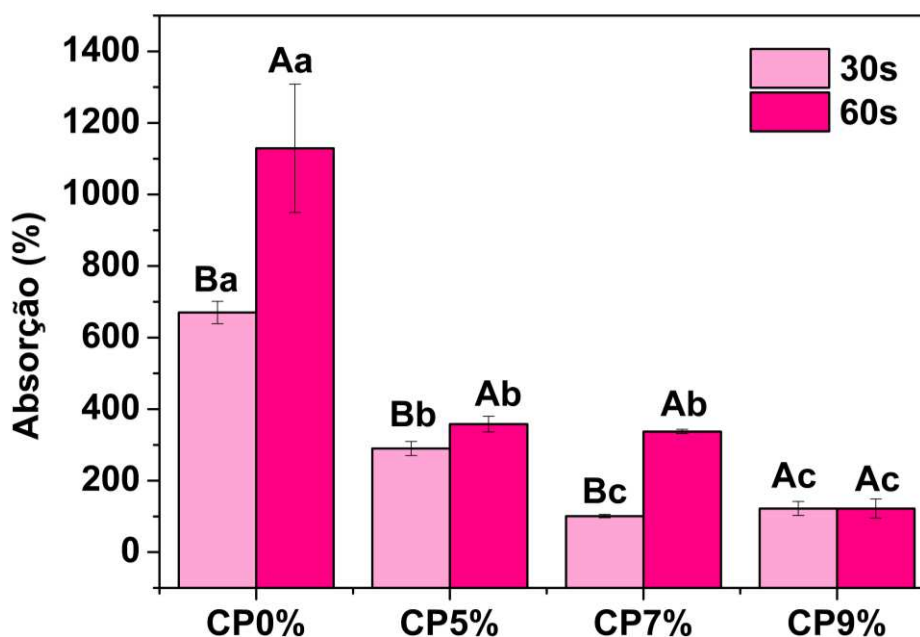
Segundo Jiang et al. (2022), a incorporação de compostos derivados da pitaya pode promover uma matriz mais coesa e com menor capacidade de absorção de água, efeito também observado em filmes à base de pectina de pitaya.

A espessura dos filmes aumentou significativamente com a adição do concentrado de pitaya (CP). Conforme apresentado na Tabela 6, os valores variaram de 46,00 μm , na amostra controle (CP-0%), a 159,67 μm na formulação com maior teor de concentrado (CP-9%). Esse aumento está diretamente associado ao aumento do teor de sólidos totais na formulação após a adição do concentrado de pitaya. Esse comportamento é descrito por Nogueira et al. (2022), que relatam que a incorporação de extratos naturais em matrizes poliméricas eleva a quantidade de material seco por unidade de área, resultando em filmes com maior espessura.

5.5 Absorção de fluidos orais

Na Figura 12, são apresentados os resultados do ensaio de absorção de fluidos orais das formulações de FDO em dois tempos de imersão (30 e 60 segundos).

Figura 12. Capacidade de absorção de fluidos orais das formulações de FDO em diferentes tempos de imersão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os tempos para a mesma formulação, enquanto letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as formulações no mesmo tempo (Tukey, $p < 0,05$).

Para que um FDO funcione corretamente, os polímeros hidrofílicos que formam a sua matriz precisam ter a capacidade de absorver os fluidos orais rapidamente. Essa penetração de moléculas de água faz com que o filme sofra um processo de entumescimento (*swelling*), aumentando de volume (Rani et al., 2021). Em contrapartida, o excesso de entumescimento pode comprometer a aceitabilidade sensorial do sistema. Morales e McConville (2011) relatam que a elevada hidratação da matriz polimérica leva à formação de uma mucilagem escorregadia, a qual pode resultar em sensação oral desagradável no consumidor.

O filme controle (CP-0%) apresentou os maiores valores de absorção, saltando de aproximadamente 660% aos 30 s para mais de 1100% aos 60 s, evidenciando o caráter altamente hidrofílico e a capacidade de entumescimento da matriz polimérica base.

Nas formulações CP-5% e CP-7%, houve uma queda na capacidade de absorção em ambos os tempos avaliados. Tal comportamento pode ser atribuído à interação dos

constituintes do CP com os grupos hidrofílicos dos polímeros base, diminuindo a disponibilidade de sítios ativos livres para ligação com a água, conforme discutido na seção anterior. Apesar de reduzido, o percentual de absorção das formulações intermediárias continuou significativo, demonstrando que o processo continuou ativo.

A formulação que demonstrou menor percentual de absorção (próximo a 100%) foi a CP-9%, que não apresentou diferença estatística significativa entre os tempos de 30 s e 60 s ($p > 0,05$). Esse comportamento pode ser correlacionado aos parâmetros reológicos de FTIR observados para a CP-9%, os quais indicam uma saturação da matriz polimérica devido ao elevado teor de sólidos do CP. Essa organização estrutural tende a dificultar a penetração e a absorção dos fluidos orais, limitando o entumescimento e a desintegração precoce do filme em relação às formulações com menores teores do concentrado.

5.6 Propriedades mecânicas e mucoadesividade

De acordo com Dixit e Puthli (2009), características como resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade são essenciais para garantir que os filmes apresentem integridade física adequada durante o transporte e armazenamento. Tais características influenciam diretamente a qualidade, facilidade de manuseio, embalagem adequada e precisão da dosagem dos FDO (Castro et al., 2017).

De acordo com Rashid et al. (2023), FDO devem apresentar resistência à tração suficiente para serem manuseados, transportados e armazenados em condições íntegras. No entanto, também é citado que filmes muito rígidos podem trazer desconforto sensorial para os consumidores. Os valores de tensão de ruptura obtidos (Tabela 7) evidenciam uma redução progressiva no parâmetro com o aumento da concentração de CP nas formulações, sugerindo que a incorporação desse componente contribui para a diminuição da resistência mecânica dos filmes.

Tabela 7. Propriedades mecânicas e mucoadesividade dos FDO formulados com diferentes concentrações de concentrado de polpa de pitaya.

Formulações	Propriedades Mecânicas		Mucoadesividade	
	Tensão de ruptura (MPa)	Elasticidade (%)	Força (N)	Joule (N. mm)
CP-0%	15,68 ± 0,31 ^a	47,49 ± 4,55 ^b	0,97 ± 0,07 ^a	0,39 ± 0,04 ^a
CP-5%	2,77 ± 0,01 ^b	110,04 ± 8,51 ^a	0,94 ± 0,12 ^{ab}	0,16 ± 0,01 ^{bc}
CP-7%	1,93 ± 0,11 ^c	120,22 ± 13,95 ^a	0,73 ± 0,07 ^b	0,20 ± 0,02 ^b
CP-9%	1,75 ± 0,05 ^c	126,79 ± 0,85 ^a	0,85 ± 0,06 ^{ab}	0,11 ± 0,01 ^c

Fonte: elaborado pelo autor (2026). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as formulações propostas de acordo com Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Sobre a elasticidade, Turković et al. (2021) destacam que o parâmetro está diretamente ligado à flexibilidade e integridade mecânica dos filmes, sendo essencial para garantir manuseio e aplicação adequados. Ademais, os autores pontuam a necessidade de um equilíbrio entre elasticidade e resistência mecânica, pois valores muito baixos de elasticidade indicam filmes mais rígidos e quebradiços, enquanto valores muito elevados podem indicar filmes excessivamente flexíveis e de pouca resistência.

