

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

GUILHERME FELIPE XAVIER

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS A
PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO MARACUJÁ
AMARELO *Passiflora E. F. Flavicarpa***

**POÇOS DE CALDAS/MG
2025**

GUILHERME FELIPE XAVIER

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS A PARTIR DO
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO MARACUJÁ AMARELO *Passiflora E.*
*F. Flavicarpa***

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alfenas UNIFAL-MG. Área de concentração: Filmes comestíveis.

Orientador : Prof. Dr. Melina Savioli Lopes

Coorientador : Prof. Dr. Eric Keven Silva

POÇOS DE CALDAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Xavier, Guilherme Felipe.

Síntese e caracterização de filmes comestíveis a partir do
reaproveitamento de resíduos do maracujá amarelo *Passiflora E. F.*
Flavicarpa / Guilherme Felipe Xavier. - Poços de Caldas, MG, 2025.
103 f. : il. -

Orientador(a): Melina Savioli Lopes.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal
de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2025.
Bibliografia.

1. Beta-glucana. 2. CMC. 3. Pectina. 4. Maracujá. 5. Filmes comestíveis.
I. Lopes, Melina Savioli, orient. II. Título.

GUILHERME FELIPE XAVIER

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO MARACUJÁ AMARELO *Passiflora E. F. Flavicarpa*

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Aprovada em: 18 de setembro de 2025.

Profa. Dra. Melina Savioli Lopes

Presidente da Banca Examinadora

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Profa. Dra. Andresa Gomes Brunasi

Instituição: Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Grazielle Santos Silva Andrade

Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Melina Savioli Lopes, Professor do Magistério Superior**, em 24/09/2025, às 08:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1614861** e o código CRC **D8028BDF**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria, primeiramente, de expressar minha gratidão aos meus orientadores, Dra. Melina Savioli Lopes por seu incentivo ao ingressar no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL/MG) e constante apoio técnico, e ao Dr. Eric Keven Silva, por sua expertise na área de pesquisa e oferta de infraestrutura e orientação excepcional.

Agradeço também aos integrantes do Grupo Innpulsed, sob coordenação do Dr. Eric Keven Silva, em especial à Géssica Maria Lopes Faria, pela incansável ajuda durante toda a execução do projeto. Agradeço ao corpo técnico laboratorial da UNIFAL-MG do *campus* Poços de Caldas pela sempre prestativa ajuda.

Em um aspecto pessoal, expresso minha mais profunda gratidão aos meus pais, Paulo Cézar Xavier e Regiana de Carvalho Xavier pelo apoio incondicional durante toda minha etapa de formação, e ao meu irmão, Leonardo Henrique Xavier, pela confiança inabalável.

Agradeço pelo apoio financeiro proporcionado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG - APQ 01392-23).

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Este estudo investigou a valorização de resíduos do maracujá-amarelo para desenvolvimento de filmes comestíveis destinados a embalagens alimentícias. Realizou-se extração sequencial de compostos bioativos das cascas e sementes, empregando metodologia convencional e assistida por ultrassom. Das cascas, extraíram-se pectinas (PMI e PMII) que apresentaram teores de ácido galacturônico de $47,62 \pm 2,57\%$ e $29,89 \pm 2,40\%$, respectivamente. A avaliação da capacidade de formação de filmes dessas pectinas revelou propriedades filmogênicas limitadas, o que direcionou o estudo para o desenvolvimento de blendas com biopolímeros comerciais. Desenvolveram-se filmes compósitos de β -glucana (BG) em combinação com carboximetilcelulose (CMC) e pectina cítrica comercial (PEC), incorporados com extrato fenólico de sementes de maracujá em concentrações equivalentes a 0, 60, 120 e 200 $\mu\text{g/mL}$ de ácido gálico. A caracterização dos filmes revelou estrutura predominantemente amorfa, com estabilidade térmica compatível com os ingredientes utilizados. Os filmes BG/CMC demonstraram maior estabilidade térmica que os BG/PEC. A análise por FTIR confirmou a presença dos grupos funcionais característicos dos biopolímeros e a eficiente incorporação dos extratos fenólicos. Os filmes de CMC apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água, enquanto todos os materiais exibiram alta solubilidade em água ($>90\%$). Quanto às propriedades mecânicas, observou-se que extratos menos concentrados produziram filmes mais resistentes e flexíveis na matriz de CMC (BG/CMC/E₃₀), enquanto extratos mais concentrados otimizaram as propriedades mecânicas das matrizes de pectina (BG/PEC/E₆₀ e BG/PEC/E₁₀₀). A atividade antioxidante, avaliada pelos métodos FRAP e TEAC, aumentou proporcionalmente à concentração do extrato, variando de 2,49-19,42 $\mu\text{mol TE/g}$ para filmes de CMC e 3,97-14,04 $\mu\text{mol TE/g}$ para filmes de PEC. Conclui-se que os filmes compósitos de BG/CMC e BG/PEC incorporados com extrato fenólico de sementes de maracujá representam uma alternativa sustentável e funcional para aplicação como embalagens alimentícias ativas, demonstrando o potencial de valorização dos resíduos do maracujá-amarelo, sendo as pectinas extraídas das cascas identificadas como matérias-primas com potencial para aplicação em sistemas de blendas poliméricas.

Palavras-Chave: β -glucana; CMC; pectina; maracujá; filmes comestíveis; compostos fenólicos.

ABSTRACT

This study investigated the valorization of yellow passion fruit waste for the development of edible films intended for food packaging. Sequential extraction of bioactive compounds from the peels and seeds was performed using conventional and ultrasound-assisted methodologies. Pectins (PMI and PMII) extracted from the peels showed galacturonic acid contents of $47.62 \pm 2.57\%$ and $29.89 \pm 2.40\%$, respectively. The evaluation of the film-forming capacity of these pectins revealed limited filmogenic properties, which directed the study towards the development of blends with commercial biopolymers. Composite films of β -glucan (BG) in combination with carboxymethyl cellulose (CMC) and commercial citrus pectin (PEC) were developed, incorporated with phenolic extract from passion fruit seeds at concentrations equivalent to 0, 60, 120, and 200 $\mu\text{g/mL}$ of gallic acid. Film characterization revealed a predominantly amorphous structure with thermal stability compatible with the raw ingredients. The BG/CMC films demonstrated higher thermal stability than the BG/PEC films. FTIR analysis confirmed the presence of characteristic functional groups of the biopolymers and the effective incorporation of the phenolic extracts. The CMC-based films exhibited lower water vapor permeability, while all materials showed high water solubility ($>90\%$). Regarding mechanical properties, it was observed that less concentrated extracts produced stronger and more flexible films in the CMC matrix (BG/CMC/E₃₀), while more concentrated extracts optimized the mechanical properties in the pectin matrices (BG/PEC/E₆₀ and BG/PEC/E₁₀₀). The antioxidant activity, evaluated by FRAP and TEAC assays, increased proportionally with the extract concentration, ranging from 2.49-19.42 $\mu\text{mol TE/g}$ for CMC films and 3.97-14.04 $\mu\text{mol TE/g}$ for PEC films. In conclusion, the composite films of BG/CMC and BG/PEC incorporated with phenolic extract from passion fruit seeds represent a sustainable and functional alternative for application as active food packaging, demonstrating the potential for valorization of yellow passion fruit waste, with the pectins extracted from the peels identified as raw materials with potential for application in polymer blend systems.

Keywords: β -glucan; CMC; pectin; passion-fruit; edible films; phenolic compounds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxograma de reaproveitamento do maracujá amarelo.....	26
Figura 2 -	Curva de extração de compostos fenólicos totais (TPC) da casca de maracujá ao longo do tempo, utilizando o método convencional com etanol 50% (v/v). 37	
Figura 3 -	Perfil cumulativo de compostos fenólicos totais (TPC) durante extração sequencial assistida por ultrassom do óleo das sementes do maracujá.....	39
Figura 4 -	Curva de extração cumulativa de compostos fenólicos totais (TPC) das sementes de maracujá (após extração do óleo) utilizando etanol 50% (v/v) assistida por ultrassom.....	41
Figura 5 -	Teor de compostos fenólicos totais (TPC) nas diferentes blendas de extratos obtidos em diferentes tempos de extração por ultrassom das sementes de maracujá.....	42
Figura 6 -	Perfis de estabilidade térmica obtidos para (A) β -glucana, (B) CMC e (C) pectina cítrica.....	45
Figura 7 -	Perfis de estabilidade térmica obtidos para (A) Pectina do maracujá I e (B) Pectina do maracujá II.....	46
Figura 8 -	Espectros de FTIR dos ingredientes puros utilizados na formulação dos filmes: β -glucana (BG), carboximetilcelulose (CMC), pectina cítrica comercial (PCC) e glicerol.....	47
Figura 9 -	Espectros de FTIR comparativos da pectina cítrica comercial e das pectinas extraídas da casca de maracujá (PMI e PMII).....	48
Figura 10 -	Aspectos visuais dos filmes teste produzidos com as pectinas extraídas do maracujá.....	49
Figura 11 -	Filmes de BG: A) CMC/E100 , B) CMC/E60 , C) CMC/E30 , D) CMC/E0 , E) PEC/E0 , F) PEC/E30 , G) PEC/E60 , H) PEC/E100.....	50
Figura 12 -	Micrografias de MEV dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e carboximetilcelulose (CMC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações. (Ampliação: x800).....	53
Figura 13 -	Micrografias de MEV dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e pectina cítrica comercial (PCC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações. (Ampliação: x800).....	54

Figura 14 -	Espectros de transmitância no UV-Vis dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e carboximetilcelulose (CMC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	57
Figura 15 -	Espectros de transmitância no UV-Vis dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e pectina cítrica comercial (PCC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	57
Figura 16 -	Solubilidade em Água dos Filmes de (A) CMC/BG e (B) PEC/BG.....	58
Figura 17 -	Permeabilidade ao Vapor de Água - PVA - dos Filmes de (A) CMC/BG e (B) PEC/BG.....	59
Figura 18 -	Difratogramas de raios-x dos filmes compósitos de β -glucana e (A) pectina cítrica comercial (PCC) e (B) carboximetilcelulose (CMC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	62
Figura 19 -	Espectros de FTIR dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e carboximetilcelulose (CMC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	63
Figura 20 -	Espectros de FTIR dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e pectina cítrica comercial (PCC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	64
Figura 21 -	Perfis de estabilidade térmica obtidos para os filmes (A) CMC/E0, (B) CMC/E30, (C) CMC/E60, (D) CMC/E100.....	65
Figura 22 -	Perfis de estabilidade térmica obtidos para os filmes (A) PEC/E0, (B) PEC/E30, (C) PEC/E60, (D) PEC/E10.....	67
Figura 23 -	Tensão e Alongamento na Ruptura para os filmes de (A/B) CMC e (C/D) Pectina	70
Figura 24 -	Comportamento Tensão-Deformação para os filmes compósitos de β -glucana e (A) carboximetilcelulose (CMC) e (B) pectina cítrica comercial (PCC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	71
Figura 25 -	Análise de antioxidantes (FRAP) para os filmes compósitos de β -glucana e (A) carboximetilcelulose (CMC) e (B) pectina cítrica comercial (PCC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....	73
Figura 26 -	Análise de antioxidantes (TEAC) para os filmes compósitos de β -glucana e (A) carboximetilcelulose (CMC) e (B) pectina cítrica comercial	

(PCC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.....74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Teor de compostos fenólicos totais (TPC) durante a extração convencional da casca de maracujá.....	36
Tabela 2 -	Teor de compostos fenólicos totais (TPC) durante a extração assistida por ultrassom do óleo das sementes de maracujá cumulativo (superior) e pontual (inferior).....	38
Tabela 3 -	Teor de compostos fenólicos totais (TPC) durante a extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das sementes de maracujá (após extração do óleo).....	40
Tabela 4 -	Teor de compostos fenólicos totais (TPC) nas diferentes misturas de extratos obtidos em diferentes tempos de extração por ultrassom das sementes de maracujá.....	41
Tabela 5 -	Teor de Ácido Galacturônico (%GalA) das pectinas extraídas do maracujá (PMI e PMII) e da pectina cítrica comercial (PCC).....	43
Tabela 6 -	Composição dos filmes compósitos de β -glucana (BG).....	49
Tabela 7 -	Espessura dos filmes compósitos de β -glucana.....	51
Tabela 8 -	Coordenadas de cores (L, a, b*) dos filmes compósitos de β -glucana (BG)....	55
Tabela 9 -	Solubilidade em Água dos filmes compósitos de β -glucana (BG).....	59
Tabela 10 -	Permeabilidade ao vapor de água dos filmes compósitos de β -glucana (BG)..	60
Tabela 11 -	Teste de Tukey para a Espessura.....	89
Tabela 12 -	Teste de Tukey - Parâmetro L*.....	90
Tabela 13 -	Teste de Tukey - Parâmetro b*.....	92
Tabela 14 -	Teste de Tukey - Parâmetro a*.....	94
Tabela 15 -	Teste de Tukey - Tensão na Ruptura.....	96
Tabela 16 -	Teste de Tukey - Alongamento na Ruptura.....	98
Tabela 17 -	Teste de Tukey - FRAP.....	100
Tabela 18 -	Teste de Tukey - TEAC.....	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	FILMES BIOPOLIMÉRICOS: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES.....	17
2.2	VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MARACUJÁ.....	18
2.3	TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO DE BIOATIVOS.....	20
2.4	PECTINA.....	22
2.5	β - GLUCANA.....	22
2.6	CARBOXIMETILCELULOSE.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	MATERIAIS.....	25
3.2	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	25
3.2.1	Preparo e tratamentos da farinha da casca do maracujá.....	25
3.2.2	Extração convencional de compostos bioativos da farinha da casca de maracujá.....	26
3.2.3	Extração sequencial de pectina da casca de maracujá assistida por agitador mecânico.....	27
3.2.4	Preparo e tratamentos das sementes do maracujá.....	27
3.2.5	Extração sequencial de óleo essencial da semente do maracujá assistida por ultrassom.....	27
3.2.6	Extração sequencial de compostos bioativos da semente de maracujá assistida por ultrassom.....	28
3.2.7	Análise do teor de compostos fenólicos totais (TPC).....	28
3.2.8	Análise do teor de Ácido Galacturônico da pectina.....	29
3.2.9	Preparo dos filmes pelo método Casting.....	30
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES E INGREDIENTES.....	31
3.3.1	Espessura dos filmes.....	31
3.3.2	Morfologia.....	31

3.3.3	Coloração e propriedades ópticas dos filmes.....	31
3.3.4	Solubilidade em água.....	32
3.3.5	Permeabilidade ao vapor de água.....	32
3.3.6	Difração de Raios-X (DRX) , Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Análise Termogravimétrica (TGA).....	33
3.3.7	Propriedades Mecânicas.....	34
3.3.8	Atividade Antioxidante dos Filmes.....	34
3.3.8.1	Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC).....	34
3.3.8.2	Poder Antioxidante Redutor do Ferro (FRAP).....	35
4	RESULTADOS.....	36
4.1	EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA FARINHA DA CASCA DE MARACUJÁ.....	36
4.2	EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA SEMENTE DE MARACUJÁ.	38
4.3	EXTRAÇÃO DA PECTINA E TEOR DE ÁCIDO GALACTURÔNICO.....	43
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS INGREDIENTES.....	44
4.5	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES.....	48
4.5.1	Espessura dos filmes.....	50
4.5.2	Morfologia.....	51
4.5.3	Coloração dos filmes.....	55
4.5.4	Propriedades ópticas.....	56
4.5.5	Solubilidade em água.....	58
4.5.6	Permeabilidade ao vapor d'água.....	59
4.5.7	Difração de raios-x (DRX).....	61
4.5.8	Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	62
4.5.9	Análise termogravimétrica (TGA).....	64
4.5.10	Propriedades mecânicas.....	69
4.5.11	Atividade antioxidante.....	72
5	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77

APÊNDICE A - Testes de Tukey.....	89
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

A utilização de filmes comestíveis como embalagens vem ganhando maior importância nos últimos anos, primeiro devido a ampla variedade de matérias primas potenciais na formulação das embalagens, e segundo devido ao baixo caráter poluente destes materiais (Said *et al.*, 2023). Neste contexto, a utilização de polissacarídeos derivados de biomassa residual consiste em uma alternativa viável para a produção de embalagens alimentícias biodegradáveis devido à fácil e barata aquisição de matérias primas, destacando a melhoria nas propriedades físico-químicas das embalagens convencionais. A pectina, polissacarídeo encontrado nas cascas de frutas, possui boa capacidade gelificante, baixa toxicidade e grande variedade estrutural, sendo portanto uma matéria prima potencial no desenvolvimento de filmes ativos biodegradáveis (Lima, 2019).

A diversidade de fontes de matérias primas comuns na produção de filmes destinados a embalagens comestíveis ainda é limitada, em especial se tratando da pectina. Em geral, a pectina comercial é em sua maioria extraída de cascas de frutos cítricos. Somente no ano de 2023 foram produzidas mais de 700 mil toneladas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) em território brasileiro, segundo dados do IBGE em 2023. A casca do maracujá corresponde a mais de 50% da massa total do fruto, sendo rica em fibras vegetais (50 a 70% das cascas), polissacarídeos funcionais (como a pectina), alcaloides, flavonoides e outros compostos bioativos (Chen *et al.*, 2022; Huo *et al.*, 2023).

No entanto, filmes formulados exclusivamente com pectina frequentemente apresentam limitações nas propriedades de barreira ao vapor de água e nas características mecânicas (Nguyen *et al.*, 2022). Esta constatação, somada à variabilidade das propriedades físico-químicas da pectina conforme sua origem vegetal (Qin *et al.*, 2024), motiva a investigação de blendas com outros biopolímeros. De forma similar, a carboximetilcelulose (CMC), embora amplamente utilizada, carece de propriedades funcionais intrínsecas como atividade antioxidante quando empregada isoladamente (Riaz *et al.*, 2020). Estas limitações comuns a ambos os biopolímeros justificam a estratégia de desenvolvimento de filmes compostos, onde a combinação sinérgica entre diferentes polissacarídeos pode superar as restrições individuais.

Com isso, a adoção de blendas de pectina e outros biopolímeros vem sendo amplamente investigada, uma vez que possibilita reduzir as limitações de filmes baseados em

um único biopolímero. Dentre os principais candidatos, a β -glucana é um polissacarídeo que apresenta uma boa capacidade de formação de filme e boas propriedades mecânicas e de barreira quando associados a outros biopolímeros como a pectina e derivados de carboximetilcelulose (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2022).

Deste modo, busca-se o aproveitamento integral dos resíduos do maracujá amarelo, não apenas em virtude de sua grande disponibilidade, mas também para valorizar o potencial deste fruto como fonte alternativa de pectina e compostos bioativos na fabricação de filmes biodegradáveis. Ademais, o desenvolvimento de materiais compostos por matrizes de β -glucana combinada com polissacarídeos comerciais como CMC e pectina permite obter filmes com propriedades mecânicas, ópticas e de barreira ajustadas, ampliando assim o campo de aplicação de embalagens ativas para diferentes setores alimentícios.

Portanto, este projeto possui relevância científica pois pretende produzir um filme biodegradável a partir de pectina e compostos bioativos extraídas de uma fonte de biomassa renovável e abundante - casca do maracujá amarelo -, além de avaliar a influência das técnicas de extração da pectina e suas propriedades, de modo a se obter as condições mais adequadas e de menor custo/impacto na confecção de filmes destinados à embalagens alimentícias. Por fim, este trabalho possui também relevância social pois visa um processo de transformação sustentável, utilizando biomassa vegetal resultante de atividades industriais, resultando em um produto com maior valor agregado e aplicabilidade no mercado consumidor.

1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a capacidade de formação de filme de pectinas extraídas do maracujá e comparar suas propriedades com filmes formulados a partir de blends de β -glucana com pectina comercial e β -glucana com carboximetilcelulose.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Extrair pectina a partir da casca do maracujá;
- b) Caracterizar a pectina extraída do maracujá;

- c) Extrair compostos bioativos/polifenóis da casca e sementes do maracujá amarelo por metodologia convencional e assistida por ultrassom;
- d) Avaliar a capacidade de formação de filmes das pectinas extraídas do maracujá, incorporadas com compostos bioativos da casca;
- e) Desenvolver e caracterizar filmes compostos de β -glucana com polímeros comerciais (pectina cítrica e carboximetilcelulose) adicionados de extratos bioativos das sementes do maracujá;
- f) Caracterizar as propriedades físico-químicas, mecânicas e funcionais dos filmes compósitos de β -glucana.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FILMES BIOPOLIMÉRICOS: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Os filmes comestíveis à base de biopolímeros vêm ganhando importância significativa nos últimos anos devido à ampla variedade de matérias-primas potenciais e ao baixo caráter poluente desses materiais (Said *et al.*, 2023). No contexto de embalagens alimentícias, estes materiais se aplicam principalmente como: (i) coberturas comestíveis para proteção superficial de frutas e hortaliças; (ii) filmes de embalagem para produtos secos; e (iii) sistemas de liberação controlada de compostos ativos - aplicações que exploram sua biodegradabilidade e capacidade de incorporar funcionalidades adicionais.

A utilização de polissacarídeos derivados de biomassa residual consiste em uma alternativa viável para a produção de embalagens alimentícias biodegradáveis, especialmente relevante para o setor de frutas, onde grandes volumes de resíduos são gerados e podem ser convertidos em materiais de valor agregado.