Os valores obtidos para elasticidade (Tabela 7) destacam um aumento acentuado nas formulações contendo CP, não havendo diferença significativa nos valores obtidos para CP-5%, CP-7% e CP-9% ($p > 0,05$).

A redução da tensão de ruptura e o aumento da elasticidade observados com a incorporação de CP podem ser explicados pela modificação das interações intermoleculares na matriz do filme. De acordo com Singh et al. (2022), a adição de compostos externos em filmes com amido pode reduzir as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas e aumentar sua mobilidade, resultando em materiais menos resistentes e mais flexíveis. Esse comportamento é frequentemente associado ao efeito plastificante promovido por substâncias de baixo peso molecular, como açúcares e ácidos orgânicos, que diminuem a coesão da matriz polimérica (Sessini et al. 2016).

O comportamento apresentado está de acordo com a teoria da plastificação descrita por Azeredo et al. (2009), onde a inserção de moléculas de baixo peso molecular entre as cadeias de polímero reduz as interações intermoleculares e aumenta o volume livre da matriz. Tais resultados sugerem um efeito sinérgico entre o sorbitol (adicionado como plastificante primário) e os açúcares de baixo peso molecular do CP, tornando os filmes mais elásticos.

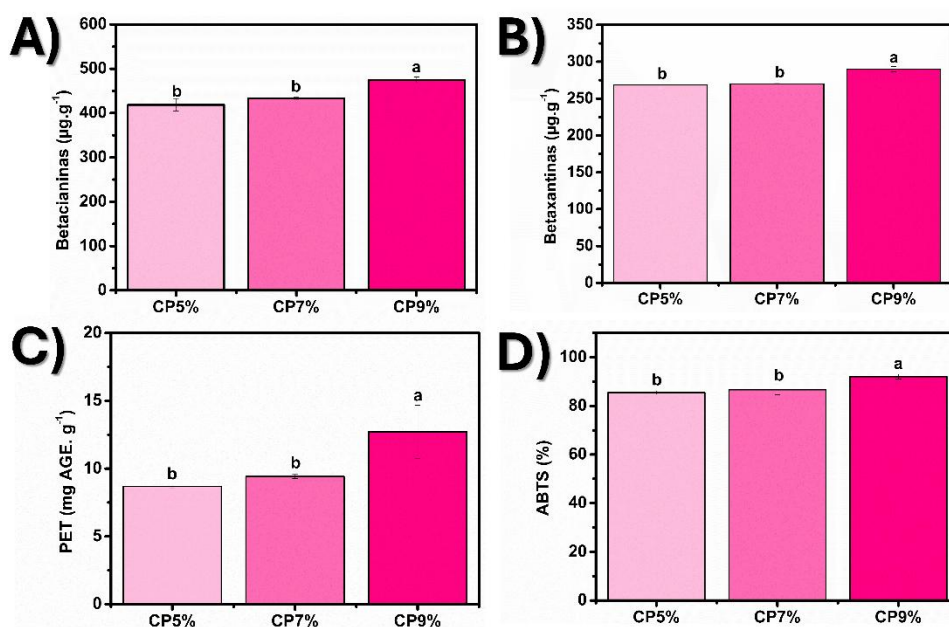
No que diz respeito às características mucoadesivas, Alaei e Omidian (2021) apontam que essas propriedades são essenciais na produção, administração e desempenho de filmes destinados à aplicação na mucosa oral. Conforme apresentado na Tabela 7, os valores de força mucoadesiva demonstram que a adição do CP promoveu uma sutil redução na força de adesão, com uma queda estatisticamente relevante apenas na concentração de 7% ($0,73 \pm 0,07$ N). Entretanto, o aumento para 9% ($0,85 \pm 0,06$ N) não promoveu redução adicional significativa, sugerindo que o efeito não ocorreu de forma linear. Quanto ao trabalho de adesão, a incorporação do CP causou um impacto negativo imediato nesse parâmetro. O filme controle (CP-0%) exibiu o maior valor de trabalho ($0,39 \pm 0,04$ N.mm), diferindo estatisticamente das demais formulações ($p < 0,05$).

Embora a incorporação do CP tenha reduzido os parâmetros de mucoadesividade, especialmente o trabalho de adesão, essa diminuição não necessariamente representa uma desvantagem tecnológica. Segundo Remiro et al. (2023), FDO são desenvolvidos para rápida hidratação e desintegração na cavidade oral, não exigindo adesão prolongada à mucosa. Assim, uma mucoadesividade moderada pode ser suficiente para manter o filme temporariamente no local de aplicação sem comprometer sua rápida desintegração e liberação dos compostos bioativos (Palezi; Fernandes; Martins, 2023; Shipp et al., 2022).

5.7 Compostos bioativos e atividade antioxidante

Os resultados referentes aos teores de compostos bioativos e capacidade antioxidante das formulações de FDO estão apresentados na Figura 13. De maneira geral, observou-se que o incremento na concentração de CP promoveu um aumento positivo em todos os parâmetros analisados.

Figura 13. Conteúdo de betacianinas (A), betaxantinas (B), PET (C) e atividade antioxidante (D) dos FDO formulados com diferentes concentrações de concentrado de pitaya.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as formulações propostas de acordo com Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto ao teor de betacianinas (Figura 13-A) e betaxantinas (Figura 13-B), a formulação CP-9% apresentou os maiores valores ($474,83 \mu\text{g/g}$ e $290,03 \mu\text{g/g}$, respectivamente), apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) em relação às outras

formulações. As amostras CP-5% e CP-7% não apresentaram diferença significativa entre si, indicando que teores intermediários de adição de CP mantêm perfis pigmentares semelhantes.

O conteúdo de compostos fenólicos totais (PET) (Figura 13-C) seguiu a mesma tendência, com a formulação CP-9% atingindo valores superiores (~12,72 mg AGE/g). Embora o aumento da fração de CP eleve a densidade de metabólitos secundários (betacianinas e compostos fenólicos) na matriz, observou-se que as formulações CP-5% e CP-7% não apresentaram diferença significativa entre si ($p > 0,05$). Isso sugere que o incremento de 2% na concentração do extrato não foi suficiente para alterar o perfil fenólico na matriz polimérica, sendo necessário atingir a concentração de 9% para obter um ganho estatisticamente superior.