Entre as principais vantagens dos filmes biopoliméricos estão sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e potencial para incorporação de compostos bioativos que conferem funcionalidades adicionais, como atividade antioxidante e antimicrobiana (Jamróz *et al.*, 2022; Riaz *et al.*, 2020). Essa capacidade de funcionar como embalagens ativas é particularmente valiosa para produtos oxidáveis, onde os filmes podem atuar como barreira física e química simultaneamente.

Contudo, os filmes biopoliméricos também apresentam limitações significativas para aplicação prática. Filmes baseados em polissacarídeos puros frequentemente exibem pobres capacidades de barreira ao vapor de água e propriedades mecânicas insuficientes para algumas aplicações (Ezati *et al.*, 2022; Nguyen *et al.*, 2022). Essas limitações restringem seu uso principalmente a produtos com baixo teor de umidade ou para aplicações de curta duração. Para viabilizar a aplicação prática destes materiais, a formulação de blends poliméricas emerge como estratégia fundamental. A combinação sinérgica de diferentes biopolímeros permite desenvolver filmes com propriedades customizadas para aplicações específicas (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2022).

Especificamente, as combinações β -glucana/CMC e β -glucana/pectina estudadas neste trabalho visam desenvolver materiais com aplicação prática na proteção de alimentos, onde a atividade antioxidante dos extratos de maracujá incorporados pode estender a vida útil de

produtos susceptíveis à oxidação. A incorporação de extratos fenólicos em blendas poliméricas não apenas confere funcionalidade, mas também pode modificar as propriedades de barreira e mecânicas, ajustando o material para aplicações específicas no setor alimentício (Yang *et al.*, 2024). Esta abordagem é particularmente relevante para a indústria de sucos e polpas de maracujá, onde os resíduos do processamento podem ser convertidos em materiais de embalagem para os próprios produtos da indústria, fechando o ciclo de produção de forma sustentável.

2.2 VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MARACUJÁ

A adoção de biopolímeros como forma de revestimento e embalagens alimentícias vêm recebendo maior atenção nos últimos tempos em virtude da necessidade de se optar por materiais biodegradáveis, biocompatíveis e de baixo custo, sem comprometer seriamente as propriedades desejáveis encontradas em embalagens convencionais. Assim, polissacarídeos naturais como a pectina e derivados de celulose, bem como compostos ativos oriundos de extratos e fontes vegetais desempenham um papel importante na confecção de materiais alternativos na aplicação como embalagens (Liu *et al.*, 2024; Nguyen *et al.*, 2022).

Tendo o Brasil como o maior produtor mundial de maracujá amarelo, tem-se que o maior consumo desta fruta se dá pela indústria alimentícia de sucos e polpas, sendo as cascas e sementes do maracujá o principal resíduo do processamento do maracujá (Huo *et al.*, 2023). A casca do maracujá contém quantidade significativa de fibras, polissacarídeos, polifenóis, carotenóides e ácido ascórbico, sendo então uma potencial fonte de compostos bioativos na confecção de materiais funcionais.

A pectina comercial é em geral extraída de cascas de frutos cítricos e bagaço de maçã, sendo necessário adotar fontes alternativas deste biopolímero de maneira a reduzir a escassez e custo deste insumo. Nesse contexto, a utilização integral dos resíduos do maracujá amarelo - casca e sementes - permite obter os principais materiais necessário para a confecção de filmes biodegradáveis: a pectina, extraída da casca do maracujá, e os polifenóis, extraídos da casca e sementes do maracujá.

Os resíduos do processamento do maracujá, em especial a casca e sementes, correspondem a cerca de 60% da massa total do fruto, sendo ricos em compostos fenólicos pertencentes à classe dos C-glicosil flavonoides (Pereira *et al.*, 2020). Wanapat *et al.*, (2024) reportou resultados acerca da presença de propriedades antioxidantes, anti-diabéticas e

antimicrobianas de extratos das cascas de maracujá. Os compostos fenólicos apresentam expressiva capacidade antioxidante, efeito vasodilatador, propriedades antialérgicas e anti-inflamatórias (Huang *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2020). O mesocarpo da fruta, segundo Mota *et al.*, (2022), é constituído por um material fibroso majoritariamente composto por celulose, hemicelulose, lignina e pectina, além da presença de vários micronutrientes minerais essenciais à dieta, como cálcio, potássio, zinco e magnésio.

As semente de maracujá também possuem relevantes teores de micronutrientes minerais, com destaque para o sódio, magnésio, potássio, fósforo, cálcio e zinco (Nor *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023). O potencial antioxidante das sementes é evidenciado pelo perfil dos compostos usualmente extraídos da matriz, como ácido gálico, treonina, tirosina, valina e lisina (Weyya *et al.*, 2024). Além disso, as sementes, com eventuais resíduos de outras partes do maracujá (polpa, suco e casca) podem apresentar maior teor de carboidratos e traços de ramnose, xilose, arabinose e ácido clorogênico (Huo *et al.*, 2023). Quanto ao perfil lipofílico (lipídico) das sementes de maracujá, Kawakami *et al.*, (2021) reportou grandes percentuais de ácido linoleico, correspondentes a cerca de 70% da fração dos óleos extraídos. Além disso, a composição residual do óleo da semente do maracujá é dada pela presença de ácidos palmítico, esteárico e oleico, com composição traço de outros ácidos graxos (Jiang *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2022).

Além do reaproveitamento das cascas e sementes do fruto com a extração de compostos bioativos e polissacarídeos funcionais como a pectina, o maracujá é um produto estratégico em outras áreas industriais, desde o campo alimentício até o campo de biocombustíveis. As cascas do maracujá podem ser destinadas à produção de farinhas alimentícias com potencial de aplicação na dieta humana e também na nutrição animal (Coutinho *et al.*, 2023; Pazdiora *et al.*, 2021). Essas farinhas apresentam alto teor de carboidratos, fibras e bioativos (como os polifenóis), e vem sendo usadas como substitutas das farinhas tradicionais de trigo e aveia na cocção de pães, biscoitos e massas em geral (Ning *et al.*, 2022; Sampaio *et al.*, 2022).

Quanto ao cenário industrial, pesquisas recentes vêm trabalhando com resíduos vegetais na busca por um processo de transformação em produtos de interesse em biorrefinarias e como alternativas no tratamento de efluentes (Santos *et al.*, 2023; Gómez-Aguilar *et al.*, 2022). De acordo com Santos *et al.*, (2023), a composição de um bio óleo obtido a partir das cascas do maracujá apresenta cerca de 20,88% de furfural, composto de interesse na fabricação de químicos, polímeros e biocombustíveis como o etanol. O restante da composição do bio óleo consiste em polifenóis (33,76%) e cetonas (8,53%). Além

do uso direto dos resíduos do maracujá na produção de biocombustíveis e precursores industriais, o uso das cascas do fruto como bioissorvente na recuperação de glicerol em biorrefinarias tem se provado uma alternativa interessante nas vias de *downstream* de processos industriais. Segundo Misram *et al.*, (2025) a alta porosidade e potencial de aumento desta área superficial com tratamentos prévios com carbono ativado das cascas do maracujá podem promover uma remoção de até 96,69% de glicerol em biodiesel.

Por fim, em virtude do crescimento populacional e aumento da atividade industrial, tem-se cada vez mais consumo de recursos naturais e geração de águas residuais (Gómez-Aguilar *et al.*, 2022). Atividades de mineração, metalurgia, baterias, eletrônicos e têxteis contribuem com o lançamento de enormes quantidades de efluentes líquidos ricos em poluentes como metais pesados. Estes poluentes apresentam alto potencial tóxico, mutagênico e carcinogênico, e devem ser rigidamente controlados no despejo de efluentes (Zhao *et al.*, 2021). Nesse contexto, o uso das cascas do maracujá como bioissorventes contribuem não só com a economia circular mas também com a redução de custos com o tratamento de águas residuais. Zhao *et al.*, (2021) e Gómez-Aguilar *et al.*, (2022) mostraram um potencial seletivo das cascas do maracujá na remoção de Cr (VI) de efluentes líquidos em até 99%. Não somente, o bioissorvente se mostrou eficaz em misturas multielementares catiônicas, com leve redução no potencial de remoção dos contaminantes (91,11%). Por fim, cascas e folhas do maracujá também vem sendo utilizadas na remoção de corantes de águas residuais, com altos níveis de remoção de corantes de violeta de metila e azul de metileno (4100-3750 mg/g e 3000-1700 mg/g), de acordo com Chen *et al.*, (2021), Lin *et al.*, (2021) e Tan *et al.*, (2023).

2.3 TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO DE BIOATIVOS

Os resíduos de maracujá compreendem cerca de 60% da massa total do fruto íntegro, onde as sementes representam de 6 a 12% da massa total (Huo *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2017). Cao *et al.* (2021) reportou que os pericarpos do maracujá, parte constituinte das cascas de frutos, apresentam significativa quantidade de componentes ativos como polifenóis, fibras dietárias, flavonoides e carotenoides. Dessa forma, fica evidente o potencial de se utilizar os resíduos do maracujá amarelo como uma fonte alternativa de compostos ativos na produção de materiais funcionais, como embalagens e coberturas alimentícias. Contudo, a seleção de técnicas de extração e separação desses bioativos ainda é crítica no processo de

reaproveitamento de resíduos, uma vez que busca-se alternativas de menor custo e maior eficiência na extração (Kumar *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2022).

Nesse contexto, técnicas alternativas de extração vem sendo amplamente estudadas na extração de compostos bioativos de origem vegetal. Independentemente do tipo de solvente utilizado, técnicas assistidas por microondas, ultrassom ou fluidos super/subcríticos já são uma realidade, embora algumas nuances devam ser consideradas no emprego destas tecnologias.

A extração convencional por solventes orgânicos utiliza geralmente solventes miscíveis em água em diferentes proporções, sendo os mais comuns solventes o metanol, etanol, acetona e *n*-hexano (Han *et al.*, 2022). Embora seja uma técnica mais simples, algumas desvantagens são a pobre eficiência de extração, tempos longos necessários para o processo e necessidade de altas temperaturas de extração, o que pode resultar na perda de compostos voláteis e termosensíveis (Begum *et al.*, 2023). Além disso, a eficácia do solvente utilizado depende fortemente de sua seletividade para com o composto alvo, o que implica num conhecimento prévio da estrutura química das partes envolvidas (Liu *et al.*, 2024; Khan *et al.*, 2023; Liang *et al.*, 2022).

Para solucionar algumas das desvantagens do método convencional, é comum a utilização de tecnologias alternativas que permitam uma operação segura sem o uso de perigos ambientais e facilidade na recuperação e purificação dos compostos ativos (Pereira *et al.*, 2017). Dentre as alternativas, a Extração Assistida por Ultrassom (EAU) é um dos métodos mais utilizados industrialmente e seu uso no processamento de alimentos já foi bem investigado. Esta tecnologia baseia-se na aplicação de energia em forma de ondas sonoras em um meio, provocando uma série de vibrações mecânicas e otimizando a cavitação e contato superficial entre as fases sólida e líquida (Low *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2017).

Solomakou *et al.* (2022) reportou que a Extração Assistida por Ultrassom de compostos fenólicos a partir da borra de café é melhor empregada com solventes mistos, sendo a faixa de composição de etanol em uma mistura com água entre 50 e 60% o mais ideal para a extração. Além disso, a tecnologia é melhor executada em temperaturas entre 30 e 60 °C, uma vez que temperaturas mais elevadas podem provocar a decomposição do composto alvo. Pereira *et al.* (2017) obteve rendimentos próximos a 21% em massa para a extração de óleo essencial das sementes do maracujá; não somente, observa-se o efeito da razão entre sólido-solvente na extração onde menores razões permitem rendimentos maiores de compostos bioativos.

2.4 PECTINA

Pectina é um polissacarídeo estruturado complexo composto por três principais estruturas: uma cadeia linear, majoritariamente composta por ligações 1-4 de α -D-GalA; uma cadeia repetitiva de dissacarídeos e, por fim, uma variedade de cadeias laterais ligadas aos resíduos de Ácido Galacturônico (Chen *et al.*, 2022). A pectina é amplamente utilizada no processamento alimentício como espessante e estabilizante, aumentando a capacidade de retenção de água das matrizes em que se encontra e ajustando a viscosidade (Asfaw *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023). As principais fontes de pectina comercial são as cascas de frutas cítricas e resíduos de maçã, se fazendo necessário a diversificação dessas fontes de matéria prima.

As pectinas são classificadas de acordo com o grau de esterificação (DE), sendo que este índice determina as diferentes propriedades químicas da pectina. A gelificação da pectina extraída de diferentes fontes apresenta diferentes interações moleculares com a matriz (Qin *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2023). As pectinas de menor DE resultam em interações eletrostáticas entre os cátions presentes na matriz e as cavidades carregadas negativamente das cadeias poliméricas, contribuindo para a estabilização da matriz por interações fracas de Van der Waals e ligações de hidrogênio. Em contrapartida, pectinas com alto grau de esterificação (DE > 50%) apresentam menores interações eletrostáticas e menor atividade de água, resultando em cadeias poliméricas agregadas de diferentes tamanhos.

Filmes a base de pectina em geral apresentam caráter biodegradável e biocompatível, bem como boas capacidades de barreira a oxigênio. Contudo, seu uso como embalagens alimentícias se torna limitado uma vez que as propriedades de barreira a água e alta hidrofilicidade impedem seu uso em matrizes de alta umidade e teor de água (Ribeiro *et al.*, 2021; Nguyen *et al.*, 2022). Para contornar estes problemas, a incorporação de compostos bioativos e outros polímeros na solução formadora de filme pode resultar em um material com propriedades antioxidantes, propriedades mecânicas e de barreira mais variadas e com maior campo de aplicação como embalagens (Yang *et al.*, 2024).

2.5 β - GLUCANA

β -glucanos são polissacarídeos constituídos de monômeros de D-glucose linkados por ligações β -glicosídicas, sendo encontradas em diversas fontes naturais de origem cereal ou não (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2022). As β -glucanas de diferentes fontes apresentam naturalmente diferentes pesos moleculares e atividade biológica. β -glucana (BG) de origem cereal apresentam em sua maioria ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$, ao passo que as BG de origem fúngica ou bactericida podem apresentar ligações $(1-3)(1-4)$ ou $(1-3)(1-6)$. A BG é um polissacarídeo solúvel em água, exceto quando extraído a partir de cogumelos, onde se encontra em frações insolúveis (Joshi *et al.*, 2024).

A β -glucana vem atraindo atenção devido ao caráter bioativo e terapêutico, atendendo os requisitos de ação antibacteriana, anti inflamatória, redução de colesterol e melhora na cura de ferimentos. Ainda, Razzaq *et al.* (2016) apresentou o potencial de formação de filmes de BG e outros polímeros com propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água moderadas, abrindo espaço para a melhora das características dos filmes de BG com a incorporação de outros polímeros como o CMC.

Filmes comestíveis compósitos de β -glucana aplicados como revestimento na área alimentícia provaram ser efetivos na melhora das propriedades de barreira a água e estabilidade térmica, conferindo maior tempo de vida de prateleira em maçãs recém colhidas, sem perda sensorial das mesmas (Joshi *et al.*, 2024). O aumento da quantidade de BG em filmes compósitos resulta em maior número de grupos hidroxila na matriz do filme, aumentando as capacidades de permeabilidade ao vapor de água e a solubilidade em água (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2022). Dessa forma, a incorporação de β -glucana proveniente de cereais permite a obtenção de filmes ativos com maior degradabilidade, apresentando grande interesse na área de embalagens, embora limitando sua aplicação para matrizes com baixo teor de umidade e água.

2.6 CARBOXIMETILCELULOSE

Carboximetilcelulose (CMC) é um polissacarídeo aniônico derivado da celulose. É uma molécula natural linear e solúvel, utilizada na fabricação de hidrogéis, filmes comestíveis e é um importante carregador de ativos nas matrizes em que é incorporado (Vargas-Torrico *et al.*, 2023). Devido ao baixo custo, aliado às suas propriedades de biocompatibilidade, biodegradabilidade e formação de filme, é um dos polissacarídeos mais utilizados na indústria de desenvolvimento de embalagens funcionais. Contudo, a aplicação de filmes de CMC puro

é limitada em função das pobres propriedades mecânicas e de barreira de vapor de água (Ezati *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2022).

Filmes baseados em CMC costumam apresentar caráter transparente e flexível, contribuindo para sua aplicabilidade como revestimento e embalagens, embora apresente limitações quanto às propriedades de barreira óptica (Riahi *et al.*, 2022). Quando comparado a filmes baseados em amido, filmes de CMC tendem a apresentar maior resistência a tração e menor alongamento na ruptura (Yildirim-Yalcin *et al.*, 2022).

A carboximetilcelulose (CMC) permite tanto interações hidrofílicas quanto hidrofóbicas com outros biopolímeros, resultando em um ingrediente potencial na formulação de filmes destinados a coberturas e embalagens carregadas com compostos ativos hidrofílicos, como no caso de extratos ricos em polifenóis oriundos de fontes vegetais (Vargas-Torrico *et al.*, 2023; Hen *et al.*, 2022). A incorporação de materiais funcionais à matrizes de CMC permite que o produto final apresente propriedades melhores em relação a sua aplicabilidade como embalagem ativa, desde a capacidade antioxidante proveniente da incorporação de extratos bioativos de resíduos vegetais até melhores propriedades mecânicas e de barreiras devido a incorporação de proteínas e outros estruturantes (Vargas-Torrico *et al.*, 2023; Yildirim-Yalcin *et al.*, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os frutos íntegros do maracujá amarelo (*Passiflora Edulis f. Flavicarpa*) foram comprados no Mercado Municipal (Poços de Caldas, MG, Brasil). Glicerol foi comprado de *Synth* (Diadema, SP, Brasil). Carboximetilcelulose (CMC) com grau de substituição de 0,9 grupos carboximetil por grupo de glucose anidro, 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)-diammonium salt (ABTS), reagente Folin-Cocalteu, ácido gálico e 6-hydroxy-2578-tetramethylchro man-2-carboxylic acid (Trolox) foram comprados de *Sigma-Aldrich Company* (Cotia, SP, Brasil). Pectina cítrica foi obtida de *Adicel* (Belo Horizonte, MG, Brasil). β -Glucana de aveia foi comprada de *Nutramax* (Catanduva, SP, Brasil). Os demais solventes e reagentes utilizados foram de grau analítico.

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

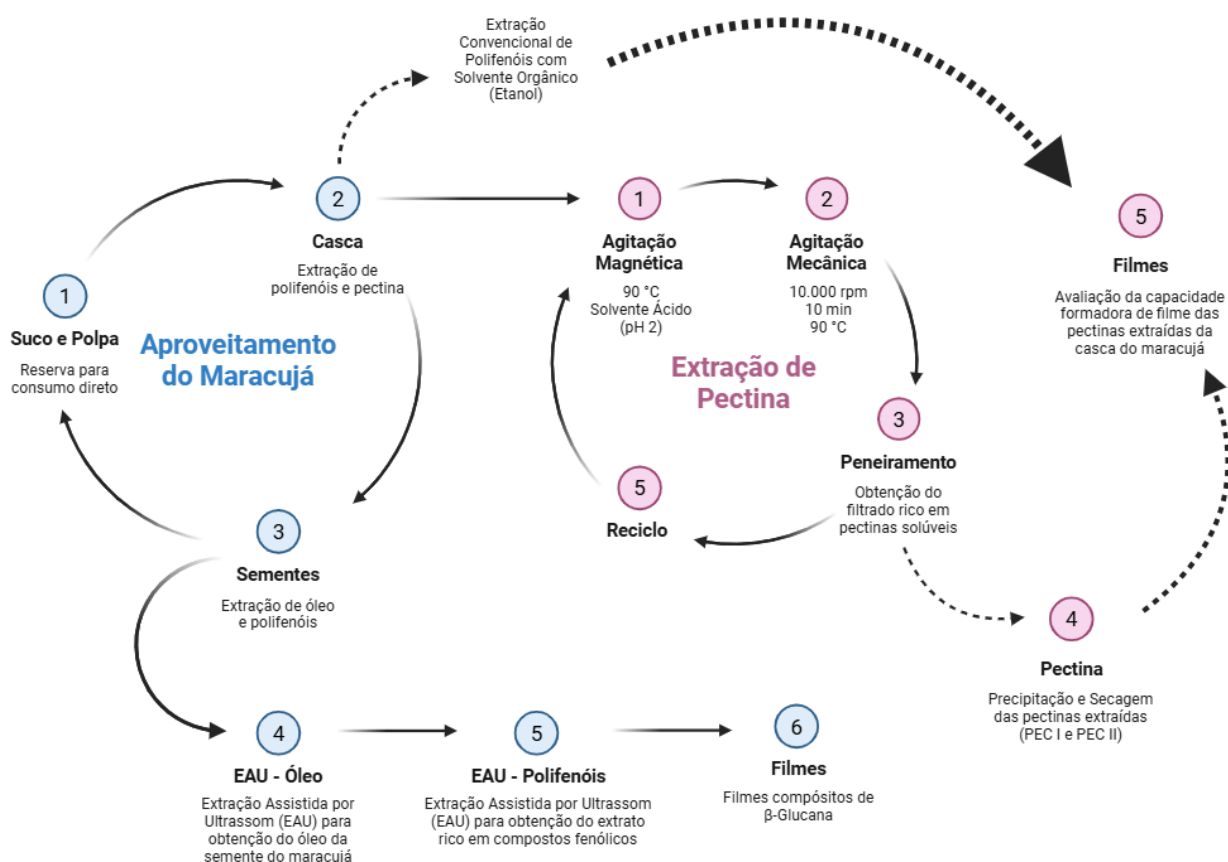
Para a confecção dos filmes, e visando também o reaproveitamento integral dos resíduos de maracujá, utilizou-se da casca para a obtenção de compostos fenólicos e pectina, e usou-se das sementes para a obtenção de óleo essencial e compostos fenólicos. O fluxograma apresentado na Figura 1 mostra o destino e tratamento de cada parte do maracujá.