A atividade antioxidante, mensurada pelo método ABTS (Figura 13-D), confirmou o potencial funcional das formulações. A amostra CP-9% exibiu a maior capacidade de sequestro de radicais livres (92%), diferenciando-se estatisticamente das outras formulações. Esse resultado sugere que a presença de pigmentos betalaínicos e compostos fenólicos está diretamente relacionado com o potencial antioxidante dos FDO.

Segundo Esquivel et al. (2007), os compostos fenólicos presentes na pitaya vermelho-púrpura apresentam influência na capacidade antioxidante do fruto. Os autores verificaram que as betalaínas são as principais responsáveis pela atividade antioxidante dos sucos de pitaya roxa, enquanto os compostos fenólicos não relacionados às betalaínas exercem menor contribuição. Dessa forma, a alta capacidade antioxidante presente na pitaya pode estar diretamente associada ao seu elevado teor de betalaínas, conforme também relatado por Vaillant et al. (2005).

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no desenvolvimento e na caracterização dos filmes de desintegração oral (FDO) à base de amido de milho (AM) e galactomanana (GM) de *Caesalpinia pulcherrima* incorporados com concentrado de pitaya vermelha (CP), foi possível constatar que a elaboração dos FDO pelo método de *casting* foi realizada com sucesso, gerando matrizes homogêneas e com boa capacidade de formação de filme. As soluções filmogênicas demonstraram um comportamento reológico pseudoplástico, característica que otimiza o espalhamento do material em placas. Além disso, as análises de FTIR confirmaram a incorporação efetiva dos compostos bioativos na matriz polimérica.

A adição do CP reduziu o pH de superfície dos filmes para uma faixa levemente ácida (~5,5), o que favorece tanto a estabilidade química das betalainas quanto a biocompatibilidade com a mucosa oral. O aumento da concentração do CP resultou em um incremento progressivo da espessura dos filmes, assim como uma redução significativa do teor de umidade e da capacidade de absorção de fluidos orais. Esse comportamento sugere uma reorganização estrutural da matriz que limita a penetração precoce de água.

As formulações apresentaram boas características mucoadesivas para aplicação como FDO. Adicionalmente, todos os filmes aditivados demonstraram incrementos expressivos nos teores de betacianinas, betaxantinas, polifenóis extraíveis totais e na capacidade de sequestro de radicais livres pelo método ABTS. Embora a formulação CP-9% tenha exibido o maior potencial antioxidante (>90%) e a maior concentração de bioativos, ela comprometeu significativamente atributos tecnológicos essenciais, resultando em pegajosidade excessiva, baixa capacidade de entumescimento e um tempo de desintegração muito elevado (243,24 s), ultrapassando os limites recomendados na literatura para sistemas orodispersíveis de rápida liberação.

Assim, as formulações CP-5% e CP-7% apresentaram características intermediárias mais adequadas para aplicação como FDO, combinando facilidade no manuseio, boas características visuais e mecânicas, potencial nutracêutico e tempo de desintegração viável para a proposta de uso.

REFERÊNCIAS

- ABREU, W. C. de; LOPES, C. de O.; PINTO, K. M.; OLIVEIRA, L. A.; CARVALHO, G. B. M. de; BARCELO, M. de F. P. Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitaias vermelha e branca. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 4, p. 656–661, 2012. <https://doi.org/10.53393/rial.2012.71.32480>
- ALAEI, S.; OMIDIAN, H. Mucoadhesion and Mechanical Assessment of Oral Films. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 159, p. 105727, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2021.105727>
- ALBUQUERQUE, P. B. S.; CERQUEIRA, M. A.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Immobilization of bioactive compounds in *Cassia grandis* galactomannan-based films: Influence on physicochemical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 727–735, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.12.081>
- ALHAYALI, A.; VUDDANDA, P. R.; VELAGA, S. Silodosin oral films: Development, physico-mechanical properties and in vitro dissolution studies in simulated saliva. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 53, p. 101122, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.06.019>
- ARYA, A.; CHANDRA PH.D, A.; SHARMA, V.; PATHAK, K. Fast Dissolving Oral Films: An Innovative Drug Delivery System and Dosage Form. **International Journal of ChemTech Research**, v. 2, p. 576–583, 2010.
- AZEREDO, H. M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- AZEREDO, H. M. C.; MATTOSO, L. H. C.; WOOD, D.; WILLIAMS, T. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; MCHUGH, T. H. Nanocomposite Edible Films from Mango Puree Reinforced with Cellulose Nanofibers. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 5, p. N31–N35, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01186.x>
- AZLIM, N. A.; MOHAMMADINAFCHI, A.; OLADZADABBASABADI, N.; ARIFFIN, F.; GHALAMBOR, P.; JAFARZADEH, S.; AL-HASSAN, A. A. Fabrication and characterization of a pH-sensitive intelligent film incorporating dragon fruit skin extract. **Food Science & Nutrition**, v. 10, n. 2, p. 597–608, 2021. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2680>
- BALA, R.; PAWAR, P.; KHANNA, S.; ARORA, S. Orally dissolving strips: A new approach to oral drug delivery system. **International Journal of Pharmaceutical Investigation**, v. 3, n. 2, p. 67–76, 2013. <https://doi.org/10.4103/2230-973X.114897>
- BERTOTTO, C.; BILCK, A. P.; YAMASHITA, F.; ANJOS, O.; BAKAR SIDDIQUE, M. A.; HARRISON, S. M.; BRUNTON, N. P.; CARPES, S. T. Development of a biodegradable plastic film extruded with the addition of a Brazilian propolis by-product. **LWT**, v. 157, p. 113124, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113124>

BHATTARAI, M.; GUPTA, A. K. Fast Dissolving Oral Films: A Novel Trend to Oral Drug Delivery System. **Sunsari Technical College Journal**, v. 2, n. 1, p. 58–68, 2015. <https://doi.org/10.3126/stcj.v2i1.14802>

BLIBECH, M.; MAKTOUF, S.; CHAARI, F.; ZOUARI, S.; NEIFAR, M.; BESBES, S.; GHORBEL, R. Functionality of galactomannan extracted from Tunisian carob seed in bread dough. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0966-2>

BOKOBZA, L. Infrared Linear Dichroism for the Analysis of Molecular Orientation in Polymers and in Polymer Composites. **Polymers**, v. 14, n. 6, p. 1257, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14061257>

BORGES, J. C.; DE ALMEIDA CAMPOS, L. A.; KRETZSCHMAR, E. A. M.; CAVALCANTI, I. M. F. Incorporation of essential oils in polymeric films for biomedical applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 269, p. 132108, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132108>

BRODKORB, A. et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols**, v. 14, n. 4, p. 991–1014, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>

CANIZALES-RODRÍGUEZ, D. F.; RODRÍGUEZ-FÉLIX, F.; TAPIA-HERNÁNDEZ, J. A.; DEL-TORO-SÁNCHEZ, C. L.; RUÍZ-CRUZ, S.; AUBOURG, S. P.; OCAÑO-HIGUERA, V. M.; SILVAS-GARCÍA, M. I.; FIGUEROA-ENRÍQUEZ, C. E.; ÁLVAREZ-MORENO, M. G. Poly (Lactic Acid) Fibrous Film with Betalains from Pitaya (*Stenocereus thurberi*) by Electrospinning for Potential Use as Smart Food Packaging. **Coatings**, v. 14, n. 12, p. 1581, 2024. <https://doi.org/10.3390/coatings14121581>

CASTRO, P. M.; FONTE, P.; OLIVEIRA, A.; MADUREIRA, A. R.; SARMENTO, B.; PINTADO, M. E. Optimization of two biopolymer-based oral films for the delivery of bioactive molecules. **Materials Science and Engineering: C**, v. 76, p. 171–180, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.02.173>

CERQUEIRA, M. A.; BOURBON, A. I.; PINHEIRO, A. C.; MARTINS, J. T.; SOUZA, B. W. S.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 12, Special section: Recent developments in food science and technology in Japan, p. 662–671, 2011 a. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.07.002>

CERQUEIRA, M. A.; PINHEIRO, A. C.; SOUZA, B. W. S.; LIMA, Á. M. P.; RIBEIRO, C.; MIRANDA, C.; TEIXEIRA, J. A.; MOREIRA, R. A.; COIMBRA, M. A.; GONÇALVES, M. P.; VICENTE, A. A. Extraction, purification and characterization of galactomannans from non-traditional sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 3, p. 408–414, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.07.036>

CERQUEIRA, M. A.; SOUZA, B. W. S.; SIMÕES, J.; TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, M. R. M.; COIMBRA, M. A.; VICENTE, A. A. Structural and thermal characterization of galactomannans from non-conventional sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 1, p. 179–185, 2011 b. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.036>

CHANG, Y. H.; LIM, S. T.; YOO, B. Dynamic rheology of corn starch–sugar composites. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 521–527, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.017>

CHEN, J.; YUAN, Y.; XIE, F.; ZHANG, Z.; CHEN, J.; ZHANG, R.; ZHAO, J.; HU, G.; QIN, Y. Metabolic Profiling of Organic Acids Reveals the Involvement of HuIPMS2 in Citramalic Acid Synthesis in Pitaya. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 167, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020167>

CHEN, Z.; HAY, J. N.; JENKINS, M. J. FTIR spectroscopic analysis of poly(ethylene terephthalate) on crystallization. **European Polymer Journal**, v. 48, n. 9, p. 1586–1610, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.06.006>

CHENG, Y.; PRUD'HOMME, R. K.; CHIK, J.; RAU, D. C. Measurement of Forces between Galactomannan Polymer Chains: Effect of Hydrogen Bonding. **Macromolecules**, v. 35, n. 27, p. 10155–10161, 2002. <https://doi.org/10.1021/ma020887e>

CHOI, H. M.; YOO, B. Effect of various gums on flow properties and yield stress of Korean sweet potato starch. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, v. 38, n. 9, p. 1253–1257, 2009. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.9.1253>

ČOPIKOVÁ, J.; BARROS, A. S.; ŠMÍDOVÁ, I.; ČERNÁ, M.; TEIXEIRA, D. H.; DELGADILLO, I.; SYNITSYA, A.; COIMBRA, M. A. Influence of hydration of food additive polysaccharides on FT-IR spectra distinction. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n. 3, p. 355–359, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.08.049>

COTTOM, J. W.; COOK, E.; VELIS, C. A. A local-to-global emissions inventory of macroplastic pollution. **Nature**, v. 633, n. 8028, p. 101–108, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07758-6>

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 945–954, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>

DÍAZ-MONTES, E. Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, and Their Application in Biodegradable Films. **Polysaccharides**, v. 3, n. 3, p. 480–501, 2022. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3030029>

DIXIT, R. P.; PUTHLI, S. P. Oral strip technology: Overview and future potential. **Journal of Controlled Release**, v. 139, n. 2, p. 94–107, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2009.06.014>

DOS SANTOS ARAUJO, E.; DE MATOS FONSECA, J.; MONTEIRO, A. R.; VALENCIA, G. A. Galactomannans: A Suitable Biopolymer to Produce Advanced Food Packaging. **International Journal of Food Science**, v. 2025, p. 9577986, 2025. <https://doi.org/10.1155/ijfo/9577986>

DOS SANTOS, V. R. F.; SOUZA, B. W. S.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A.; CERQUEIRA, M. A. Relationship between galactomannan structure and physicochemical

properties of films produced thereof. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 12, p. 8292–8299, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1961-6>

ESATBEYOGLU, T.; WAGNER, A. E.; MOTAFAKKERAZAD, R.; NAKAJIMA, Y.; MATSUGO, S.; RIMBACH, G. Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells. **Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 73, p. 119–126, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.08.007>

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) Genotypes. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 62, n. 9–10, p. 636–644, 2007. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>

FANG, J. M.; FOWLER, P. A.; TOMKINSON, J.; HILL, C. A. S. The preparation and characterisation of a series of chemically modified potato starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 47, n. 3, p. 245–252, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00187-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00187-4)

FLORES GARCÍA, Y.; MARTÍN DEL CAMPO SOLÍS, M. F.; GÓMEZ-ANGULO, J. H.; MARTÍNEZ PRECIADO, A. H.; SILVA-JARA, J. M.; PADILLA DE LA ROSA, J. D.; ESCALANTE-GARCIA, Z. Y. Industrial Applications, Principal Sources, and Extraction of Galactomannans: A Review. **Foods**, v. 14, n. 9, p. 1587, 2025. <https://doi.org/10.3390/foods14091587>

FONSECA, L. M.; HALAL, S. L. M. E.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. da R. Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 274, p. 118665, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>

FREITAS, B. L. S.; ALMEIDA, N. P.; HADDAD, F. F.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Evaluation of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) Oil as an Additive for Carbohydrate-Based Biodegradable Films. **Foods**, v. 14, n. 24, p. 4330, 2025. <https://doi.org/10.3390/foods14244330>

FUNAMI, T.; KATAOKA, Y.; OMOTO, T.; GOTO, Y.; ASAI, I.; NISHINARI, K. Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. 2a. Functions of guar gums with different molecular weights on the gelatinization behavior of corn starch. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 1, p. 15–24, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.008>