3.2.1 Preparo e tratamentos da farinha da casca do maracujá

Após a despolpa da fruta *in natura*, separou-se as cascas do maracujá para fragmentação em pequenos pedaços. Em seguida, as cascas cortadas passaram por uma trituração em blender (60% de amplitude) até a obtenção de uma massa úmida homogênea. Essa massa foi seca em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 40 °C por 24 horas, seguida de uma secagem a 60 °C por mais 3 horas. Por fim, o material seco foi novamente triturado em blender (60% de amplitude) até a obtenção de uma farinha homogênea. O material em pó foi armazenado em embalagens plásticas e selado a vácuo para posterior uso. Os tratamentos destinados à farinha da casca do maracujá visaram a obtenção

de compostos bioativos e pectina para a fabricação dos filmes. O aproveitamento integral do fruto do maracujá e seu uso na confecção dos filmes é resumido na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de reaproveitamento do maracujá amarelo



Fonte: Autor (2025).

3.2.2 Extração convencional de compostos bioativos da farinha da casca de maracujá

A farinha da casca do maracujá obtida foi submetida à extração de compostos bioativos em Etanol (50% v/v) em uma relação de solvente/soluto de 20:1.

A extração procedeu sob agitação magnética a 300 rpm a 50 °C por 3 horas, sendo retiradas alíquotas de 1 mL a cada 5 minutos nos primeiros 30 minutos de extração e a cada 10 minutos no restante do processo. As alíquotas foram armazenadas em microtubos sob refrigeração até realização das análises de teor de compostos fenólicos totais (TPC) em termos de Ácido Gálico Equivalente ($\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$). O processo foi realizado em duplicata.

3.2.3 Extração sequencial de pectina da casca de maracujá assistida por agitador mecânico

A farinha seca da casca de maracujá resultante da extração de compostos bioativos foi acrescida de solução ácida (pH 2) em proporção 10:1 (m/m). O volume de extração foi colocado em béqueres de 1 Litro e submetidos à agitação magnética até atingir uma temperatura de 90 °C.

Após atingir a temperatura de extração de 90 °C, o volume de extração foi colocado ainda em placa de aquecimento sob agitação mecânica a 10.000 rpm por 10 minutos. A massa obtida foi peneirada e o filtrado foi lavado com Álcool Etílico Absoluto em razão 2:1 para a precipitação da pectina. A pectina precipitada nesta etapa foi nomeada como PEC I e submetida à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C por 24 horas.

O material retido no peneiramento foi sequencialmente acrescido de solução ácida e submetido ao mesmo procedimento de extração descrito. A pectina precipitada nesta fase foi nomeada como PEC II e seca nas mesmas condições anteriores. As pectinas extraídas com e sem o reciclo mássico no processo foram misturadas em proporções iguais e, acrescidas do extrato fenólico em diferentes concentrações, utilizadas no preparo dos filmes. A massa resultante foi descartada.

3.2.4 Preparo e tratamentos das sementes do maracujá

Inicialmente, as sementes foram separadas da polpa por lavagem com água destilada. As sementes foram secas em temperatura ambiente até remoção parcial da água de lavagem. O material seco foi submetido a homogeneização em blender até obtenção de uma massa particulada, que foi então seca em temperatura ambiente por 2 horas. O material foi armazenado em refrigerador até posterior uso.

3.2.5 Extração sequencial de óleo essencial da semente do maracujá assistida por ultrassom

As sementes trituradas e secas foram pesadas e reservadas. A extração sequencial foi planejada para uma razão entre solvente/soluto de 20:1, realizada 5 vezes em sequência. O solvente utilizado foi Álcool Etílico Absoluto e as condições de extração foram de 10 minutos

sob amplitude de 80% em ultrassom, sendo retiradas alíquotas de 1 mL do extrato para posterior análise de teor de fenólicos totais (TPC).

Foram pesadas 6 gramas de material seco, que foi adicionado de 120 gramas de solvente a 30 °C em um béquer. O sistema foi submetido a ultrassonicagem (80% de amplitude) por 10 minutos, sem controle da temperatura. Após a primeira extração, o material sólido foi filtrado e retornou ao sistema adicionado de novas 120 gramas de solvente renovado e isento de soluto. Repetiu-se essa sequência por 5 vezes, implicando em uma relação de solvente-alimentação de 100:1.

3.2.6 Extração sequencial de compostos bioativos da semente de maracujá assistida por ultrassom

O material sólido resultante da extração de óleo essencial do maracujá foi reservado e seco a temperatura ambiente. A massa seca foi adicionada de solvente Álcool Etílico Absoluto (50% v/v) e submetido à extração de compostos bioativos assistido por ultrassom, em proporção 20:1 de solvente/soluto. O solvente foi mantido a 30 °C por banho de água.

Inicialmente, 3 gramas de material sólido foi acrescido de 60 gramas de solvente a 30 °C. O sistema foi submetido a extração assistida por ultrassom (80% de amplitude) em intervalo inicial de 2,5 minutos por duas vezes e, em seguida, em intervalos de 5 minutos até completar um tempo total de 1 hora de extração. O solvente foi renovado em mesma quantidade após cada intervalo de tempo já definido, e a extração prosseguiu sob as mesmas condições. Dessa forma, foi realizada um total de 13 extrações sequenciais, resultando em uma relação global de sólido-solvente igual a 1:260.

Alíquotas de 1 mL foram retiradas em intervalos de tempo definidos, sendo retornados ao sistema o mesmo volume de solvente à 30 °C. As amostras recolhidas foram armazenadas em microtubos sob refrigeração, até posterior análise de Teor de Compostos Fenólicos Totais (TPC).

3.2.7 Análise do teor de compostos fenólicos totais (TPC)

As alíquotas retiradas dos extratos contendo óleo essencial do maracujá foram nomeadas com o índice E (extrato etanólico), e as alíquotas retiradas dos extratos de bioativos

foram nomeadas com o índice EA (extrato aquoso contendo etanol). Todas as alíquotas foram submetidas à análise de compostos fenólicos totais em espectrômetro de microplacas.

Os poços das microplacas foram adicionados de 25 μL de amostra e/ou padrão (água destilada), seguido de 25 μL de reagente Folin Ciocalteu (50% v/v) e por fim 200 μL de solução Na_2CO_3 (5% m/v). Cada alíquota foi colocada em duplicata. A placa foi incubada por 20 minutos, a temperatura ambiente, no escuro. Após a incubação, foi realizada a leitura da absorbância a 760 nm.

Para as alíquotas de óleo essencial do maracujá, foi adotado um fator de diluição de 5. Para as alíquotas de extrato de bioativos, um fator de diluição de 10 foi adotado para os primeiros 2 pontos amostrais, um FD de 5 para as alíquotas retiradas até 20 minutos de extração e nenhuma diluição para as demais amostras.

Os resultados são apresentados em termos de massa de Ácido Gálico Equivalente por volume de extrato ($\mu\text{g AGE/mL}$).

3.2.8 Análise do teor de Ácido Galacturônico da pectina

O teor de ácido galacturônico (GalA) foi determinado pelo método colorimétrico de m-hidroxifenil, de acordo com a metodologia de Blumenkrantz; Gustav (1973), com modificações. A curva padrão de ácido galacturônico foi construída a partir da solubilização de 20 mg de padrão de ácido galacturônico em 40 mL de água deionizada. A solução foi diluída em concentrações variando de 12,5 a 200 $\mu\text{g.mL}^{-1}$. Foi realizada a leitura da absorbância a 520 nm em um espectrofotômetro de microplacas.

Uma solução de pectina de 200 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ foi feita a partir da solubilização de 20 mg de pectina (PEC I e PEC II) em 100 mL de água deionizada, sob aquecimento brando em banho de água. Em triplicata, foram adicionados 200 μL de solução de pectina em tubos de vidro rosqueados, seguido da adição de 1 mL de solução de tetraborato de sódio 0,0125 M em ácido sulfúrico concentrado. Os tubos foram agitados em vórtex e aquecidos em banho termostático a 90°C por 5 minutos. Após aquecimento, os tubos foram imediatamente inseridos em banho de gelo por 10 minutos. Adicionou-se 20 μL de solução de 3-phenylphenol 0,15% em NaOH 0,5% em cada tubo de vidro, agitando em vórtex por 15 segundos. Alíquotas de 250 μL das soluções dos frascos de vidro foram pipetadas para os poços da microplaca. Foi realizada a leitura da absorbância a 520 nm.

3.2.9 Preparo dos filmes pelo método *Casting*

Os filmes comestíveis foram produzidos a partir de resíduos do maracujá com o emprego do método de *solvent casting*. Inicialmente foi realizado o estudo da pectina extraída da casca do maracujá em filmes contendo água como fase aquosa e também extrato bioativo da casca do maracujá em diluições de 25 , 50 e 75%. O agente plasticizante utilizado foi a Glicerina P.A.

A avaliação da capacidade formadora de filme das pectinas do maracujá foi realizada com a seguinte solução formadora de filmes: 3% de pectina (blenda das duas pectinas extraídas em proporções iguais), 1,2% de glicerina e 95,8% de fase aquosa (água destilada ou extrato fenólico das cascas do maracujá). Todas as proporções são dadas em massa. A solução foi colocada em béqueres de 250 mL e cobertos com plástico filme. O sistema foi mantido a 80 °C por 30 minutos, sob agitação magnética de 400 rpm. A variação de volume decorrente da evaporação da fase aquosa foi corrigida completando o volume original com água destilada seguida de homogeneização por agitação. Foram vertidas 25 gramas da solução em placas petri descartáveis, submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C por 24 horas. Após este período, os filmes foram desinformados e armazenados em envelopes de papel alumínio, colocados em dessecador com sílica até estabilização da matriz e posteriores análises.

A segunda parte do estudo de formação de filmes foi realizada a partir da adição de beta-glucana na solução formadora de filmes, bem como a adição de agentes estruturantes comerciais como a pectina cítrica e carboximetilcelulose (CMC).

As formulações de filmes de pectina cítrica foram compostas por 1,5% de beta-glucana, 1,5% de pectina comercial, 1,2% de glicerina e 95,8% de fase aquosa (em massa). As fases aquosas utilizadas foram diluições do extrato de bioativos da semente do maracujá (100, 60 e 30%) e o controle (água destilada). Os filmes foram plaqueados nas mesmas condições anteriores, mas com massa de 23 gramas em cada placa.

As formulações de filmes de carboximetilcelulose (CMC) foram compostas por 1,5% de beta-glucana, 1,5% de CMC, 1,2% de glicerina e 95,8% de fase aquosa (em massa). As fases aquosas utilizadas foram diluições do extrato de bioativos da semente do maracujá (100, 60 e 30%) e o controle (água destilada). Os filmes foram plaqueados nas mesmas condições anteriores, mas com massa de 23 gramas em cada placa.

Todas as amostras de filmes foram armazenadas em envelopes de papel alumínio colocadas em dessecador contendo sílica até estabilização da matriz e segregadas para análises posteriores.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES E INGREDIENTES

3.3.1 Espessura dos filmes

A espessura dos filmes foram medidas com um paquímetro digital de resolução 0,01 milímetros. Foram realizadas quatro medições em posições aleatórias do filme, e a média foi calculada em milímetros.

3.3.2 Morfologia

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi conduzida no instrumento LEO Electron Microscopy modelo Leo 440i (LEO Electron Microscopy Inc., Carl Zeiss NTS GmbH, Oberkochen, Alemanha). As amostras dos filmes foram cortadas conforme demanda do equipamento e revestidas por pulverização com uma mistura de ouro/paládio por 45 segundos, a uma corrente de 20 mA para análise de superfície e seção transversal dos filmes. A análise de varredura foi conduzida com magnificação entre 50 e 1000 vezes.

3.3.3 Coloração e propriedades ópticas dos filmes

A coloração dos filmes foi medida por um colorímetro portátil de refletância modelo CR-400 (Konica Minolta, Japão) usando o padrão CIE 1931. Foi utilizado um fundo branco ($L_0 = 91.95$, $a_0 = 2.54$, $b_0 = -5.22$) para a medição dos índices de luminosidade (L^*), vermelho/verde (a^*) e amarelo/azul (b^*). A medição foi realizada em triplicata, em 3 posições aleatórias dos filmes (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023). A varredura óptica foi realizada na faixa de 200 a 1000 nm, com resolução de 20 nm.

3.3.4 Solubilidade em água

A solubilidade dos filmes em água foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Vargas-Torrico (2022), com modificações. Amostras de filmes com dimensão de 2 cm x 2 cm foram secas em estufa a 105 °C por 12 h. Os filmes foram imersos em béqueres contendo 50 mL de água destilada em temperatura ambiente (25 °C), submetidos a agitação magnética constante por 1 hora. Após este intervalo, as soluções foram filtradas a vácuo em papel filtro e secos sob as mesmas condições iniciais. A solubilidade em água (S) foi calculada a partir da variação das massas segundo a equação 1:

$$S (\%) = \frac{MS_i - MS_f}{MS_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde MS indica a massa seca do material e os subíndices i e f indicam as condições inicial e final, respectivamente.

3.3.5 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água foi medida via metodologia padrão (ASTM E96-E96M - 22). Um dessecador teve seu fundo preenchido com água destilada à temperatura ambiente (25 °C) e reservado. Tubos vial de vidro com tampa de seção rosqueada seccionada foram adaptadas em cápsulas de medição de permeabilidade. Cloreto de Cálcio anidro foi colocado no interior das cápsulas, e os filmes cortados em círculos de 2 cm de diâmetro foram colocados no bocal das cápsulas, fixados pela tampa rosqueada com seção aberta de 1.5 cm de diâmetro.

As cápsulas foram colocadas dentro do dessecador contendo água, e fez-se medições periódicas em intervalos de 1 hora das massas das cápsulas, finalizadas por uma medição após 24 horas de exposição à atmosfera controlada do dessecador.

A taxa de transmissão de vapor de água (TTVA) foi obtida pela inclinação da reta de ganho de massa das cápsulas em função do tempo (g.h^{-1}) dividida pela área de seção aberta das cápsulas (m^2).

$$TTVA = \frac{G}{t \times A} \quad (2)$$

A permeância ao vapor de água foi calculada pela razão entre a taxa de transmissão de vapor de água e o diferencial de pressão entre a cápsula de medição e a atmosfera do dessecador. Pelo método da água, admite-se que o diferencial de pressão é dado pelo produto da pressão de vapor na saturação da água adicionada ao dessecador e a diferença das umidades relativas nos volumes de controle - 0% para o interior das cápsulas de medição e 100% para a atmosfera do dessecador). Assim, a permeância ao vapor de água (PVA) é calculada segundo a equação 3:

$$PVA = \frac{WVTR}{S (UR1 - UR2)} \quad (3)$$

Onde S é a pressão de vapor na saturação da água em Pa, $UR1$ é a umidade relativa da atmosfera do dessecador e $UR2$ é a umidade relativa no interior da cápsula de medição.

Por fim, a permeabilidade ao vapor de água foi calculada a partir do produto da espessura dos filmes e a permeância calculada para cada amostra. Os testes foram realizados em duplicata para cada formulação de filme.

3.3.6 Difração de Raios-X (DRX) , Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Análise Termogravimétrica (TGA)

O grau de cristalinidade e grupos funcionais das amostras de filmes comestíveis foram determinados pelas técnicas DRX e FTIR, respectivamente. A análise de difração de raios-x foi realizada utilizando o instrumento Rigaku DMAX (Rigaku Corporation, Tóquio, Japão). As amostras foram colocadas em tubos específicos do instrumento, operando a uma tensão de 30kV. A varredura foi realizada entre os ângulos de 4° a 60°, com resolução de 0.02°. O grau de cristalinidade foi calculado usando o software OriginPro 2024 a partir da relação entre as áreas da região cristalina e total no intervalo angular de 5° a 60°.

Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi realizada utilizando o instrumento Agilent Cary 630 FTIR Spectrometer (Agilent Technologies, Santa Clara, USA). As amostras de filmes foram colocadas no compartimento de exposição ao infravermelho, com varredura entre 600 cm⁻¹ e 4000 cm⁻¹, com resolução de 2 cm⁻¹. Quantidades apropriadas de cada um dos insumos utilizados (glicerina, pectina,

carboximetilcelulose e β -glucana) foram colocados no compartimento de exposição ao infravermelho, com a varredura nas mesmas condições descritas para os filmes.

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada utilizando o modelo Netzsch STA 449F3 Jupiter (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb, Alemanha). As amostras filmogênicas foram cortadas em quadrados de 2 cm x 2 cm e colocadas em cápsulas apropriadas. A faixa de aquecimento empregada foi de 28 °C a 600 °C, com uma taxa de 10 °C.min⁻¹. Quantidades apropriadas de cada um dos insumos utilizados (pectina, carboximetilcelulose e β -glucana) foram colocados nas cápsulas e submetidas ao mesmo tratamento descrito para os filmes.

3.3.7 Propriedades Mecânicas

Os filmes produzidos foram acondicionados em dessecador com umidade relativa de 50% e temperatura de 25 °C por 48 horas. Os filmes foram cortados em dimensões de 30 milímetros de comprimento por 10 milímetros de largura. As amostras foram submetidas a testes de tração para avaliação das propriedades mecânicas, mais especificamente o comportamento tensão-deformação dos corpos. A análise foi conduzida em um Texturômetro modelo TAXTplus (TA Instruments, New Castle, EUA), a uma taxa de tração de 1 mm.s⁻¹. Foram realizados testes em no mínimo duplicata para cada formulação de filme.

3.3.8 Atividade Antioxidante dos Filmes

Frações de 0,5 gramas de cada filme foram solubilizados em 25 mL de água destilada utilizando um agitador magnético por 10 minutos a 60 °C. As soluções foram analisadas por Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC - *Trolox Equivalent Antioxidant Capacity*) e por Poder Antioxidante Redutor do Ferro (FRAP - *Ferric Reducing Antioxidant Power*).

3.3.8.1 Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC)

A análise de Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC) foi realizada seguindo a metodologia de Re Pelegrini (1999) com modificações. A solução de radical

ABTS^{•+} foi preparada misturando 5 mL de solução ABTS (7 mM em água) com 88 µL de solução de persulfato de potássio (140 mM). A mistura foi armazenada no escuro por 16 horas. A solução de trabalho foi preparada pela correção da solução ABTS^{•+} preparada anteriormente com água ultrapura, até atingir o valor de absorbância de $0,70 \pm 0,02$ a 734 nm.

Para cada amostra, 40 µL das soluções de filmes solubilizados foram misturados com 200 µL da solução de trabalho ABTS^{•+} e incubados por 6 minutos em temperatura ambiente. A absorbância foi medida a 734 nm usando um leitor de microplacas SpectraMax Mini (Molecular Devices, United States of America), onde o branco utilizado foi apenas 240 µL de água destilada. Uma curva de calibração utilizando Trolox (5 - 150 µmol/L, $R^2 = 0,997$) foi preparada e os resultados foram expressos em µmol de Trolox Equivalente (TE/g) de filme. As amostras foram analisadas em triplicata.

3.3.8.2 Poder Antioxidante Redutor do Ferro (FRAP)

A análise de Poder Antioxidante Redutor do Ferro (FRAP) foi realizada seguindo a metodologia de Benzie; Strain (1996) com modificações. O reagente FRAP foi preparado misturando tampão acetato 300 mM (pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) 10 mM em ácido clorídrico 40 mM, e cloreto férrico 20 mM, na proporção 10:1:1 (v/v/v), respectivamente. Alíquotas de 20 µL da solução amostral (filmes solubilizados) foram misturados com 180 µL de solução FRAP recém preparada e 60 µL de água destilada. A absorbância foi medida a 593 nm utilizando um leitor de microplacas SpectraMax Mini (Molecular Devices, United States of America), após incubação a 37 °C por 30 minutos. Uma curva de calibração utilizando Trolox (25 - 400 µmol/L, $R^2 = 0,997$) foi preparada e os resultados foram expressos em µmol TE/g de filme.

4 RESULTADOS

4.1 EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA FARINHA DA CASCA DE MARACUJÁ

A análise do teor de compostos fenólicos totais - TPC - das alíquotas retiradas do processo de extração convencional de bioativos da casca do maracujá são apresentadas resumidamente na Tabela 1. A alíquota referente ao tempo zero indica os compostos fenólicos imediatamente disponíveis para extração em solução alcóolica, tomado a partir da sutil agitação do sistema imediatamente após adição do material seco na solução. O coeficiente de variação elevado é característico de processos de extração de matrizes vegetais, decorrente da heterogeneidade natural na distribuição dos compostos fenólicos no material seco.