GARSUCH, V.; BREITKREUTZ, J. Comparative investigations on different polymers for the preparation of fast-dissolving oral films. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 62, n. 4, p. 539–545, 2010. <https://doi.org/10.1211/jpp.62.04.0018>

GHOSH, B.; BHATTACHARYA, D.; MUKHOPADHYAY, M. Fabrication of natural polysaccharide based hydrogel with utility to entrap pollutants. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1797, n. 1, p. 012060, 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1797/1/012060>

- GOMES, R. S.; DE CARVALHO, A. M.; FRANÇA LIMA, E. M.; PEREIRA, P. A. P.; GOUVEIA, I. P.; HASSIMOTTO, N. M. A.; PINTO, U. M.; DA CUNHA, L. R. Centesimal Composition, Bioactive Compounds, and Antimicrobial Properties of White (*Hylocereus undulatus*) and Red (*Hylocereus polyrhizus*) Pitayas. **Journal of Food Science**, v. 91, n. 3, p. e70967, 2026. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70967>
- GUPTA, M. S.; KUMAR, T. P.; DAVIDSON, R.; KUPPU, G. R.; PATHAK, K.; GOWDA, D. V. Printing Methods in the Production of Orodispersible Films. **AAPS PharmSciTech**, v. 22, n. 3, p. 129, 2021. <https://doi.org/10.1208/s12249-021-01990-3>
- HE, J.-Z.; RU, Q.-M.; DONG, D.-D.; SUN, P.-L. Chemical Characteristics and Antioxidant Properties of Crude Water Soluble Polysaccharides from Four Common Edible Mushrooms. **Molecules**, v. 17, n. 4, p. 4373–4387, 2012. <https://doi.org/10.3390/molecules17044373>
- HOFFMANN, E. M.; BREITENBACH, A.; BREITKREUTZ, J. Advances in orodispersible films for drug delivery. **Expert Opinion on Drug Delivery**, v. 8, n. 3, p. 299–316, 2011. <https://doi.org/10.1517/17425247.2011.553217>
- HOQUE, Md. S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Effects of partial hydrolysis and plasticizer content on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 1, p. 82–90, 2011 a. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.05.008>
- HOQUE, Md. S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin incorporated with cinnamon, clove and star anise extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 1085–1097, 2011 b. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.10.005>
- HUA, Q.; CHEN, C.; TEL ZUR, N.; WANG, H.; WU, J.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; ZHAO, J.; HU, G.; QIN, Y. Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, p. 117–125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.027>
- HUANG, Y.; BRENNAN, M. A.; KASAPIS, S.; RICHARDSON, S. J.; BRENNAN, C. S. Maturation Process, Nutritional Profile, Bioactivities and Utilisation in Food Products of Red Pitaya Fruits: A Review. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2862, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10112862>
- IRFAN, M.; RABEL, S.; BUKHTAR, Q.; QADIR, M. I.; JABEEN, F.; KHAN, A. Orally disintegrating films: A modern expansion in drug delivery system. **Saudi pharmaceutical journal: SPJ: the official publication of the Saudi Pharmaceutical Society**, v. 24, n. 5, p. 537–546, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2015.02.024>
- IVANIČ, F.; JOČEC-MOŠKOVÁ, D.; JANIGOVÁ, I.; CHODÁK, I. Physical properties of starch plasticized by a mixture of plasticizers. **European Polymer Journal**, v. 93, p. 843–849, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.04.006>
- JAMILAH, B.; SHU, C. E.; KHARIDAH, M.; DZULKILY, M. A.; NORANIZAN, A. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal**, v. 18, n. 1, p. 279, 2011.

- JANIGOVÁ, N.; ELBL, J.; PAVLOKOVÁ, S.; GAJDZIOK, J. Effects of Various Drying Times on the Properties of 3D Printed Orodispersible Films. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 2, p. 250, 2022. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14020250>
- JIA, R.; CUI, C.; GAO, L.; QIN, Y.; JI, N.; DAI, L.; WANG, Y.; XIONG, L.; SHI, R.; SUN, Q. A review of starch swelling behavior: Its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality. **Carbohydrate Polymers**, v. 321, p. 121260, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121260>
- JIANG, H.; ZHANG, W.; XU, Y.; CAO, J.; JIANG, W. Properties of pectin-based films from white-fleshed pitaya (*Hylocereus undatus*) peel waste as affected by montmorillonite. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100952, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100952>
- KAČURÁKOVÁ, M.; CAPEK, P.; SASINKOVÁ, V.; WELLNER, N.; EBRINGEROVÁ, A. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 2, p. 195–203, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X)
- KANMANI, P.; RHIM, J.-W. Development and characterization of carrageenan/grapefruit seed extract composite films for active packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 68, p. 258–266, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.011>
- KHAN, M. I. Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 2, p. 316–330, 2016. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12185>
- KHWALDIA, K.; BANON, S.; DESOBRY, S.; HARDY, J. Mechanical and barrier properties of sodium caseinate–anhydrous milk fat edible films. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 403–411, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00797.x>
- LAM, J. K. W.; XU, Y.; WORSLEY, A.; WONG, I. C. K. Oral transmucosal drug delivery for pediatric use. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 73, Drug delivery and the paediatric population: where are we at?, p. 50–62, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.08.011>
- LEE, Y.; KIM, K.; KIM, M.; CHOI, D. H.; JEONG, S. H. Orally disintegrating films focusing on formulation, manufacturing process, and characterization. **Journal of Pharmaceutical Investigation**, v. 47, n. 3, p. 183–201, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40005-017-0311-2>
- LI, H.; HE, X.; HU, X.; WU, L.; LI, X.; YANG, Q.; CAI, S.; CHEN, Y.; CHEN, S.; SONG, F.; WU, F. A curcumin-loaded pectin/carboxymethyl cellulose/gelatin film: synthesis, characterization, and application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 325, p. 147339, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147339>
- LIM, S. D.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N.; A. TALIB, R.; ENDAN, J.; AZIZ, M. Effect of extraction parameters on the yield of betacyanins from pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) pulps. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 9, p. 158–162, 2011.
- LIU, F.; CHANG, W.; CHEN, M.; XU, F.; MA, J.; ZHONG, F. Film-forming properties of

guar gum, tara gum and locust bean gum. **Food Hydrocolloids**, v. 98, p. 105007, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.028>

LIU, R. H. Dietary bioactive compounds and their health implications. **Journal of Food Science**, v. 78 Suppl 1, p. A18-25, 2013. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12101>