Tabela 1 - Teor de compostos fenólicos totais (TPC) durante a extração convencional da casca de maracujá

Tempo (min)	TPC ($\mu\text{g.AGE/mL}$)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variância (%)
0	18,690	16,724	89,484
5	66,146	0,091	0,138
15	74,187	10,522	14,183
20	76,188	2,766	3,631
25	79,628	9,427	11,839
40	89,475	4,381	4,896
50	91,304	15,812	17,318
60	94,163	7,115	7,556
80	93,239	1,674	1,795
110	92,765	0,668	0,720
110	92,765	3,528	3,803
140	94,616	1,916	2,025
160	98,368	6,568	6,677
180	92,228	4,987	5,408

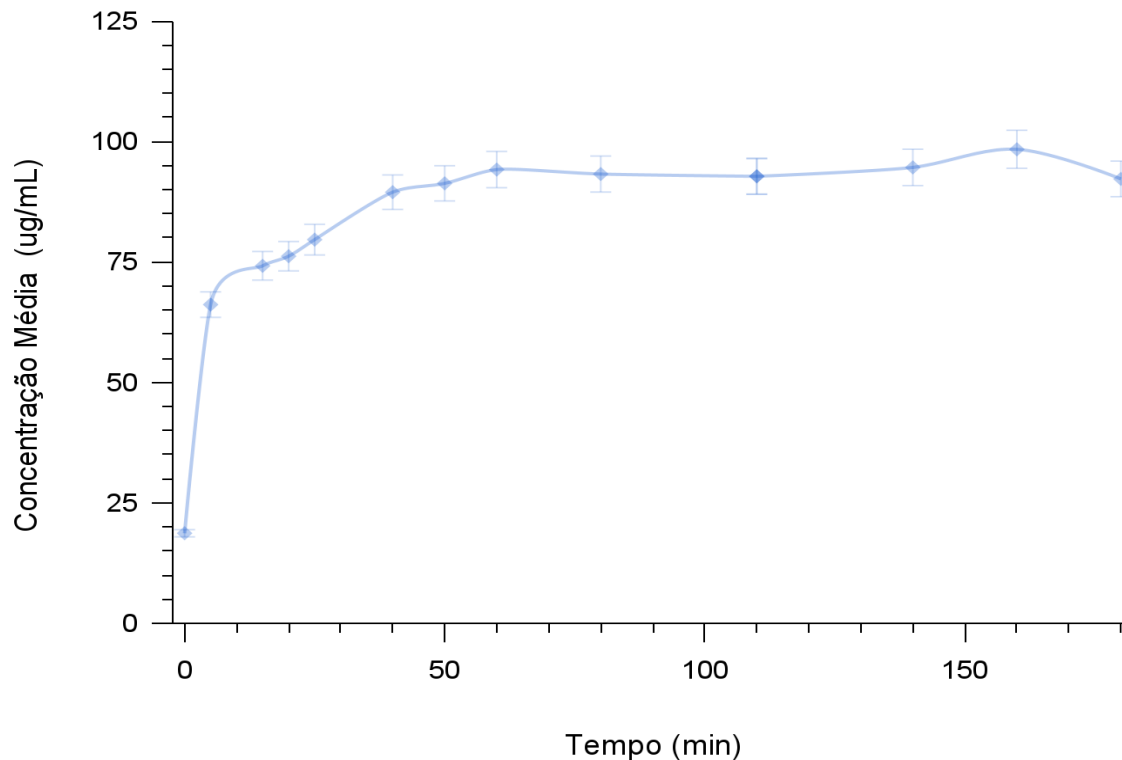
Fonte: Autor (2025).

Legenda: AGE - Ácido gálico equivalente.

Observa-se que quase dois terços dos compostos fenólicos passíveis de extração convencional são obtidos nos primeiros cinco minutos de extração, enquanto que nos 35 minutos seguintes a extração se dá de maneira mais lenta até atingir uma quantidade média de $90 \mu\text{g.mL}^{-1}$ AGE. A extração por períodos maiores que 40 minutos é impraticável. Primeiro devido ao longo tempo de extração para se obter o máximo possível de compostos fenólicos e, segundo, porque a extração por mais 2 horas após os 40 minutos resulta em uma concentração de apenas $10 \mu\text{g.mL}^{-1}$ AGE a mais que o obtido em menor tempo. A plotagem do perfil de extração é apresentada na Figura 2.

Admitindo-se que o objetivo principal é incorporar compostos ativos nas matrizes de biofilmes, o ideal é realizar a extração de compostos fenólicos da casca de maracujá por 40 minutos, seguindo os procedimentos convencionais. Dessa forma, é possível a obtenção de maiores volumes de extrato, compensando a menor quantidade de compostos fenólicos obtidos.

Figura 2 - Curva de extração de compostos fenólicos totais (TPC) da casca de maracujá ao longo do tempo, utilizando o método convencional com etanol 50% (v/v).



Fonte: Autor (2025).

4.2 EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA SEMENTE DE MARACUJÁ

As análises de compostos fenólicos totais - TPC - são apresentadas na Tabela 2 em termos de ácido gálico equivalente ($\mu\text{g.mL}^{-1}$ AGE) para as alíquotas retiradas na extração assistida por ultrassom do óleo das sementes do maracujá. A alíquota referente à primeira extração de 10 minutos não foi analisada por espectrometria devido à turbidez da amostra. Para as outras extrações sequenciais, observou-se que mesmo com solvente alcoólico há significativa extração de compostos fenólicos em adição ao óleo extraído. Essa informação permite supor com segurança que as sementes de maracujá apresentam teores muito maiores de bioativos em comparação com a casca do maracujá, uma vez que a extração permitiu a obtenção de extratos com quase dois terços do máximo possível de se obter com a casca de maracujá. O perfil cumulativo da extração de óleo da semente de maracujá (Figura 3) mostra também que é possível continuar obtendo compostos fenólicos à medida que mais etapas sequenciais são realizadas.

Tabela 2 - Teor de compostos fenólicos totais (TPC) durante a extração assistida por ultrassom do óleo das sementes de maracujá cumulativo (superior) e pontual (inferior).

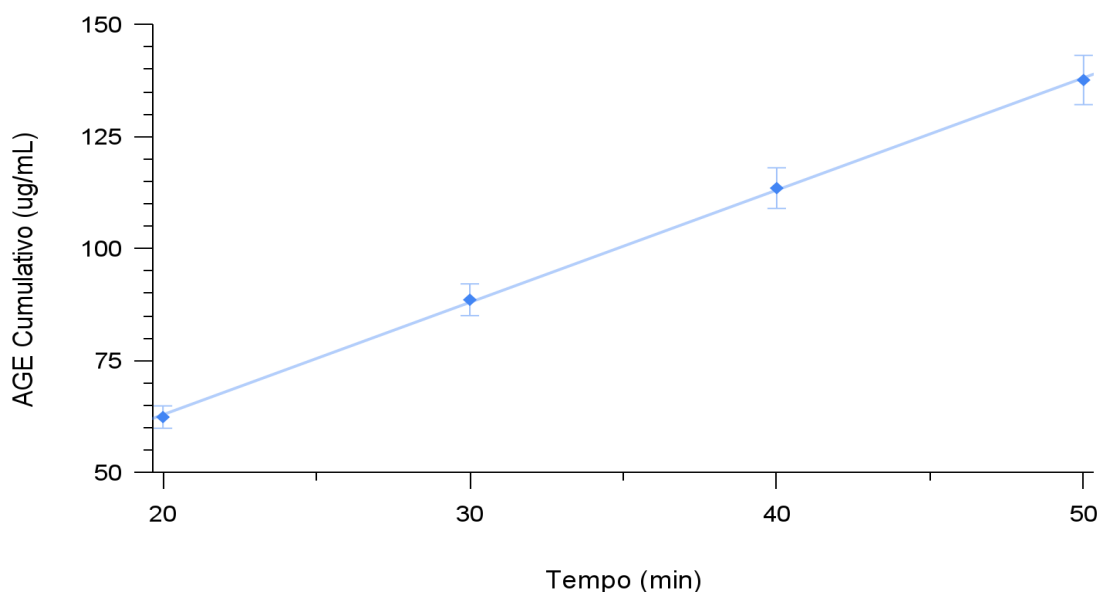
Tempo (min)	TPC Cumulativo ($\mu\text{g/mL AGE}$)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variância (%)
20	62,390	7,541	12,086
30	88,577	6,896	7,786
40	113,498	8,617	7,592
50	137,627	11,474	8,337

Tempo (min)	TPC ($\mu\text{g/mL AGE}$)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variância (%)
20	62,390	7,541	12,086
30	26,187	0,644	2,460
40	24,922	1,720	6,903
50	24,129	2,857	11,843

Fonte: Autor (2025).

Legenda: AGE - Ácido gálico equivalente.

Figura 3 - Perfil cumulativo de compostos fenólicos totais (TPC) durante extração sequencial assistida por ultrassom do óleo das sementes do maracujá



Fonte: Autor (2025).

Legenda: AGE - Ácido gálico equivalente.

Partindo para a extração de bioativos da semente do maracujá com solvente orgânico, seguiu-se os mesmos procedimentos anteriores. Alíquotas de 1 mL foram retiradas no final de cada intervalo, sendo retornado ao sistema o mesmo volume de solvente virgem. As análises de TPC para as alíquotas são apresentadas na Tabela 3 em termos de ácido gálico equivalente ($\mu\text{g.mL}^{-1}$ AGE).

A extração assistida por ultrassom das sementes do maracujá permitiu a obtenção de um extrato com quase três vezes mais compostos fenólicos do que o extrato obtido da casca do maracujá. Não somente, o tempo de extração no qual isso foi possível é 16 vezes menor do que quando comparado com a extração convencional. Comparando as duas primeiras sequências de extração, observa-se que para uma diferença de 2.5 minutos entre as extrações o extrato obtido representa quase que a metade do primeiro extrato, sendo que essa quantidade de compostos fenólicos extraídos na segunda etapa só é alcançada novamente após 20 minutos de extração. Isso indica que a escolha das sementes de maracujá como fonte de compostos fenólicos para incorporação nos biofilmes foi adequada, uma vez que em apenas 5 minutos de extração obtém-se extratos 4 vezes mais ricos em bioativos do que os extratos obtidos após 40 minutos de extração das cascas de maracujá.

Tabela 3 - Teor de compostos fenólicos totais (TPC) durante a extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das sementes de maracujá

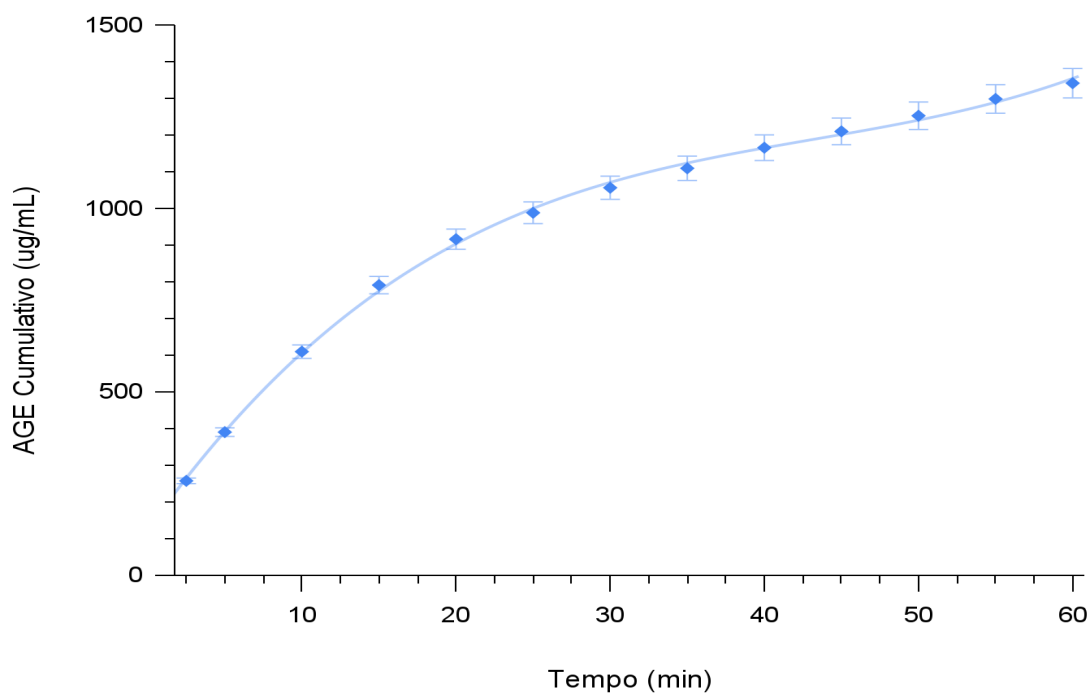
Tempo (min)	TPC ($\mu\text{g/mL AGE}$)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
2,5	256,452	10,155	3,96
5	132,835	5,609	4,22
10	219,464	33,081	15,07
15	181,388	30,619	16,88
20	125,225	18,492	14,77
25	36,001	0,000	0,00
30	34,088	0,000	0,00
35	53,004	9,617	18,14
40	56,168	0,898	1,60
45	44,525	11,816	26,54
50	42,628	4,707	11,04
55	45,811	4,161	9,08
60	43,041	6,457	15,00

Fonte: Autor (2025).

Legenda: AGE - Ácido gálico equivalente.

O perfil de extração pontual mostra que o tempo de extração mais adequado é de 20 minutos, após o qual a concentração dos extratos cai expressivamente. O perfil cumulativo para um tempo de extração de 1 hora mostra que, embora a quantidade de bioativos extraída seja pequena em comparação com os valores iniciais, ainda há extração de compostos fenólicos após 60 minutos. Contudo, a partir de 20 minutos - ou 5 etapas sequenciais de extração - o aumento cumulativo é mais lento, o que indica um ponto de parada da operação. A plotagem do perfil cumulativo é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Curva de extração cumulativa de compostos fenólicos totais (TPC) das sementes de maracujá (após extração do óleo) utilizando etanol 50% (v/v) assistida por ultrassom.



Fonte: Autor (2025).

Legenda: AGE - Ácido gálico equivalente.

Tabela 4 - Teor de compostos fenólicos totais (TPC) nas diferentes misturas de extratos obtidos em diferentes tempos de extração por ultrassom das sementes de maracujá.

MIX	TPC _a (µg/mL AGE)	AGE _b (µg/mL AGE)	TPC (µg/mL AGE)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
A	198,221	200,364	199,293	1,515	0,760
B	213,226	168,210	190,718	31,831	16,690
C	191,790	191,790	191,790	0,000	0,000
D	29,096	24,059	26,578	3,562	13,401

Fonte: Autor (2025).

Legenda: A - Mistura de extratos extraídos entre 2,5 e 10 minutos;

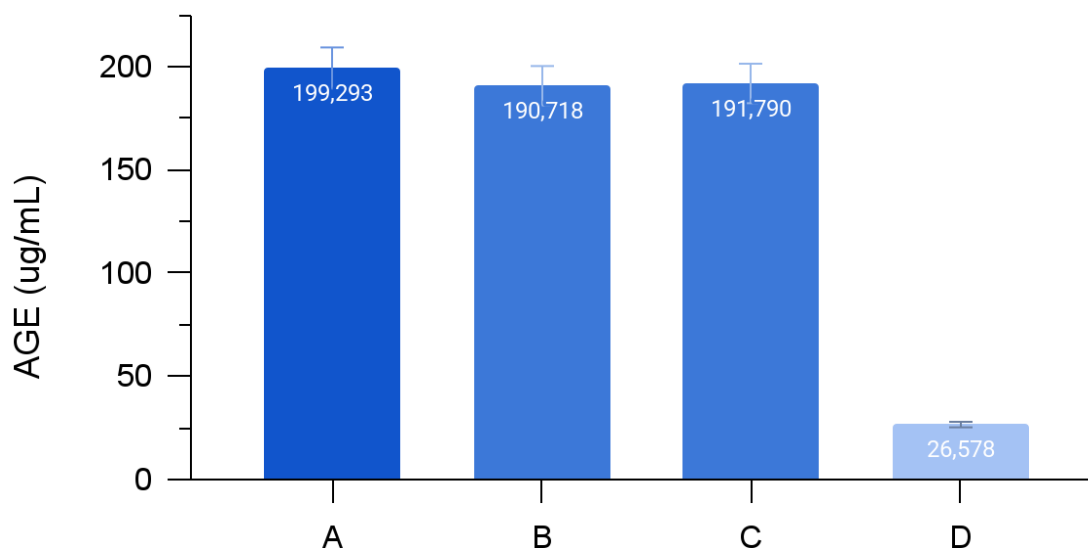
B - Mistura de extratos extraídos entre 2,5 e 15 minutos;

C - Mistura de extratos extraídos entre 2,5 e 20 minutos;

D - Mistura de extratos extraídos entre 20 e 60 minutos.

Para a incorporação dos extratos na formulação dos filmes, optou-se pela escolha dos extratos obtidos por ultrassom. Assim sendo, de maneira a se aproveitar ao máximo a quantidade extraída, fez-se os ensaios de TPC para diversas misturas dos extratos de diferentes tempos (Tabela 4). Observa-se que a mistura dos extratos obtidos entre os tempos de 2.5 e 20 minutos variam muito pouco em concentração de ácido gálico equivalente. Assim sendo, visando a maior quantidade de extrato possível sem a perda expressiva de quantidade bioativa o mais ideal é a seleção da mistura de todos os extratos entre 2.5 e 20 minutos. O extrato diluído obtido da mistura dos demais extratos apresenta concentração quase 8 vezes menor que as demais misturas. Embora o volume de diluído seja muito maior, a falta de operações de concentração de compostos fenólicos no extrato inviabiliza o uso deste. A Figura 5 mostra graficamente a similaridade das concentrações de TPC ($\mu\text{g.mL}^{-1}$ AGE) das misturas de extrato.

Figura 5 - Teor de compostos fenólicos totais (TPC) nas diferentes blendas de extratos obtidos em diferentes tempos de extração por ultrassom das sementes de maracujá.



Fonte: Autor (2025).

Legenda: A - Mistura de extratos extraídos entre 2,5 e 10 minutos;
 B - Mistura de extratos extraídos entre 2,5 e 15 minutos;
 C - Mistura de extratos extraídos entre 2,5 e 20 minutos;
 D - Mistura de extratos extraídos entre 20 e 60 minutos.

4.3 EXTRAÇÃO DA PECTINA E TEOR DE ÁCIDO GALACTURÔNICO

Nesta etapa, houve a obtenção de duas pectinas, nomeadas como Pectina I e II. A primeira foi obtida sem a reciclagem de massa no processo, isto é, obtida por um passe único na operação de extração. Já a Pectina II foi obtida após múltiplos passes da massa da farinha da casca de maracujá na operação.

O teor de ácido galacturônico (GalA) foi determinado para as pectinas I e II extraídas da casca do maracujá e também para a pectina cítrica comercial utilizada. A Tabela 5 resume os resultados obtidos para as amostras analisadas. Todas as amostras foram analisadas 6 vezes, e os dados são expressos como uma média $\pm$ desvio padrão.

Tabela 5 - Teor de Ácido Galacturônico (GalA) das pectinas extraídas do maracujá (PMI e PMII) e da pectina cítrica comercial (PCC)

Amostra	GalA (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
PEC I	47,62	2,57	5,40
PEC II	29,89	2,40	8,02
PEC C	74,56	5,14	6,90

Fonte: Autor (2025).

Legenda: PEC I - Pectina extraída do maracujá sem reciclo mássico no processo;
 PEC II - Pectina extraída do maracujá com reciclo mássico no sistema;
 PEC C - Pectina cítrica comercial.

Como pode ser observado, as pectinas extraídas da casca de maracujá apresentam um baixo teor de ácido galacturônico. Considerando que o mínimo teor de GalA de uma pectina potencialmente comerciável é de 65% segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (Reichembach *et al.*, 2021), as pectinas extraídas da casca de maracujá pelo processo descrito na metodologia apresentam limitações de aplicação na confecção de filmes destinados a embalagens, beneficiando-se da combinação com outros biopolímeros. Isto porque o material filmogênico apresentou uma pobre estrutura de filme, bem como um caráter pegajoso e irregular. Assim, a adição de outros polímeros como ingredientes estruturantes pode ser considerada uma alternativa na fabricação de filmes enriquecidos com bioativos oriundos dos resíduos do maracujá. Por fim, observa-se que o reciclo de massa de casca de maracujá durante a operação de extração não é recomendável.

Embora isso permita a obtenção de maiores quantidades de pectina, estas não apresentam composição química vantajosa para aplicações específicas.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS INGREDIENTES

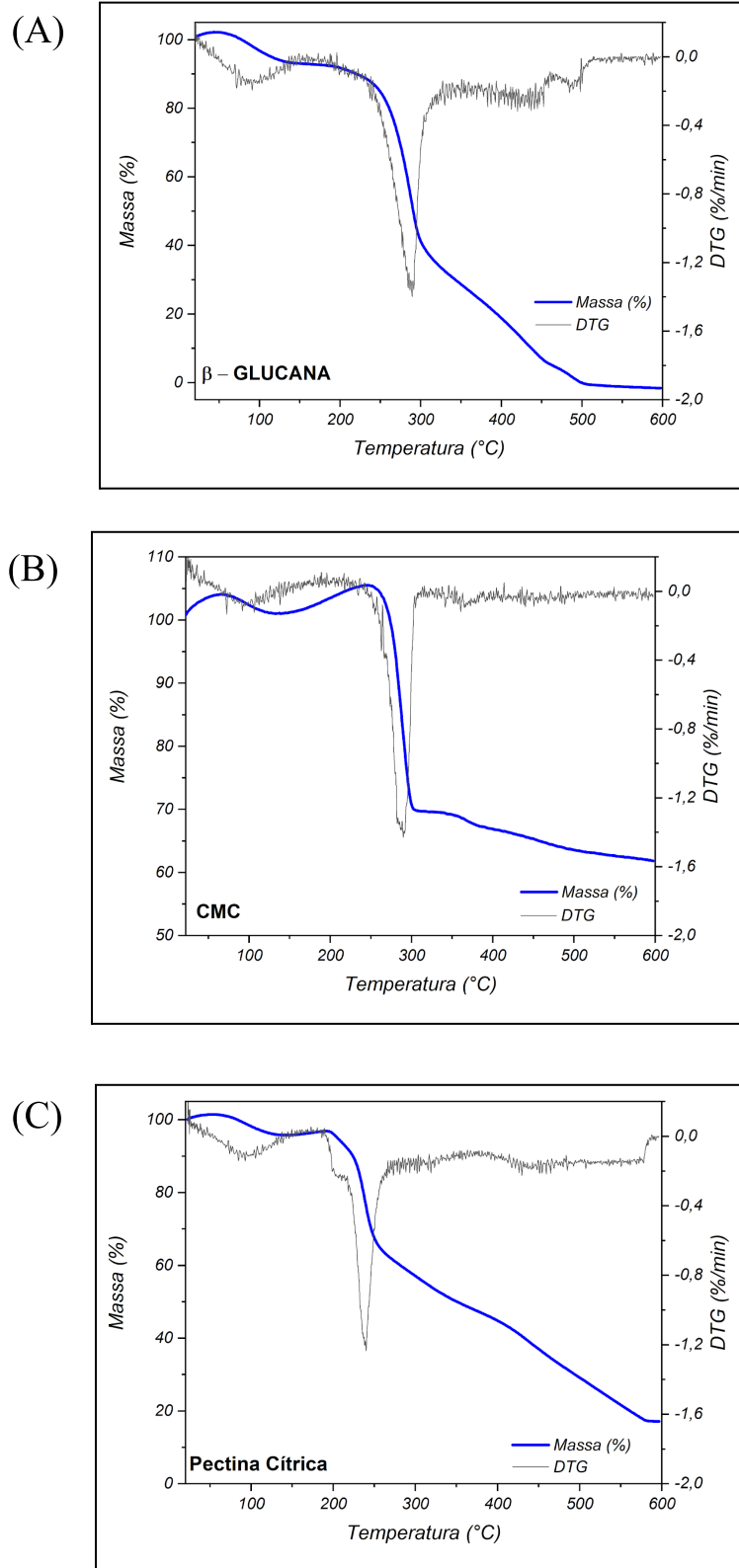
O perfil de estabilidade térmica (Figura 6) obtido para a β -glucana (BG), pectina cítrica (PC) e carboximetilcelulose (CMC) mostra a existência de três regiões de decomposição térmica para a BG e PC. O primeiro estágio corresponde à perda de água livre na matriz (30-90 °C) e água ligada (90-150 °C); o segundo estágio corresponde à decomposição preliminar da matriz (250-310 °C) e o terceiro estágio indica a desidratação das cadeias de polissacarídeos, quebras das ligações C-O e reações de carbonização do polímero (350-600°C) (Wani *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2020).

O percentual mássico perdido no primeiro estágio foi de 13.15% e 7.33% para a BG e pectina, respectivamente. A Figura 6 (C) mostra um aumento irregular do percentual mássico para a CMC. A perda mássica mais significativa, ocorrendo entre 200 °C e 310 °C, foi de 56.02%, 30.42% e 31.35% para BG, CMC e PC, respectivamente. Pode ser observado também que a degradação térmica da pectina cítrica é bem mais expressiva se comparada a CMC, ocorrendo inclusive numa faixa de temperatura menor que os outros ingredientes (210-260 °C), indicativo de que os filmes compósitos de CMC/BG podem ser mais estáveis termicamente.

Comparando o perfil térmico para as pectinas extraídas do maracujá com e sem reciclo mássico no processo de extração (Figura 7), observa-se que o comportamento é semelhante ao da pectina cítrica, embora haja um pseudo-ganho de massa para a amostra de PMI (pectina do maracujá sem reciclo mássico) no primeiro estágio de aquecimento, provavelmente devido às condições atmosféricas e mudanças de densidade devido ao aquecimento; bem como uma degradação completa da PMII (pectina do maracujá com reciclo mássico) ao final do aquecimento a 600 °C, indicativo de que as cadeias de ácido galacturônico são escassas e rapidamente degradadas, resultando numa massa carbonizada muito mais rápido se comparada à pectina cítrica comercial (Wani *et al.*, 2023).

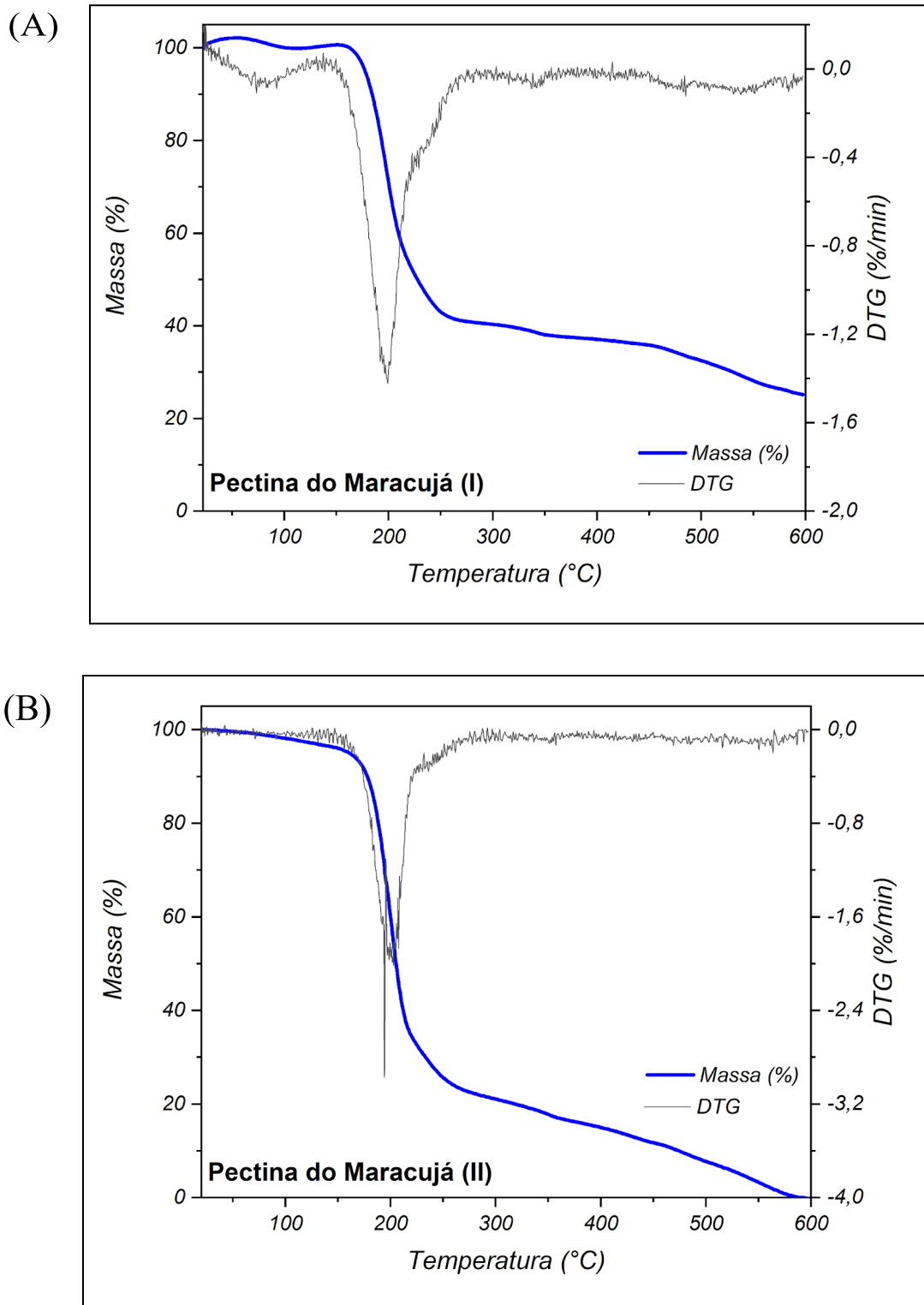
O percentual mássico perdido mais expressivo, indicado pelas faixas de 160-250°C, foram de 58.55% e 72.39% para as pectinas PMI e PMII, respectivamente. Estes valores são quase o dobro do observado para a pectina cítrica comercial, corroborando os resultados obtidos para o teor de ácido galacturônico das pectinas.

Figura 6 - Perfis de estabilidade térmica obtidos para (A) β -glucana, (B) CMC e (C) pectina cítrica



Fonte: Autor (2025).

Figura 7 - Perfis de estabilidade térmica obtidos para (A) Pectina do maracujá I e (B) Pectina do maracujá II

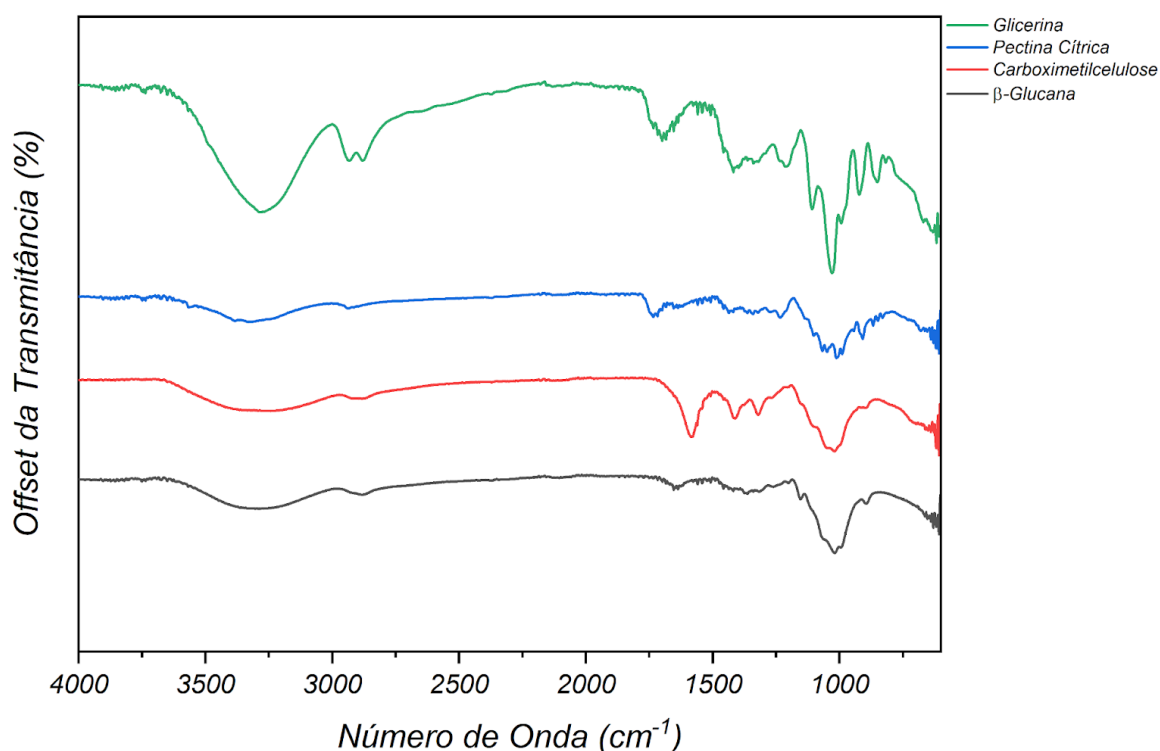


Fonte: Autor (2025).

Legenda: (A) Pectina extraída do maracujá sem reciclo mássico no processo;
(B) Pectina extraída do maracujá com reciclo mássico no processo.

O espectro de infravermelho para os principais ingredientes (Figura 8) mostra os principais grupos funcionais de cada polissacarídeo utilizado na formulação dos filmes. A primeira faixa, compreendida entre 3000-3500 cm^{-1} , corresponde a estiramento de grupos O-H, comum para todas as amostras. Os picos próximos a 2900 cm^{-1} corresponde a vibrações de grupos C-H; a região próxima a 1730 e 1633 cm^{-1} correspondem às vibrações de estiramentos de grupos C=O e carboxilatos ($-\text{COO}^-$), respectivamente. Por fim, região centrada em 1031 cm^{-1} corresponde ao estiramento de grupos C-O-C característico de cadeias de sacarídeos (Suraya *et al.*, 2024; Wani *et al.*, 2023; Sharifi *et al.*, 2021).

Figura 8 - Espectros de FTIR dos ingredientes puros utilizados na formulação dos filmes: β -glucana (BG), carboximetilcelulose (CMC), pectina cítrica comercial (PCC) e glicerol.

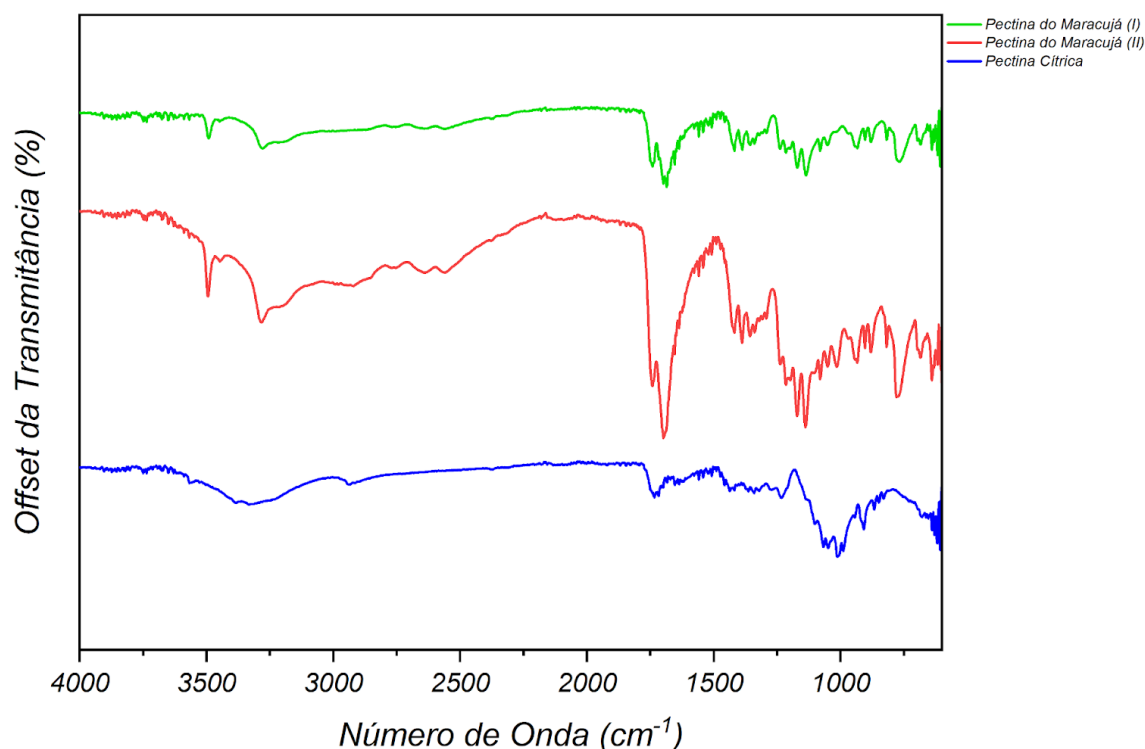


Fonte: Autor (2025).

Para as pectinas extraídas do maracujá, o espectro de infravermelho mostrado na Figura 9 mostra claramente a diferença de grupos funcionais na região centrada em 3300 cm^{-1} . Observa-se que para as pectinas extraídas da casca do maracujá tem-se bandas de absorção bem mais longas e com menor intensidade, sobrepondo alguns picos próximos a 3500 e 3250 cm^{-1} . Isto é indicativo da presença de estiramentos de grupos O-H e C-H. Não somente,

próximo a 1730 cm^{-1} tem-se expressiva presença de grupos C=O para as pectinas do maracujá, sendo que o reciclo mássico no processo de extração contribui para a obtenção de um ingrediente rico em ésteres. Por fim, na região inferior a 1000 cm^{-1} observa-se dobramentos de grupos C=C.

Figura 9 - Espectros de FTIR comparativos da pectina cítrica comercial e das pectinas extraídas da casca de maracujá (PMI e PMII).



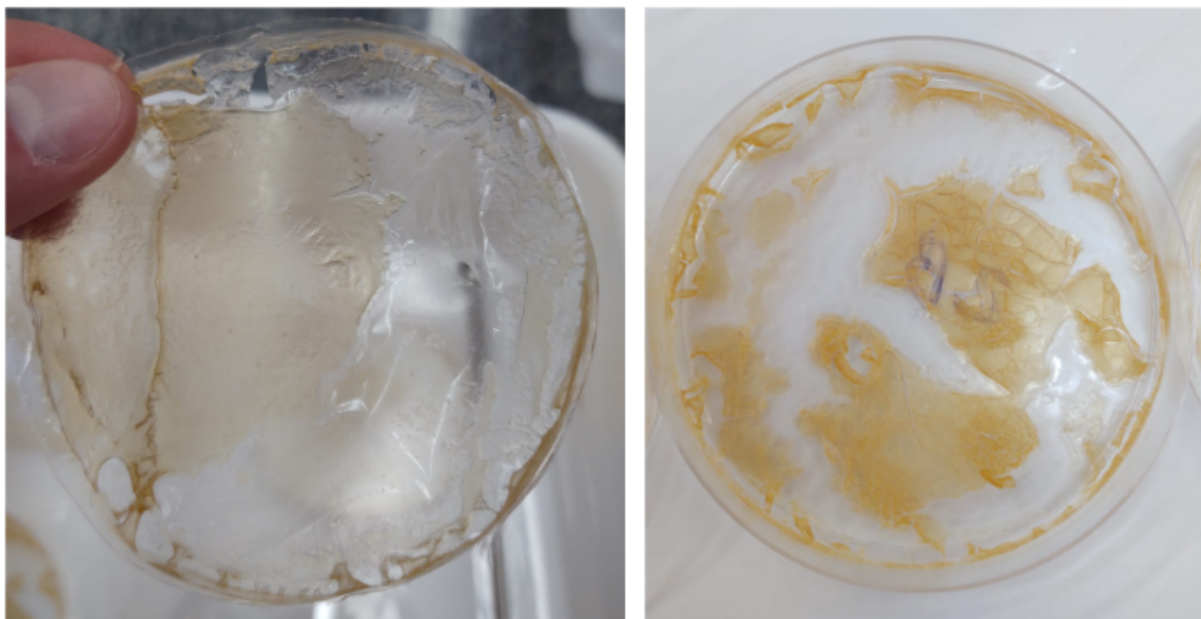
Fonte: Autor (2025).

Legenda: Pectina do Maracujá (I) - pectina extraída sem reciclo mássico no sistema;
 Pectina do Maracujá (II) - pectina extraída com reciclo mássico no processo;
 Pectina cítrica - pectina cítrica comercial.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Os filmes produzidos pelo método de *solvent casting* incorporados do extrato de compostos fenólicos da casca de maracujá e da pectina do maracujá apresentaram baixa capacidade de formação de filme. As amostras apresentaram pouca formação estrutural devido ao baixo teor de ácido galacturônico da pectina extraída, o que indica que o material estruturante foi insuficiente na formação dos filmes (Figura 10).

Figura 10 - Aspectos visuais dos filmes teste produzidos com as pectinas extraídas do maracujá



Fonte: Autor (2025).

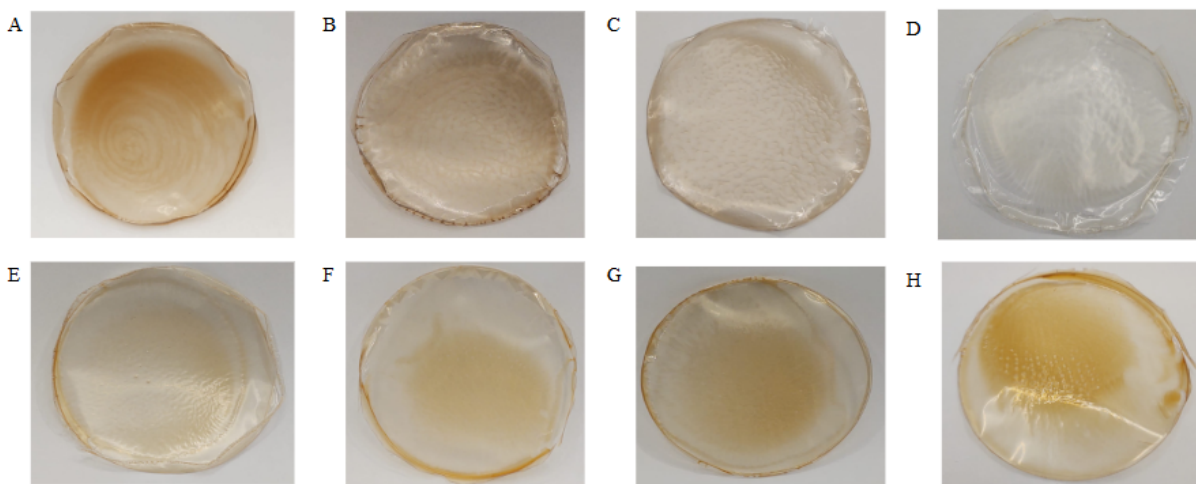
Já os filmes compostos por β -Glucana (BG) incorporados de extrato fenólico das sementes de maracujá (Figura 11) apresentaram boa capacidade de desmolde e formação de filme. A Tabela 6 resume a nomenclatura dada para cada amostra mostrando a composição percentual em massa dos filmes sintetizados.