LIYANAPATHIRANAGE, A.; DASSANAYAKE, R. S.; GAMAGE, A.; KARRI, R. R.; MANAMPERI, A.; EVON, P.; JAYAKODI, Y.; MADHUJITH, T.; MERAH, O. Recent Developments in Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. **Coatings**, v. 13, n. 7, p. 1177, 2023. <https://doi.org/10.3390/coatings13071177>

LUGO-RADILLO, A.; DELGADO-ENCISO, I.; PEÑA-BELTRÁN, E. Betanidin significantly reduces blood glucose levels in BALB/c mice fed with an atherogenic diet. **Natural Products and Bioprospecting**, v. 2, n. 4, p. 154–155, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13659-012-0034-z>

LUO, J.; LIN, X.; BORDIGA, M.; BRENNAN, C.; XU, B. Manipulating effects of fruits and vegetables on gut microbiota – a critical review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 5, p. 2055–2067, 2021. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14927>

MA, P.; WANG, Y.; FAN, K. Intelligent packaging films based on anthocyanins: A review of structural properties, biodegradable polymers, application and prospects in food freshness monitoring. **Food Chemistry: X**, v. 34, p. 103634, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2026.103634>

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137, 2010. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n1p137>

MARTINEZ, R. M.; MELO, C. P. B.; PINTO, I. C.; MENDES-PIEROTTI, S.; VIGNOLI, J. A.; VERRI, W. A.; CASAGRANDE, R. Betalains: A Narrative Review on Pharmacological Mechanisms Supporting the Nutraceutical Potential Towards Health Benefits. **Foods**, Basel, Switzerland, v. 13, n. 23, p. 3909, 2024 a. <https://doi.org/10.3390/foods13233909>

MARTINEZ, R. M.; MELO, C. P. B.; PINTO, I. C.; MENDES-PIEROTTI, S.; VIGNOLI, J. A.; VERRI, W. A.; CASAGRANDE, R. Betalains: A Narrative Review on Pharmacological Mechanisms Supporting the Nutraceutical Potential Towards Health Benefits. **Foods**, Basel, Switzerland, v. 13, n. 23, p. 3909, 2024 b. <https://doi.org/10.3390/foods13233909>

MARTINEZ-PARDO, I.; SHANKS, R. A.; ADHIKARI, B.; ADHIKARI, R. Thermoplastic starch-nanohybrid films with polyhedral oligomeric silsesquioxane. **Carbohydrate Polymers**, v. 173, p. 170–177, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.009>

MIKKONEN, K.; RITA, H.; HELEN, H.; TALJA, R. A.; HYVÖNEN, L.; TENKANEN, M. Effect of polysaccharide structure on mechanical and thermal properties of galactomannan-based films. **Biomacromolecules**, v. 8, n. 10, p. 3198–3205, 2007. <https://doi.org/10.1021/bm700538c>

MILENKOVIC, D.; DEVAL, C.; DUBRAY, C.; MAZUR, A.; MORAND, C. Hesperidin Displays Relevant Role in the Nutrigenomic Effect of Orange Juice on Blood Leukocytes in

Human Volunteers: A Randomized Controlled Cross-Over Study. **PLOS ONE**, v. 6, n. 11, p. e26669, 2011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026669>

MIR, S. A.; DAR, B. N.; WANI, A. A.; SHAH, M. A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 141–154, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.004>

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. Color difference Delta E - A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, p. 383–411, 2011.

MORALES, J. O.; MCCONVILLE, J. T. Manufacture and characterization of mucoadhesive buccal films. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 77, n. 2, p. 187–199, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2010.11.023>

MORENO-LEY, C. M.; OSORIO-REVILLA, G.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, D. M.; RAMOS-MONROY, O. A.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. Anti-inflammatory activity of betalains: A comprehensive review. **Human Nutrition & Metabolism**, v. 25, p. 200126, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2021.200126>

MUDGIL, D.; BARAK, S.; KHATKAR, B. S. Guar gum: processing, properties and food applications—A Review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 3, p. 409–418, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x>

MURALIDHAR, S.; K, Ramya.; NARAYANA, T. V. Oral Dissolving Films: A Review. **International Journal of Research and Review**, v. 10, n. 9, p. 450–468, 2023. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20230946>

MUSAZZI, U. M.; KHALID, G. M.; SELMIN, F.; MINGHETTI, P.; CILURZO, F. Trends in the production methods of orodispersible films. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 576, p. 118963, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118963>

NAGARAJU, T.; GOWTHAMI, R.; RAJASHEKAR, M.; SANDEEP, S.; MALLESHAM, M.; SATHISH, D.; KUMAR, Y. S. Comprehensive review on oral disintegrating films. **Current Drug Delivery**, v. 10, n. 1, p. 96–108, 2013. <https://doi.org/10.2174/1567201811310010016>

NASCIMENTO, J. A. de A.; GOMES, L. K. S.; DUARTE, D. S.; LIMA, M. A. C. de; BRITTO, D. de. Stability of Nanocomposite Edible Films Based on Polysaccharides and Vitamin C from Agroindustrial Residue. **Materials Research**, v. 22, p. e20190057, 2019. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0057>

NEAL, W. M.; OSMAN, A. G.; KHAN, I. A.; CHITTIBOYINA, A. G. Natural product-based colorants as substitutes for petroleum-based synthetic food dyes: sources, chemistry, and characteristics. **Food Chemistry**, v. 501, p. 147561, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147561>

NOGUEIRA, G. F.; DE OLIVEIRA, R. A.; VELASCO, J. I.; FAKHOURI, F. M. Methods of Incorporating Plant-Derived Bioactive Compounds into Films Made with Agro-Based Polymers for Application as Food Packaging: A Brief Review. **Polymers**, v. 12, n. 11, p. 2518, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12112518>

NOGUEIRA, G. F.; SOARES, I. H. B. T.; SOARES, C. T.; FAKHOURI, F. M.; DE OLIVEIRA, R. A. Development and Characterization of Arrowroot Starch Films Incorporated with Grape Pomace Extract. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 250–263, 2022. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010014>

OBANDA, M.; OWUOR, P. O.; TAYLOR, S. J. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209–215, 1997. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199706\)74:2%253C209::AID-JSFA789%253E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199706)74:2%253C209::AID-JSFA789%253E3.0.CO;2-4)

OKEKE, O. C.; BOATENG, J. S. Composite HPMC and sodium alginate based buccal formulations for nicotine replacement therapy. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 91, p. 31–44, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.05.079>

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSORIO, C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174–181, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.090>

PACHECO, M. S.; BARBIERI, D.; DA SILVA, C. F.; DE MORAES, M. A. A review on orally disintegrating films (ODFs) made from natural polymers such as pullulan, maltodextrin, starch, and others. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 178, p. 504–513, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.180>

PALEZI, S. C.; FERNANDES, S. S.; MARTINS, V. G. Oral disintegration films: applications and production methods. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 10, p. 2539–2548, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05589-9>