Tabela 6 - Composição dos filmes compósitos de β -glucana (BG)

Tratamento	Composição dos Filmes % (m/m)					
	CMC	PEC	BG	Glicerol	Fase Aquosa	AGE ($\mu\text{g/mL}$)
CMC/E ₀	1,5	0	1,5	1,2	95,8	0
CMC/E ₃₀	1,5	0	1,5	1,2	95,8	57
CMC/E ₆₀	1,5	0	1,5	1,2	95,8	114
CMC/E ₁₀₀	1,5	0	1,5	1,2	95,8	190
PEC/E ₀	0	1,5	1,5	1,2	95,8	0
PEC/E ₃₀	0	1,5	1,5	1,2	95,8	57
PEC/E ₆₀	0	1,5	1,5	1,2	95,8	114
PEC/E ₁₀₀	0	1,5	1,5	1,2	95,8	190

Fonte: Autor (2025).

Figura 11 - Filmes de BG: A) CMC/E₁₀₀ , B) CMC/E₆₀ , C) CMC/E₃₀ , D) CMC/E₀ , E) PEC/E₀ , F) PEC/E₃₀ , G) PEC/E₆₀ , H) PEC/E₁₀₀



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;
 PEC - Pectina cítrica comercial;
 E₀ - água destilada;
 E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;
 E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;
 E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

4.5.1 Espessura dos filmes

A espessura dos filmes foi calculada para cada tratamento, sendo expressas na Tabela 7 em termos de média e desvio padrão das medidas. A análise de variância ANOVA e o Teste de Tukey com nível de significância de 95% foram realizados conforme metodologia analítica descrita.

Observa-se que dentro de uma mesma matriz, isto é, filmes compostos por pectina ou CMC, a variação de espessura entre as amostras com adição de extrato fenólico varia muito pouco. Para os filmes compostos por CMC, a adição de extratos mais concentrados de compostos fenólicos diminui a espessura dos filmes, como pode ser observado pelas amostras CMC/E₀ , CMC/E₆₀ e CMC/E₁₀₀. O extrato diluído a 30% causou um leve aumento na espessura do filme em relação ao controle, embora ainda assim o comportamento indica que o aumento do teor de compostos fenólicos reduza a espessura dos filmes.

Vidal *et al.* (2019) obteve espessuras de valores próximos ao encontrado neste trabalho para filmes baseados em CMC incorporados de extratos vegetais, sem a presença de BG na matriz. Observou-se que a espessura do filme de CMC tende a aumentar com a adição de

extratos vegetais mais concentrados, oposto ao observado neste trabalho. A adição de extratos fenólicos de concentrações mais elevadas corresponde a redução da espessura do filme quando comparado ao controle. Uma possível explicação seria a capacidade e intensidade de interações moleculares entre os compostos fenólicos e grupos reativos do CMC, impactando no volume livre e mobilidade da matriz.

Tabela 7 - Espessura dos filmes compósitos de β -glucana

Tratamento	Espessura (mm)	Desvio Padrão
CMC/E ₀	0,1444	0,0166
CMC/E ₃₀	0,1489	0,0408
CMC/E ₆₀	0,1400	0,0327
CMC/E ₁₀₀	0,1289	0,0190
PEC/E ₀	0,1500	0,0326
PEC/E ₃₀	0,1567	0,0532
PEC/E ₆₀	0,1583	0,0226
PEC/E ₁₀₀	0,1450	0,0222

Fonte: Autor (2025).

Para os filmes de Pectina, a incorporação de extratos mais concentrados tende a causar aumento da espessura até uma diluição de 60% do original. O extrato mais concentrado por sua vez causa uma redução da espessura de 0.05 mm em relação ao controle. Em geral, a ANOVA mostrou que para uma probabilidade em nível 0.05 as médias das populações não são significativamente diferentes, como comprovado pelo Teste de Tukey apresentado na Tabela 11. Teleky *et al.* (2022) obteve resultados similares para filmes controle de pectina, onde o perfil de espessura apresentou uma tendência a aumentar com a incorporação de extratos fenólicos da maçã. Embora os valores de espessura obtidos em outros trabalhos tenham sido expressivamente menores, destaca-se o efeito da matriz composta de BG e Pectina no aumento da espessura dos filmes (Lin *et al.*, 2022).

4.5.2 Morfologia

A microestrutura de filmes poliméricos é influenciada pelas interações entre os componentes da matriz, implicando na originalidade de propriedades tais como espessura, barreira óptica e vapor de água, tensão e alongamento mecânicos (Firdaus *et al.*, 2024). A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostra a morfologia superficial e da seção transversal dos filmes produzidos a partir da carboximetilcelulose (Figura 12).

A superfície do filme controle de carboximetilcelulose, CMC/E₀, exibe uma aparência uniforme e regular, com a presença de alguns pontos de agregados, possivelmente devido à não completa solubilização dos ingredientes durante a formação e secagem do filme. Nenhuma presença de poros ou fraturas foram observadas na amostra controle, indicando um alto grau de compatibilidade entre a carboximetilcelulose (CMC) e a β -glucana (BG). A morfologia do corte transversal do filme controle mostra uma textura áspera, com caráter homogêneo. Contudo, nota-se a presença sutil de linhas estratificadas paralelas, indicando uma estrutura em camadas.

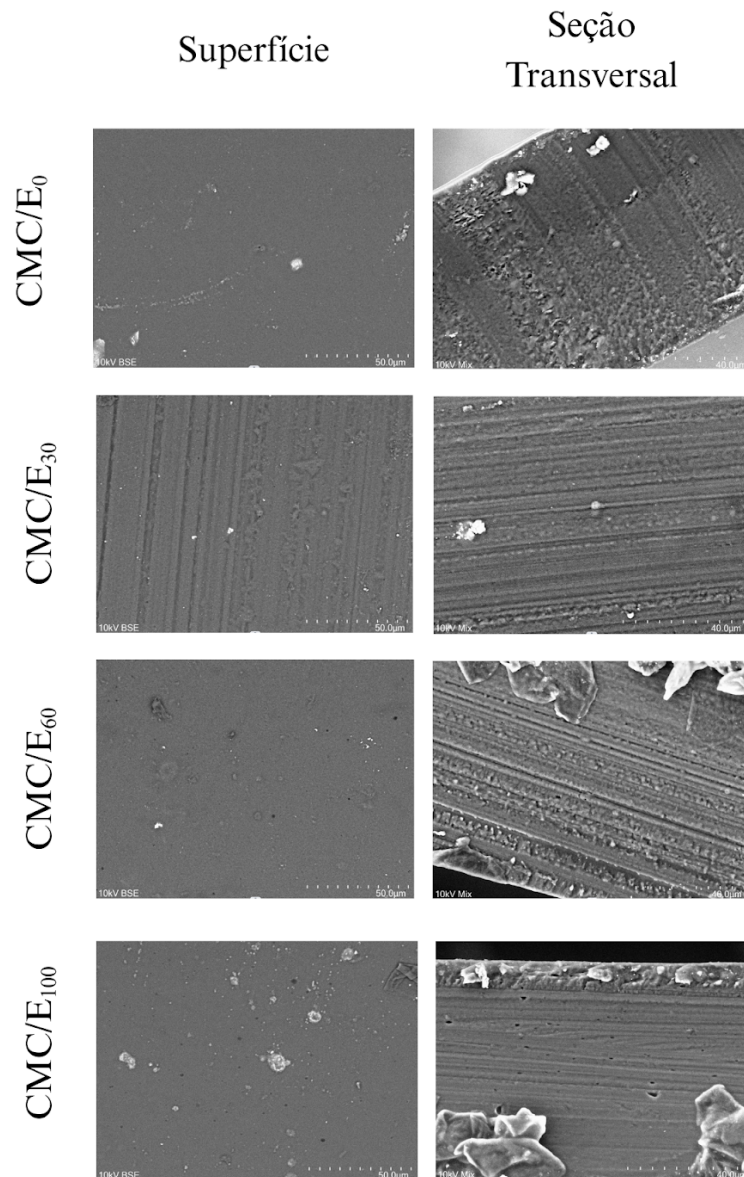
A adição de extratos ricos em polifenóis obtidos por ultrassom das sementes do maracujá não altera significativamente a microestrutura superficial dos filmes em concentrações moderadas a altas (E₆₀ e E₁₀₀). Para o extrato de menor concentração (E₃₀) o filme apresenta um aspecto ainda homogêneo, mas com a presença de linhas estratificadas, revelando uma estrutura em camadas. Os cortes transversais dos filmes incorporados do extrato bioativo das sementes do maracujá apresentam morfologia homogênea, com linhas estratificadas paralelas em maior evidência que o filme controle. A amostra filmogênica CMC/E₁₀₀ apresenta uma seção transversal altamente compacta e homogênea, com a presença de pequenos poros e a presença sutil de linhas estratificadas.

Os resultados obtidos estão de acordo com diversas publicações recentes. Morfologia superficial homogênea para o controle e a redução da homogeneidade da superfície com a adição de extrato da raiz de cebolinha chinesa foi observada por Riaz *et al.* (2020) para filmes baseados em CMC. Ramakrishnan *et al.* (2023) comprovou morfologias superficiais similares para filmes de Alginato/CMC/Amido incorporados de extrato das sementes de grapefruit, diferindo apenas na microestrutura da seção transversal, de aspecto esponjoso com sutis formas fibrosas.

As imagens MEV para a superfície e seção transversal dos filmes de pectina são mostradas na Figura 13. Assim como o controle de CMC, o filme controle de Pectina (PEC) apresenta uma morfologia superficial homogênea, com a presença de eventuais pontos referentes a não solubilização de todos os componentes da matriz no processo de fabricação

dos filmes. A seção transversal do filme controle, por sua vez, apresenta um aspecto não homogêneo, com pontos de separação de fase e presença de linhas estratificadas.

Figura 12 - Micrografias de MEV dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e carboximetilcelulose (CMC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações. (Ampliação: x800).



Fonte: Autor (2025).

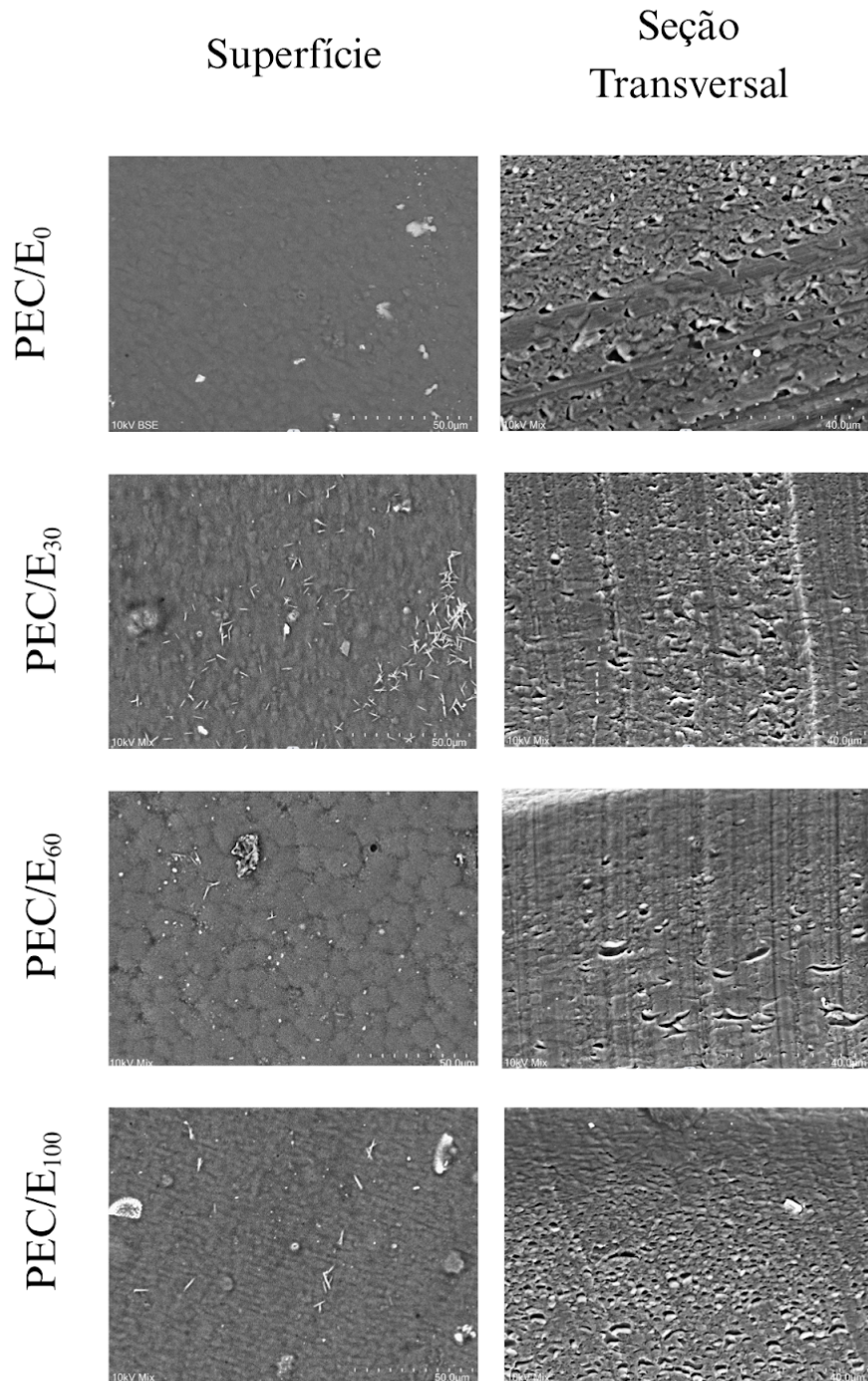
Legenda: CMC/E₀ - Filme compósito de CMC/BG com água destilada;

CMC/E₃₀ - Filme compósito de CMC/BG com extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

CMC/E₆₀ - Filme compósito de CMC/BG com extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

CMC/E₁₀₀ - Filme compósito de CMC/BG com extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

Figura 13 - Micrografias de MEV dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e pectina cítrica comercial (PCC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações. (Ampliação: x800).



Fonte: Autor (2025).

Legenda: PEC/E₀ - Filme compósito de PEC/BG com água destilada;

PEC/E₃₀ - Filme compósito de PEC/BG com extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

PEC/E₆₀ - Filme compósito de PEC/BG com extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

PEC/E₁₀₀ - Filme compósito de PEC/BG com extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

A adição de extrato das sementes do maracujá causa uma maior heterogeneidade na morfologia superficial dos filmes, com a presença de pontos em forma de agulha, indicando possível cristalização da matriz. Quanto maior a concentração de Ácido Gálico Equivalente (AGE) no extrato incorporado, observa-se maior não homogeneidade da superfície, com a presença de bolsões indicando possível separação de fases. As seções transversais dos filmes adicionados de extrato são como no filme controle. Qin *et al.* (2024) mostrou morfologias semelhantes para filmes de pectina incorporados com óleo essencial de tomilho, embora sem indicativo de cristalização na superfície. Os resultados também corroboram o trabalho de Jahromi *et al.* (2022) sobre filmes de pectina incorporados de óleo essencial de cravo.

4.5.3 Coloração dos filmes

A Tabela 8 mostra os resultados para a análise colorimétrica dos filmes controle e incorporados de extrato fenólico. Os dados são apresentados como a média $\pm$ desvio padrão.

Tabela 8 - Coordenadas de cores (L, a, b*) dos filmes compósitos de β -glucana (BG)

Tratamento	L*	a*	b*
CMC/E ₀	89,04 $\pm$ 0,25	2,03 $\pm$ 0,08	1,46 $\pm$ 0,93
CMC/E ₃₀	80,42 $\pm$ 1,65	4,51 $\pm$ 0,23	8,04 $\pm$ 1,81
CMC/E ₆₀	79,09 $\pm$ 1,52	5,19 $\pm$ 0,43	10,63 $\pm$ 1,35
CMC/E ₁₀₀	74,75 $\pm$ 5,16	7,35 $\pm$ 1,78	16,77 $\pm$ 5,31
PEC/E ₀	84,41 $\pm$ 1,26	3,34 $\pm$ 0,31	11,52 $\pm$ 2,37
PEC/E ₃₀	83,48 $\pm$ 1,45	3,24 $\pm$ 0,36	14,12 $\pm$ 4,12
PEC/E ₆₀	78,11 $\pm$ 1,87	4,88 $\pm$ 0,85	24,69 $\pm$ 3,02
PEC/E ₁₀₀	75,56 $\pm$ 0,62	5,66 $\pm$ 0,28	26,67 $\pm$ 0,59

Fonte: Autor (2025).

A adição de extrato fenólico à formulação dos filmes foi acompanhada de uma redução no parâmetro L*, ao passo que os parâmetros de cor a* e b* apresentaram aumento gradual de acordo com a concentração do extrato. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Seyedzadeh-Hashemi *et al.* (2022) para os filmes de CMC/ β -Glucana. Os filmes de Pectina apresentaram o mesmo comportamento, embora o parâmetro de luminosidade

tenha sido menor que para os filmes de CMC, e o parâmetro de cor b^* apresentou uma variação positiva muito mais expressiva. A análise de variância e Teste de Tukey indicaram que, para os três parâmetros, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

Santos *et al* (2023) obteve resultados similares para incorporação de extratos fenólicos de diferentes frutos de origem brasileira em matrizes de filmes a base de amido. O parâmetro L^* apresentou redução de intensidade com a adição de extratos fenólicos de aspecto amarelado - característico de frutos cítricos. Ademais, o parâmetro a^* apresentou aumento gradual com a incorporação de extratos mais concentrados, implicando no aumento da tonalidade avermelhada dos filmes. Por fim, como esperado, o parâmetro de cor b^* apresentou o maior aumento, uma vez que a tonalidade amarelada dos extratos foi incorporada com sucesso na matriz dos filmes (Coelho *et al.*, 2022).

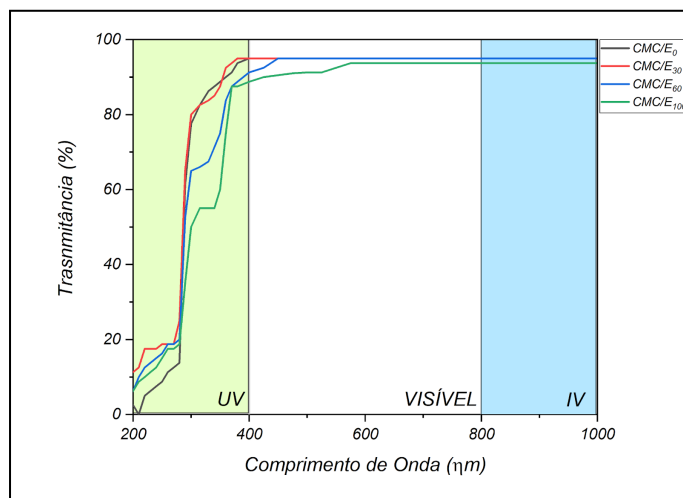
4.5.4 Propriedades ópticas

A Figura 14 mostra o perfil de transmitância obtido para os filmes de carboximetilcelulose (CMC) e β -glucana (BG). Pode ser observado que todas as amostras filmogênicas apresentam baixa transmitância na região do ultravioleta C e B ($<320 \text{ nm}$), sendo que existe um expressivo aumento da transmitância próximo a 300 nm . Song *et al.* (2022) obteve perfis semelhantes para filmes compósitos de CMC, reforçando sua aplicabilidade como cobertura em produtos expostos frequentemente à luz.

A adição de extratos ricos em polifenóis com maiores concentrações resultou num deslocamento inferior dos perfis de transmitância, indicando que os filmes mais coloridos - isto é, adicionados de extratos mais concentrados - apresentam maior absorbância na região do ultravioleta, resultando em filmes com melhores propriedades de barreira óptica na região UV. O comportamento de todas as amostras foi bastante similar na região do visível e do infravermelho.

Para os filmes de pectina cítrica (PEC) e β -glucana (BG), o perfil de transmitância foi bastante similar ao obtido para os filmes de CMC/BG (Figura 15). Contudo, extratos fenólicos em concentrações baixas (30%) permitem a obtenção de uma matriz filmogênica com melhores propriedades de barreira UV quando comparado com extratos de concentração moderada (60%). No geral, as mesmas interpretações podem ser assumidas para os filmes de PEC/BG, reforçando que os filmes adicionados de extratos em concentrações moderadas (60%) sejam mais efetivos quando em matrizes de CMC/BG.

Figura 14 - Espectros de transmitância no UV-Vis dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e carboximetilcelulose (CMC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

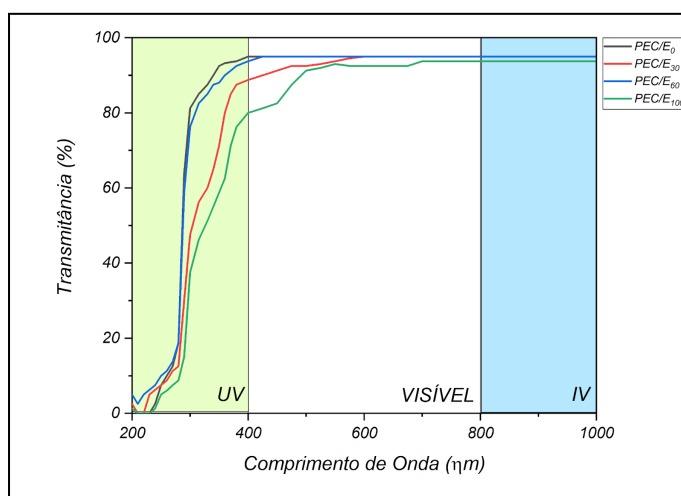
E_0 - água destilada;

E_{30} - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E_{60} - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E_{100} - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Figura 15 - Espectros de transmitância no UV-Vis dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e pectina cítrica comercial (PCC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.