PEDERSEN, A.; SØRENSEN, C.; PROCTOR, G.; CARPENTER, G. Salivary functions in mastication, taste and textural perception, swallowing and initial digestion. **Oral Diseases**, v. 24, n. 8, p. 1399–1416, 2018. <https://doi.org/10.1111/odi.12867>

PERERA, K. Y.; SHARMA, S.; DUFFY, B.; PATHANIA, S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. An active biodegradable layer-by-layer film based on chitosan-alginate-TiO₂ for the enhanced shelf life of tomatoes. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100971, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100971>

PEZIK, E.; GULSUN, T.; SAHIN, S.; VURAL, İ. Development and characterization of pullulan-based orally disintegrating films containing amlodipine besylate. **European Journal of Pharmaceutical Sciences: Official Journal of the European Federation for Pharmaceutical Sciences**, v. 156, p. 105597, 2021 a. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105597>

PEZIK, E.; GULSUN, T.; SAHIN, S.; VURAL, İ. Development and characterization of pullulan-based orally disintegrating films containing amlodipine besylate. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 156, p. 105597, 2021 b. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105597>

PLOYPETCHARA, T.; GOHTANI, S. Effect of sugar on starch edible film properties:

plasticized effect. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 3757–3766, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3307-7>

PRABHU, P.; MALLI, R.; KOLAND, M.; VIJAYNARAYANA, K.; D'SOUZA, U.; NM, H.; SHASTRY, C. S.; CHARYULU, R. N. Formulation and evaluation of fast dissolving films of levocetirizine di hydrochloride. **International Journal of Pharmaceutical Investigation**, v. 1, n. 2, p. 99–104, 2011. <https://doi.org/10.4103/2230-973X.82417>

QIN, Y.; LIU, Y.; ZHANG, X.; LIU, J. Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105410, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410>

QURESHI, D.; SAHOO, A.; MOHANTY, B.; ANIS, A.; KULIKOUSKAYA, V.; HILEUSKAYA, K.; AGABEKOV, V.; SARKAR, P.; RAY, S. S.; MAJI, S.; PAL, K. Fabrication and Characterization of Poly (vinyl alcohol) and Chitosan Oligosaccharide-Based Blend Films. **Gels**, v. 7, n. 2, p. 55, 2021. <https://doi.org/10.3390/gels7020055>

RADZKI, W.; ZIAJA-SOŁTYS, M.; NOWAK, J.; TOPOLSKA, J.; BOGUĆKA-KOCKA, A.; SŁAWIŃSKA, A.; MICHALAK-MAJEWSKA, M.; JABŁOŃSKA-RYŚ, E.; KUCZUMOW, A. Impact of processing on polysaccharides obtained from button mushroom (*Agaricus bisporus*). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 4, p. 1405–1412, 2019. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14084>

RAGHAV, N.; VASHISTH, C.; MOR, N.; ARYA, P.; SHARMA, M. R.; KAUR, R.; BHATTI, S. P.; KENNEDY, J. F. Recent advances in cellulose, pectin, carrageenan and alginate-based oral drug delivery systems. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 244, p. 1253577, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125357>

RANI, K. C. et al. Development, Evaluation, and Molecular Docking of Oral Dissolving Film of Atenolol. **Pharmaceutics**, v. 13, n. 10, p. 1727, 2021. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13101727>

RASHID, A. et al. In Vitro and In Vivo Evaluation of Composite Oral Fast Disintegrating Film: An Innovative Strategy for the Codelivery of Ranitidine HCl and Flurbiprofen. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 7, p. 1987, 2023. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071987>

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. Chapter 5 Starch Gelatinization. In: **Advances in Food and Nutrition Research**. [S. l.]: Academic Press, 2008. v. 55, p. 221–268. E-book. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(08\)00405-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(08)00405-1)

REMIRO, P. de F. R.; NAGAHARA, M. H. T.; AZOUBEL, R. A.; FRANZ-MONTAN, M.; D'ÁVILA, M. A.; MORAES, Â. M. Polymeric Biomaterials for Topical Drug Delivery in the Oral Cavity: Advances on Devices and Manufacturing Technologies. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 1, p. 12, 2023. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010012>

RODRIGUEZ-CANTO, W.; CERQUEIRA, M. A.; CHEL-GUERRERO, L.; PASTRANA, L. M.; AGUILAR-VEGA, M. *Delonix regia* galactomannan-based edible films: Effect of molecular weight and k-carrageenan on physicochemical properties. **Food Hydrocolloids**, v. 103, p. 105632, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105632>

SAFHI, A. Y.; SIDDIQUE, W.; ZAMAN, M.; SARFRAZ, R. M.; SHAFEEQ UR RAHMAN, M.; MAHMOOD, A.; SALAWI, A.; SABEL, F. Y.; ALSALHI, A.; ZOGHEBI, K. Statistically Optimized Polymeric Buccal Films of Eletriptan Hydrobromide and Itopride Hydrochloride: An In Vivo Pharmacokinetic Study. **Pharmaceuticals**, v. 16, n. 11, p. 1551, 2023. <https://doi.org/10.3390/ph16111551>

ŠÁRKA, E.; SINICA, A.; SMRČKOVÁ, P.; SLUKOVÁ, M. Non-Traditional Starches, Their Properties, and Applications. **Foods**, v. 12, n. 20, p. 3794, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12203794>

SATO, Y.; MIYAWAKI, O. Analysis of Intermolecular Interaction among Pectin Molecules in Aqueous Sugar Solutions. **Food Science and Technology Research**, v. 14, n. 3, p. 232–238, 2008. <https://doi.org/10.3136/fstr.14.232>

SAXENA, A.; SINGH, T. Oral Dissolving Films: A Comprehensive Review on Recent Perspectives and Current Approach to Effective Drug Delivery. **Journal of Drug Delivery and Therapeutics**, v. 12, n. 2, p. 139–147, 2022. <https://doi.org/10.22270/jddt.v12i2.5244>

SESSINI, V.; ARRIETA, M. P.; KENNY, J. M.; PEPONI, L. Processing of edible films based on nanoreinforced gelatinized starch. **Polymer Degradation and Stability**, v. 132, Special Issue: 5th International Conference on Bio-based and Biodegradable Polymers (BIOPOL-2015), p. 157–168, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.02.026>

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, Natural Antioxidants, p. 820–897, 2015 a. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, Natural Antioxidants, p. 820–897, 2015 b. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

SHARMA, P.; SHARMA, S.; RAMAKRISHNA, G.; SRIVASTAVA, H.; GAIKWAD, K. A comprehensive review on leguminous galactomannans: structural analysis, functional properties, biosynthesis process and industrial applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 2, p. 443–465, 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1819196>

SHIPP, L.; LIU, F.; KERAI-VARSANI, L.; OKWUOSA, T. C. Buccal films: A review of therapeutic opportunities, formulations & relevant evaluation approaches. **Journal of Controlled Release**, v. 352, p. 1071–1092, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.10.058>

SILVEIRA, J. L. M.; BRESOLIN, T. M. B. Pharmaceutical use of galactomannans. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 292–299, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422011000200023>

SINGH, G. P.; BANGAR, S. P.; YANG, T.; TRIF, M.; KUMAR, V.; KUMAR, D. Effect on the Properties of Edible Starch-Based Films by the Incorporation of Additives: A Review. **Polymers**, v. 14, n. 10, p. 1987, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14101987>

SOARES, R. M. D. CARACTERIZAÇÃO PARCIAL DE AMIDO EM CULTIVARES. [s. d.].