Fonte: Autor (2025).

Legenda: PEC - Pectina cítrica comercial;

E_0 - água destilada;

E_{30} - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

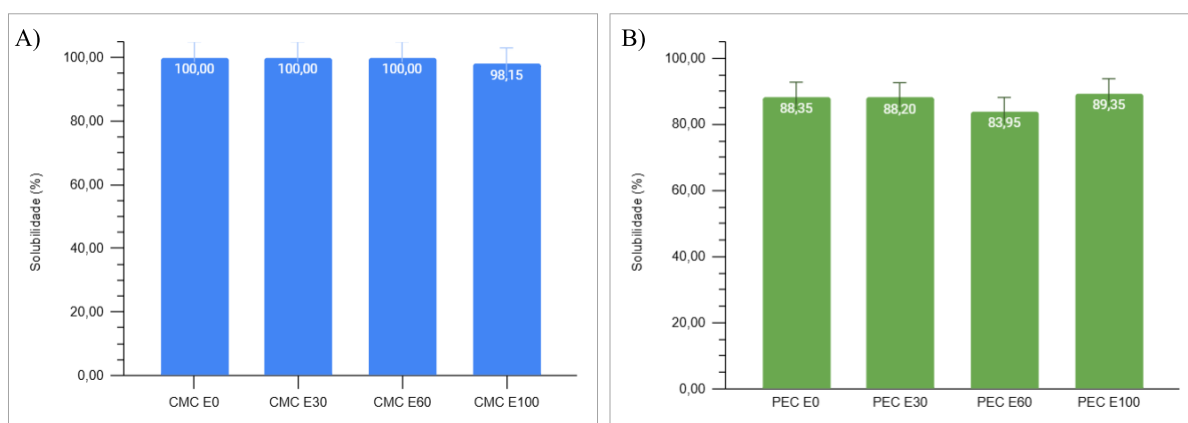
E_{60} - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E_{100} - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

4.5.5 Solubilidade em água

A Figura 16 apresenta graficamente a solubilidade dos filmes sintetizados em função de seu grupo constituinte. Para os filmes de CMC obteve-se valores de solubilidade de 100% para quase todas as amostras. Apenas o filme de CMC incorporado de extrato concentrado (CMC/E₁₀₀) apresentou uma sutil redução na solubilidade, de 100 para 98%. Já para os filmes de pectina, observou-se uma redução da solubilidade em água quando comparado com os filmes de CMC. Embora os dados de solubilidade obtidos para os filmes incorporados de extrato fenólico das sementes do maracujá sejam menores para os filmes de pectina, ainda assim são valores maiores que os reportados na literatura.

Figura 16 - Solubilidade em Água dos Filmes de (A) CMC/BG e (B) PEC/BG



Fonte: Autor (2025).

A Tabela 9 apresenta os dados obtidos para a solubilidade dos filmes controle e incorporados de extrato fenólico das sementes do maracujá. A análise de variância implementada indicou que a incorporação dos extratos fenólicos não causou diferenças significativas nas populações analisadas, hipótese comprovada pelo Teste de Tukey realizado.

Seyedzadeh-Hashemi *et al.* (2022) descreve que o conteúdo de β -Glucana nos filmes contribui para a propriedade higroscópica do material. Embora os resultados obtidos por Seyedzadeh-Hashemi *et al.* (2022) apresentem diferenças significativas para os filmes controle de CMC/BG, isso pode ser explicado pelo teor de BG contido nas matrizes: enquanto neste trabalho foi utilizado uma proporção de 3% (m/m) de β -Glucana e CMC, o trabalho comparado adotou uma proporção de 1% (m/v). Não somente, a presença de grupos hidroxila na matriz contribui com o aumento das interações hidrofílicas da matriz, o que implica no

aumento de interações moleculares com água e o consequente aumento da solubilidade (Cao *et al.*, 2018).

Tabela 9 - Solubilidade em Água dos filmes compósitos de β -glucana (BG)

Tratamento	Solubilidade (%)	Desvio Padrão
CMC/E ₀	100,00	0,00
CMC/E ₃₀	100,00	0,00
CMC/E ₆₀	100,00	0,00
CMC/E ₁₀₀	98,15	0,21
PEC/E ₀	88,35	11,24
PEC/E ₃₀	88,20	7,50
PEC/E ₆₀	83,95	6,29
PEC/E ₁₀₀	89,35	12,37

Fonte: Autor (2025).

De acordo com Zhang *et al.* (2023), filmes de pectina tipicamente exibem baixos ângulos de contato com a água, refletindo sua natureza hidrofílica. A incorporação de compostos com grupos hidroxila adicionais pode aumentar o ângulo de contato, sugerindo um aumento da hidrofobicidade da matriz que poderia explicar a redução da solubilidade em água observada. Para filmes compostos por diferentes tipos de pectina, Zhang *et al.* (2023) obtiveram dados de solubilidade muito próximos a 100%. Isso indica que para os filmes de pectina incorporados de BG e extrato fenólico deve haver uma mudança na estrutura da matriz que contribui para o caráter hidrofóbico do filme.

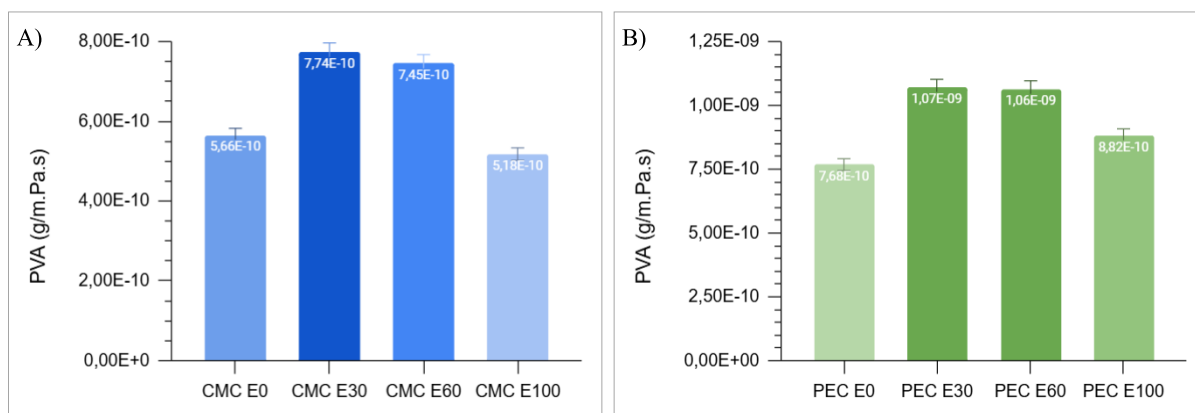
4.5.6 Permeabilidade ao vapor d'água

A Tabela 10 resume os resultados obtidos para a Permeabilidade e Permeância ao Vapor de Água. A Figura 17 apresenta graficamente os valores obtidos para a permeância ao vapor de água - PVA - para os filmes de pectina e CMC. Os dados são apresentados como médias e seus respectivos desvios.

Tabela 10 - Permeabilidade ao vapor de água dos filmes compósitos de β -glucana (BG)

Tratamento	Permeância (g/m ² .Pa.s)	Espessura (mm)	PVA (g/m.Pa.s)	Desvio Padrão
CMC/E ₀	3,92E-06	0,1444	5,66E-10	1,48E-11
CMC/E ₃₀	5,17E-06	0,1489	7,74E-10	2,88E-10
CMC/E ₆₀	5,26E-06	0,1400	7,45E-10	3,18E-10
CMC/E ₁₀₀	4,03E-06	0,1289	5,18E-10	0,00
PEC/E ₀	3,71E-06	0,1500	7,68E-10	3,42E-10
PEC/E ₃₀	6,84E-06	0,1567	1,07E-09	7,07E-11
PEC/E ₆₀	6,72E-06	0,1583	1,06E-09	1,07E-10
PEC/E ₁₀₀	6,08E-06	0,1450	8,82E-10	7,99E-11

Fonte: Autor (2025).

Figura 17 - Permeabilidade ao Vapor de Água - PVA - dos Filmes de (A) CMC/BG e (B) PEC/BG

Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;
 PEC - Pectina cítrica comercial;
 E₀ - água destilada;
 E₃₀ - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;
 E₆₀ - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;
 E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Observa-se que para ambos os filmes de CMC e Pectina a incorporação de extrato fenólico das sementes de maracujá aumenta a permeabilidade ao vapor de água. Isso é válido apenas para concentrações intermediárias dos extratos, já que para a condição de maior quantidade de compostos fenólicos a PVA é a menor para o filme de CMC e muito próxima da menor para o filme de Pectina.

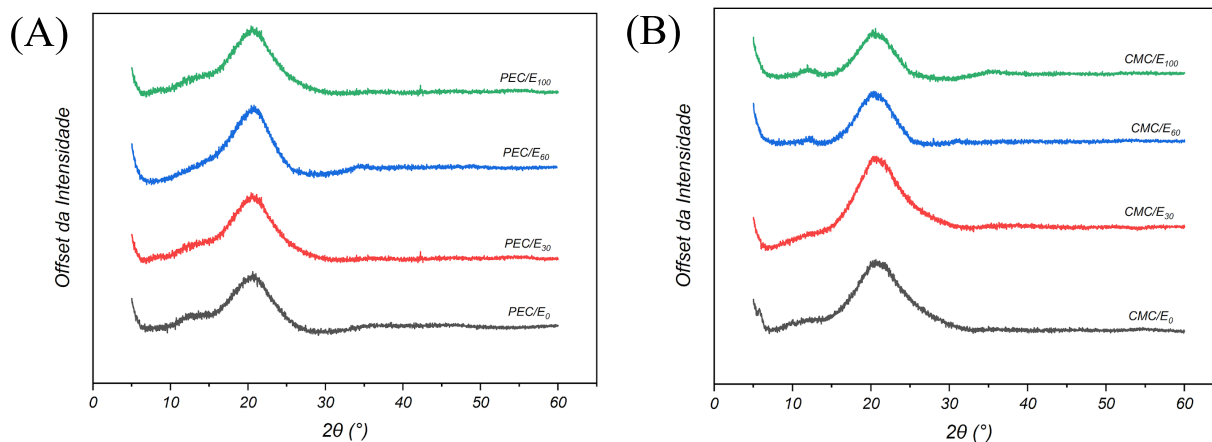
Wei; Pascall (2023) obtiveram valores de PVA para filmes puros de pectina quase 4 vezes menor ($PVA_{PEC} = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). Além disso, a incorporação de extratos de chá verde em diferentes concentrações causou uma redução gradual da PVA com o aumento da concentração dos extratos. Resultados similares foram obtidos por Yang *et al.* (2024) com filmes de pectina incorporados de óleo essencial de orégano. Nota-se então que a formulação de filmes compósitos de β -Glucana e Pectina permite a obtenção de filmes com maior PVA e, quando incorporados de extratos fenólicos das sementes do maracujá em concentrações moderadas ($57 - 114 \text{ } \mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$), tem-se um aumento de quase 30% na PVA. Seyedzadeh-Hashemi *et al.* (2022) obteve resultados muito próximos para filmes controle de CMC/BG, onde o aumento do teor de BG na matriz reflete no aumento da PVA. Não somente, a incorporação de compostos fenólicos na matriz aumenta a disponibilidade de grupos hidroxila no filme, o que causa uma variação positiva nas propriedades higroscópicas da matriz e o consequente aumento da PVA.

4.5.7 Difração de raios-x (DRX)

A Figura 18 mostra o padrão de difração de raios-x para os filmes de CMC/BG e PEC/BG com diferentes conteúdos de compostos fenólicos. Neste estudo, os filmes comestíveis incorporados de compostos fenólicos apresentaram um caráter majoritariamente amorfo, caracterizado pelos picos largos e ruidosos, o que é desejável na formação dos filmes (Zhang *et al.*, 2021).

A incorporação de extratos fenólicos na composição dos filmes de CMC/BG levaram a um aumento na intensidade do pico em 20.8° para um extrato de baixa concentração (30%), ao passo que a incorporação de extratos mais concentrados (60 e 100%) levam a uma redução significativa da intensidade dos picos. Para os filmes de PEC/BG, o aumento da intensidade se dá para todas as faixas de concentração dos extratos adicionados, sendo que o extrato puro apresenta intensidade muito próxima do filme controle.

Figura 18 - Difratomogramas de raios-x dos filmes compósitos de β -glucana e (A) pectina cítrica comercial (PCC) e (B) carboximetilcelulose (CMC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

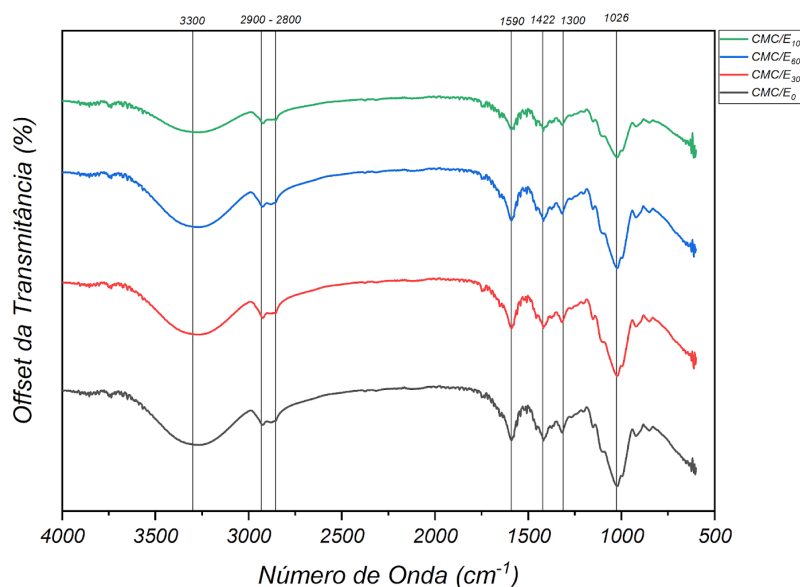
E₆₀ - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

4.5.8 Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 19 mostra o espectro de infravermelho para os filmes de CMC/BG. Os picos largos centrados em 3300 cm^{-1} são associados a estiramentos vibracionais dos grupos -OH, em 2891 cm^{-1} são atribuídos estiramentos -CH, em 1590 cm^{-1} são associados grupos assimétricos de -COO^- , em 1422 cm^{-1} tem-se deformação angular em tesoura (*scissoring*) de grupos -CH_2 , em 1300 cm^{-1} tem-se um dobramento de grupos -OH e em 1026 cm^{-1} tem-se dobramento de grupos C-O-C. Esses grupos são indicativos de carboidratos, comprovando a assimilação da CMC na matriz do filme (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2022).

Figura 19 - Espectros de FTIR dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e carboximetilcelulose (CMC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

E_0 - água destilada;

E_{30} - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E_{60} - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

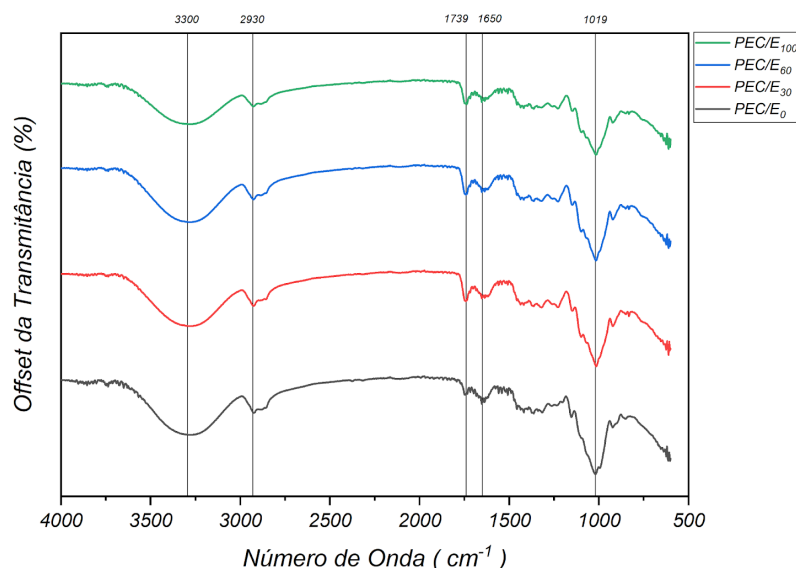
E_{100} - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

A incorporação de extrato fenólico na formulação dos filmes de CMC/BG não causou deslocamento dos principais picos, havendo apenas a redução do perfil espectral observado. Assim, quanto maior a concentração de compostos fenólicos na matriz dos filmes menor é a intensidade observada. Isso é mais perceptível para as bandas em 3300 cm^{-1} e 1026 cm^{-1} , onde as bandas são gradualmente achatadas e diminuem de intensidade.

A Figura 20 mostra o espectro de infravermelho para os filmes de PEC/BG. Os picos de transmitância centrados em 3300 cm^{-1} são atribuídos ao estiramento de grupos -OH, em 2930 cm^{-1} tem-se vibrações -CH de grupos metileno. Em 1739 cm^{-1} pode-se atribuir ligações C-O ou C=O, característico de ésteres. As bandas em 1650 cm^{-1} podem estar associadas ao estiramento de grupos carboxílicos simétricos (Nguyen *et al.*, 2022). O pico em 1019 cm^{-1} pode estar associado ao dobramento de grupos C-O-C, relacionados à incorporação da β -Glucana na matriz de filmes de Pectina (Yang *et al.*, 2024; Candra *et al.*, 2023).

Observou-se que a incorporação de extrato fenólico causou uma redução da transmitância observada nas bandas em 1019 cm^{-1} , ao passo que a intensidade aumentou na faixa de 1739 cm^{-1} .

Figura 20 - Espectros de FTIR dos filmes compósitos de β -glucana (BG) e pectina cítrica comercial (PCC) incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações.



Fonte: Autor (2025).

Legenda: PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

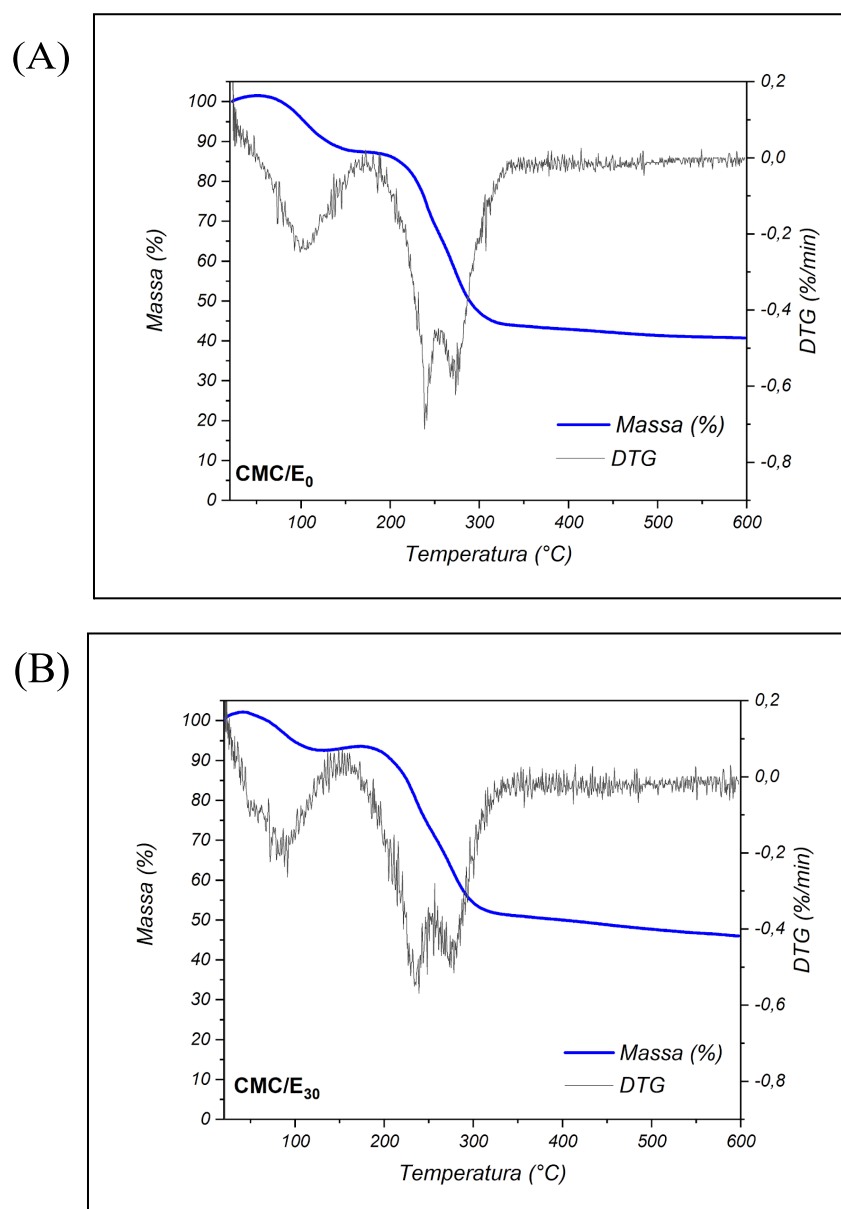
4.5.9 Análise termogravimétrica (TGA)

A Figura 21 apresenta os perfis de estabilidade térmica para os filmes compostos de carboximetilcelulose (CMC) e β -glucana (BG). O filme controle (CMC/E₀) apresentou maior degradação na faixa de temperatura inicial quando comparado aos demais filmes. Resultados semelhantes para filmes compósitos de CMC foram obtidos por Song *et al.* (2022). Em contrapartida, a adição de extratos ricos em polifenóis em diversas concentrações contribuiu para a redução da degradação térmica dos filmes, não sendo encontradas divergências expressivas nos efeitos da concentração de fenóis na curva de TGA. As perdas mássicas mais expressivas foram de 43.8%, 41.45%, 44.27% e 44.74% para os filmes de (A) a (D) (Figura 21), respectivamente.