SONG, H.; ZHENG, Z.; WU, J.; LAI, J.; CHU, Q.; ZHENG, X. White Pitaya (*Hylocereus undatus*) Juice Attenuates Insulin Resistance and Hepatic Steatosis in Diet-Induced Obese Mice. **PloS One**, v. 11, n. 2, p. e0149670, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149670>

SOUSA, F. D. de et al. Plant Macromolecules as Biomaterials for Wound Healing. In: **Wound Healing**. [S. l.]: IntechOpen, 2019. E-book. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89105>

SOUZA, V. G. L.; FERNANDO, A. L.; PIRES, J. R. A.; RODRIGUES, P. F.; LOPES, A. A. S.; FERNANDES, F. M. B. Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 565–572, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.056>

SOWJANYA, J. N.; RAO, P. R. Development, optimization, and invitro evaluation of novel fast dissolving oral films (FDOF's) of *Uncaria tomentosa* extract to treat osteoarthritis. *Heliyon*, v. 9, n. 3, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14292>

ȘTEFĂNESCU, C.; VOȘTINARU, O.; MOGOȘAN, C.; CRIȘAN, G.; BALICA, G. The Neuroprotective Potential of Betalains: A Focused Review. **Plants**, v. 14, n. 7, p. 994, 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14070994>

TAHMOUZI, S.; MEFTAHIZADEH, H.; EYSHI, S.; MAHMOUDZADEH, A.; ALIZADEH, B.; MOLLAKHALILI-MEYBODI, N.; HATAMI, M. Application of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) gum in food technologies: A review of properties and mechanisms of action. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 9, p. 4869–4897, 2023. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3383>

TEDESCO, M. P.; GARCIA, V. A. dos S.; BORGES, J. G.; OSIRO, D.; VANIN, F. M.; PEDROSO YOSHIDA, C. M.; DE CARVALHO, R. A. Production of oral films based on pre-gelatinized starch, CMC and HPMC for delivery of bioactive compounds extract from acerola industrial waste. **Industrial Crops and Products**, v. 170, p. 113684, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113684>

TEDESCO, M. P.; MONACO-LOURENÇO, C. A.; CARVALHO, R. A. Gelatin/hydroxypropyl methylcellulose matrices — Polymer interactions approach for oral disintegrating films. **Materials Science and Engineering: C**, v. 69, p. 668–674, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.07.023>

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 1, p. 129–136, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.09.003>

THAKUR, R.; PRISTIJONO, P.; SCARLETT, C. J.; BOWYER, M.; SINGH, S. P.; VUONG, Q. V. Starch-based films: Major factors affecting their properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 1079–1089, 2019 a. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>

THAKUR, R.; PRISTIJONO, P.; SCARLETT, C. J.; BOWYER, M.; SINGH, S. P.; VUONG,

Q. V. Starch-based films: Major factors affecting their properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 1079–1089, 2019 b. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>

TURKOVIĆ, E.; VASILJEVIĆ, I.; DRAŠKOVIĆ, M.; OBRADOVIĆ, N.; VASILJEVIĆ, D.; PAROJČIĆ, J. An Investigation into Mechanical Properties and Printability of Potential Substrates for Inkjet Printing of Orodispersible Films. **Pharmaceutics**, v. 13, n. 4, p. 468, 2021. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13040468>

VAILLANT, F.; PEREZ, A.; DAVILA, I.; DORNIER, M.; REYNES, M. Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.). **Fruits**, v. 60, n. 1, p. 3–12, 2005. <https://doi.org/10.1051/fruits:2005007>

VIEIRA, Í. G. P.; MENDES, F. N. P.; GALLÃO, M. I.; DE BRITO, E. S. NMR study of galactomannans from the seeds of mesquite tree (*Prosopis juliflora* (Sw) DC). **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 70–73, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.052>

VILLALOBOS, R.; CHANONA, J.; HERNÁNDEZ, P.; GUTIÉRREZ, G.; CHIRALT, A. Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 1, p. 53–61, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.014>

WAHLSTRÖM, N.; EDLUND, U.; PAVIA, H.; TOTH, G.; JAWORSKI, A.; PELL, A. J.; CHOONG, F. X.; SHIRANI, H.; NILSSON, K. P. R.; RICHTER-DAHLFORS, A. Cellulose from the green macroalgae *Ulva lactuca*: isolation, characterization, optotracing, and production of cellulose nanofibrils. **Cellulose**, v. 27, n. 7, p. 3707–3725, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03029-5>

YADAV, H.; MAITI, S. Research progress in galactomannan-based nanomaterials: Synthesis and application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 2113–2126, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.062>

YADAV, P. Biomedical Biopolymers, their Origin and Evolution in Biomedical Sciences: A Systematic Review. **JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH**, 2015. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13907.6565>

YAŞAR, K.; KAHYAOGU, T.; ŞAHAN, N. Dynamic rheological characterization of salep glucomannan/galactomannan-based milk beverages. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 5, p. 1305–1311, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.11.005>

ZHANG, L.; ALOIA, M.; PIELECHA-SAFIRA, B.; LIN, H.; RAJAI, P. M.; KUNNATH, K.; DAVÉ, R. N. Impact of Superdisintegrants and Film Thickness on Disintegration Time of Strip Films Loaded With Poorly Water-Soluble Drug Microparticles. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 107, n. 8, p. 2107–2118, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.04.006>

ZHANG, R.; HUANG, R.; CAI, Z.; TANG, Y.; HU, Y.; HUANG, C.; ZHONG, N.; CHEN, Y. Effect of annealing treatment on physicochemical properties, rheology and in vitro digestion of potato starch-galactomannan complexes. **Food Hydrocolloids**, v. 152, p. 109963, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109963>

ZHANG, W.; SHEN, J.; GAO, P.; JIANG, Q.; XIA, W. Sustainable chitosan films containing a betaine-based deep eutectic solvent and lignin: Physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 129, p. 107656, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107656>