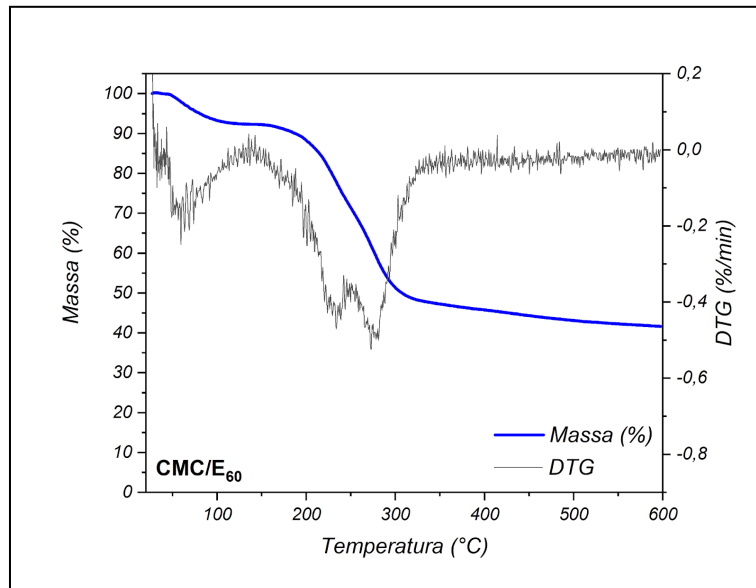
Os perfis de estabilidade térmica para os filmes compostos de pectina cítrica (PEC) e β -glucana (BG) apresentados na Figura 22 mostra que os filmes de pectina apresentaram

maior degradação em toda a faixa de temperatura quando comparados aos filmes compósito de CMC (Thivya *et al.*, 2022). Além disso, pode ser observado três faixas distintas de degradação térmica para as amostras filmogênicas de PEC/BG. A incorporação de extratos fenólicos das sementes do maracujá permitiram uma redução na perda mássica percentual mais expressiva (120-350°C), caindo de 53.00% (PEC/E₀) para 41.36%, 42.61% e 43.79% a medida que a concentração do extrato aumentou. No geral, a concentração dos extratos não afetou expressivamente os perfis de estabilidade térmica dos filmes, salvo quando comparado ao controle.

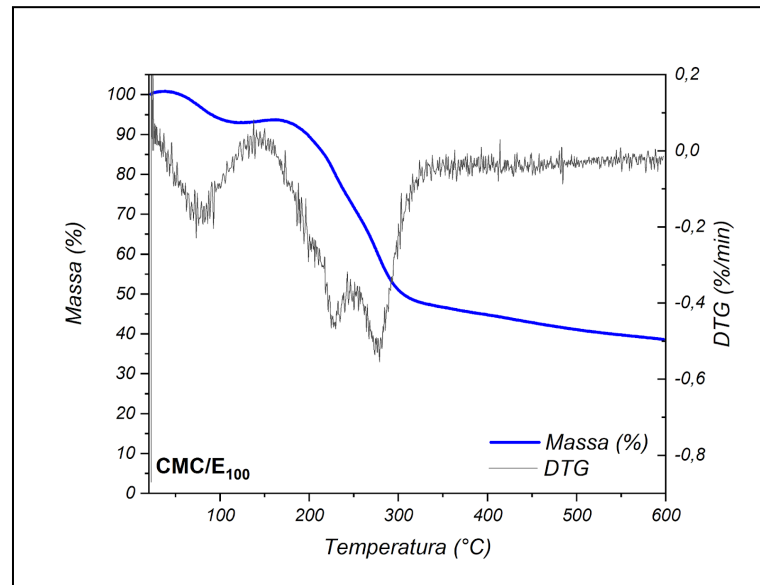
Figura 21 - Perfis de estabilidade térmica obtidos para os filmes (A) CMC/E₀, (B) CMC/E₃₀, (C) CMC/E₆₀, (D) CMC/E₁₀₀



(C)



(D)



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

E₀ - água destilada;

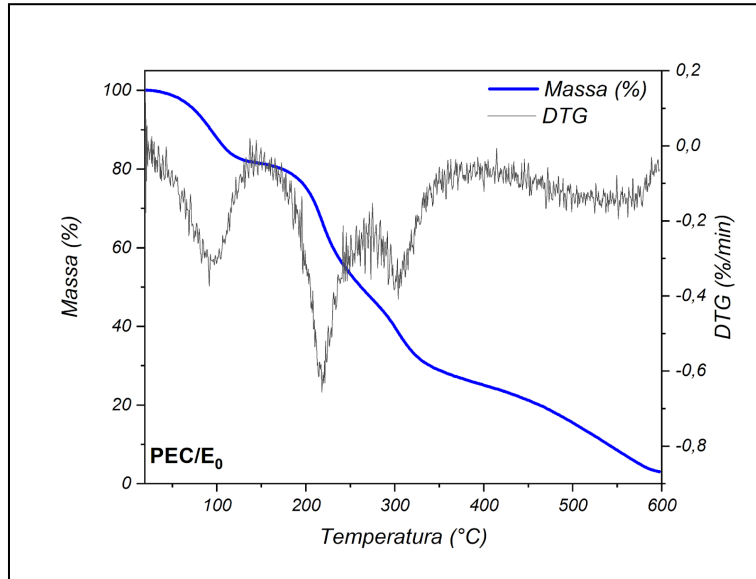
E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

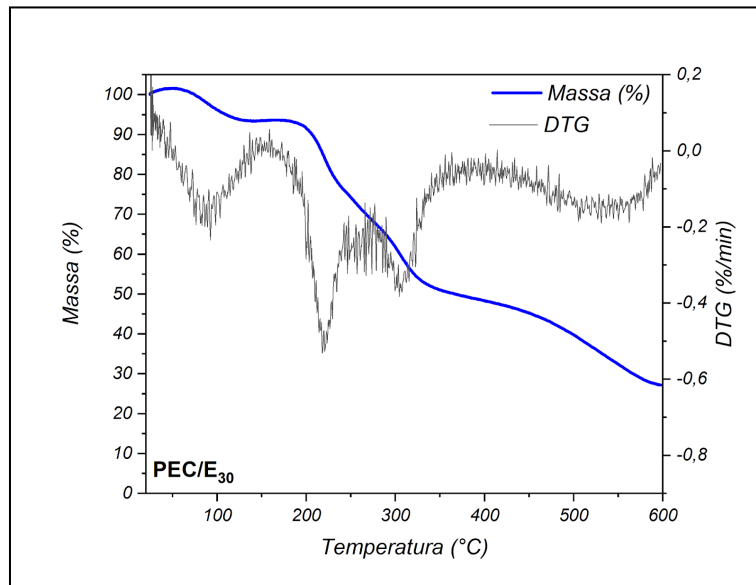
E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

Figura 22 - Perfis de estabilidade térmica obtidos para os filmes (A) PEC/E₀, (B) PEC/E₃₀, (C) PEC/E₆₀, (D) PEC/E₁₀₀

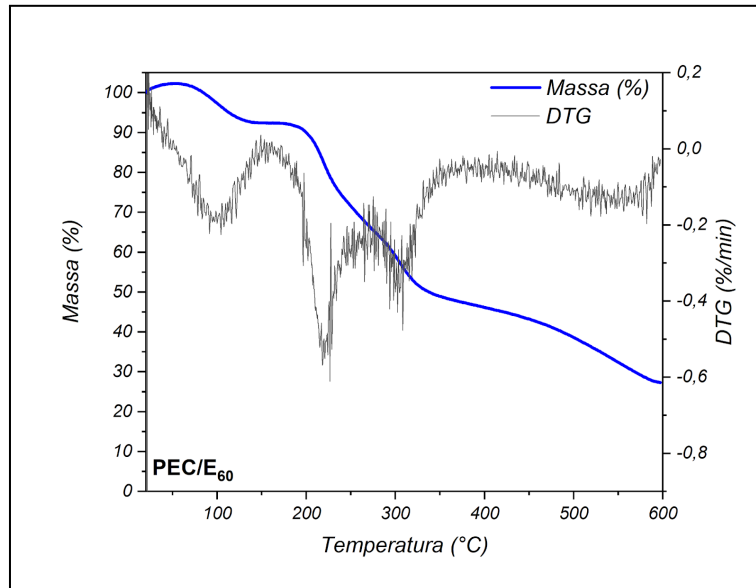
(A)



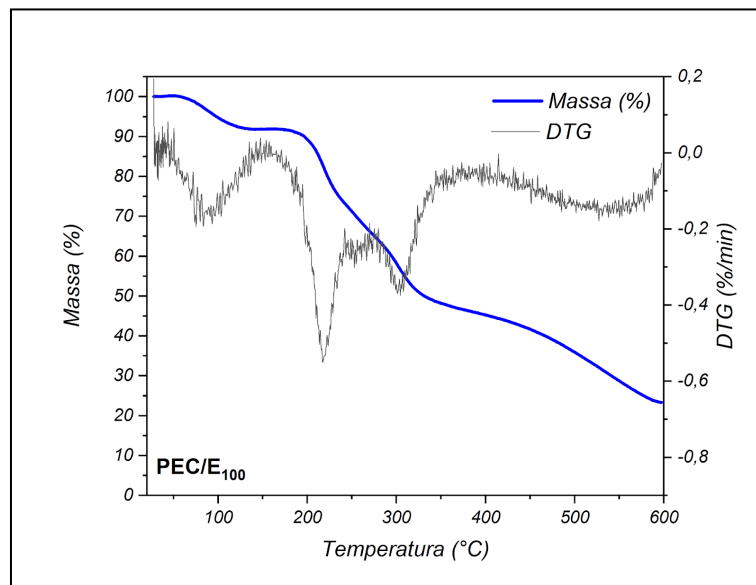
(B)



(C)



(D)



Fonte: Autor (2025).

Legenda: PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

4.5.10 Propriedades mecânicas

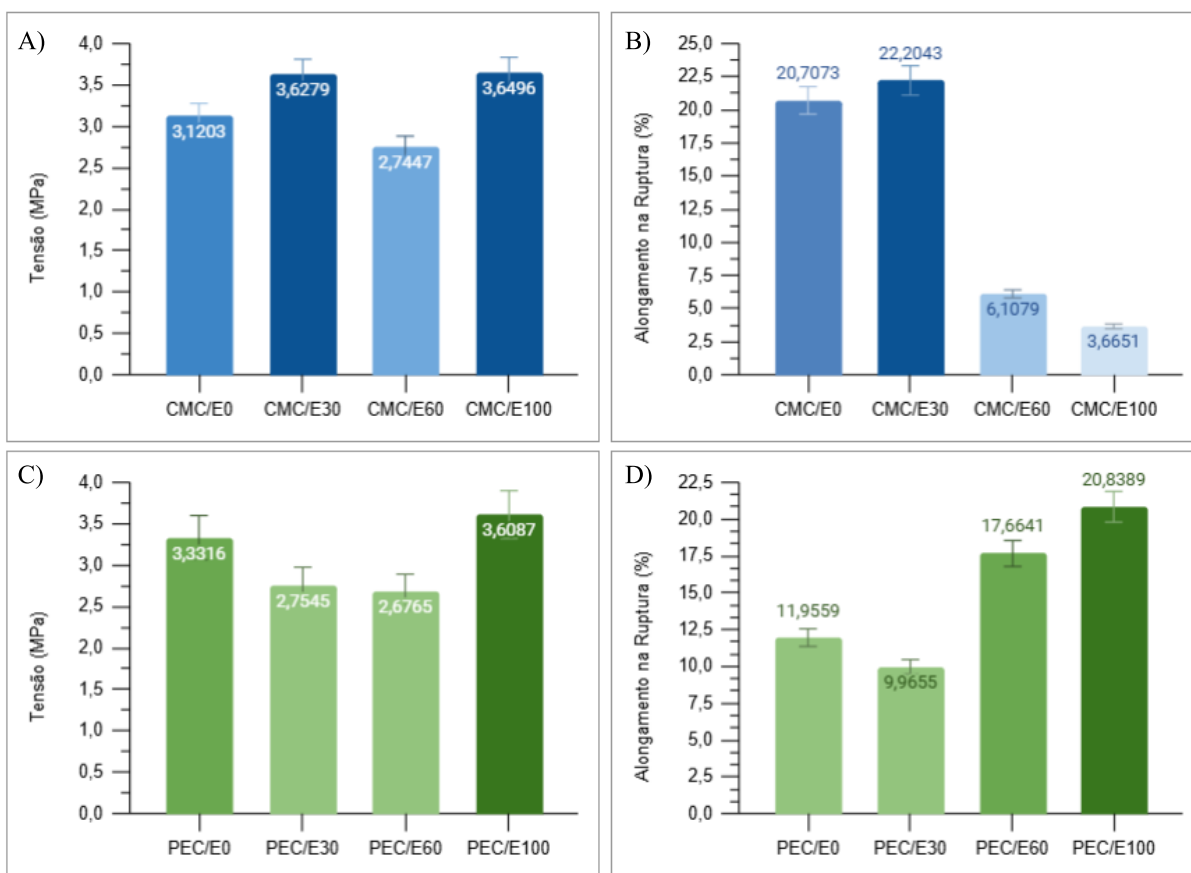
Em geral, as propriedades mecânicas de filmes dependem da estrutura química e natureza das interações entre os materiais usados na formação do material (Narasagoudr *et al.*, 2020). Os filmes controle de β -glucana (BG) e Pectina (PEC) apresentam maior valor de Tensão (T) (3,33 MPa) em relação ao controle de BG e CMC (3,12 MPa). Em contrapartida, os resultados de Alongamento na Ruptura (AR) mostram que o controle de BG/PEC apresenta deformação moderada (11,96%) ao passo que a matriz BG/CMC apresenta maior alongamento (20,71%). O comportamento do AR indica uma matriz forte e rede reticulada resiliente à plastificação para o filme PE/E₀ e uma matriz de maior plasticidade, onde as cadeias poliméricas podem se deslocar frente umas às outras, para a amostra CMC/E₀ (Michele *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2022; Sougandhi *et al.*, 2022).

A incorporação de extrato rico em polifenóis oriundos das sementes do maracujá indicam que altas concentrações de bioativos, expressos em Ácido Gálico Equivalente (AGE), resultam em filmes com maiores valores de Tensão na ruptura (Figura 23 - A,C). A adição de extratos de baixa concentração (E₃₀) produzem um aumento na Tensão na ruptura para os filmes de CMC e uma redução desta mesma variável para o filme de Pectina, sempre comparado aos filmes controle. Extratos de concentração moderada (E₆₀) provocam uma redução expressiva na Tensão para os filmes de CMC e PEC. Os filmes de pectina mostram que concentrações intermediárias de bioativos (E₃₀ e E₆₀) reduzem a Tensão na ruptura mas não diferem significativamente entre si.

Avaliando agora os efeitos da adição de extrato bioativo no Alongamento na Ruptura (AR) dos filmes, observa-se que, para os filmes de BG/CMC, a adição de um extrato com baixa concentração de AGE provoca um aumento sutil em AR (20,70% para 22,20%), indicativo de que os polifenóis agem como agentes reticuladores moderados/fracos, aumentando um pouco a Tensão na ruptura e causando uma quase imperceptível variação no Alongamento. O mesmo extrato, pobre em polifenóis (E₃₀), quando adicionado à matriz de BG/PEC, causa uma redução na Tensão e no Alongamento na Ruptura, indicativo de que a interação entre os grupos -OH dos polifenóis com a BG e Pectina ultrapassam um ponto de saturação o qual a matriz seria mais forte. Ao mesmo tempo, ocorre uma redução da mobilidade da matriz em virtude da reticulação causada pelos polifenóis. Em resumo, tem-se um comportamento contrário para as matrizes de BG/CMC e BG/PEC. Isto é, extratos bioativos de alta concentração reduzem drasticamente o Alongamento na Ruptura para os filmes de CMC, produzindo filmes mais frágeis e rígidos, ao passo que aumentam

drasticamente o mesmo parâmetro para as amostras de PEC, produzindo filmes mais dúcteis e flexíveis.

Figura 23 - Tensão e Alongamento na Ruptura para os filmes de (A/B) CMC e (C/D) Pectina



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

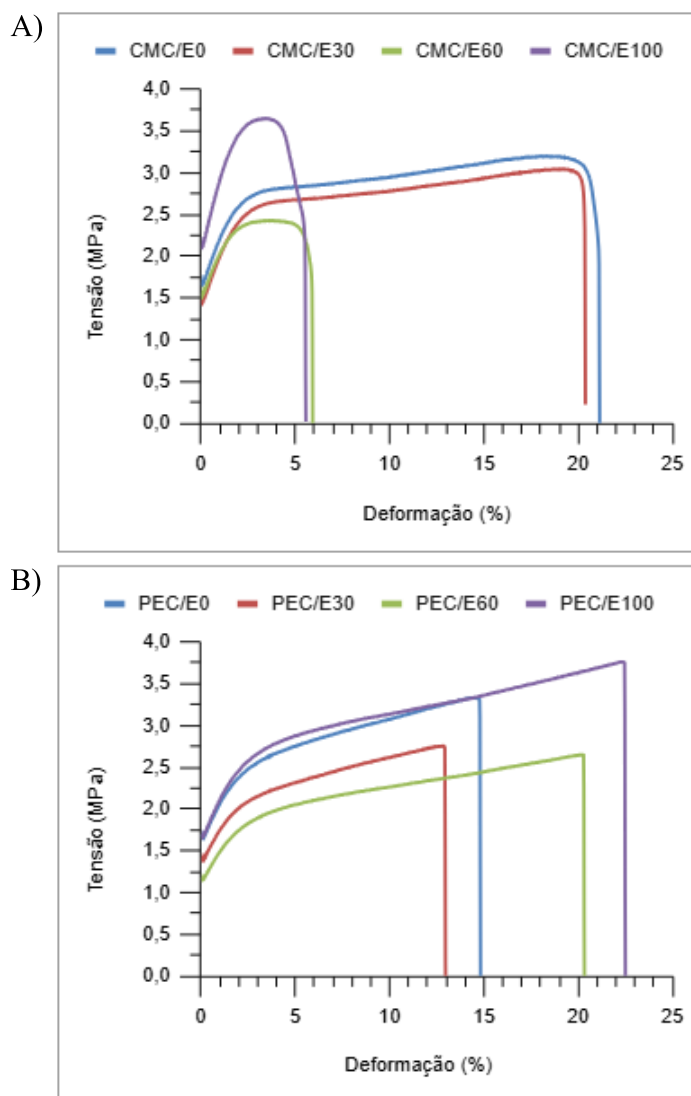
E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

Do ponto de vista da ciência dos alimentos, materiais destinados a embalagens devem possuir desejavelmente altas Tensões e Alongamento na Ruptura. Segundo Narasagoudr *et al.* (2020), é observado que materiais com boas propriedades de deformação costumam faltar na tensão máxima suportada, limitando o uso como embalagens alimentícias. Com isso, os resultados obtidos mostraram que os filmes de BG/CMC apresentam maior disparidade em relação à Tensão (T) e Alongamento na Ruptura (AR), sendo os filmes mais bem equilibrados os de formulação CMC/E₀ e CMC/E₃₀. Com isso, tem-se que extratos de baixa concentração de AGE são mais adequados para formular materiais com boas propriedades mecânicas. Já

para os filmes de pectina, tem-se menor disparidade entre T e AR, sendo o filme mais equilibrado o de formulação PEC/E₁₀₀.

Figura 24 - Comportamento Tensão-Deformação para os filmes compósitos de β -glucana e (A) carboximetilcelulose (CMC) e (B) pectina cítrica comercial (PCC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

A Figura 24 mostra as curvas Tensão-Deformação para os filmes produzidos. Como observado, tem-se que para todas as amostras de filmes existe uma faixa de tensão aplicada no

corpo onde não há qualquer sinal evidente de deformação. Este fenômeno é indicativo de imperfeições na matriz dos filmes, possivelmente devido às interações entre a β -glucana (BG) e a carboximetilcelulose (CMC) ou pectina. O autor Michele *et al.* (2023) obteve um perfil semelhante para filmes baseados em extrato de β -glucana da cevada. Contudo, o autor citado destaca uma inclinação menos expressiva para a região inicial, enquanto a redução do tamanho de partícula da BG auxilia na manutenção da região elástica.

Após essa região, tem-se um perfil linear característico da deformação elástica dos filmes. Os filmes de BG/CMC apresentaram perfis lineares com maior inclinação, sendo que os filmes de composição CMC/E₆₀ e CMC/E₁₀₀ apresentaram maior divergência dos demais filmes. Por fim, na região plástica e de pescoço, os filmes de BG/PEC mostram uma ruptura brusca dos corpos de prova, ao passo que os filmes de BG/CMC apresentam um *necking* mais evidente.

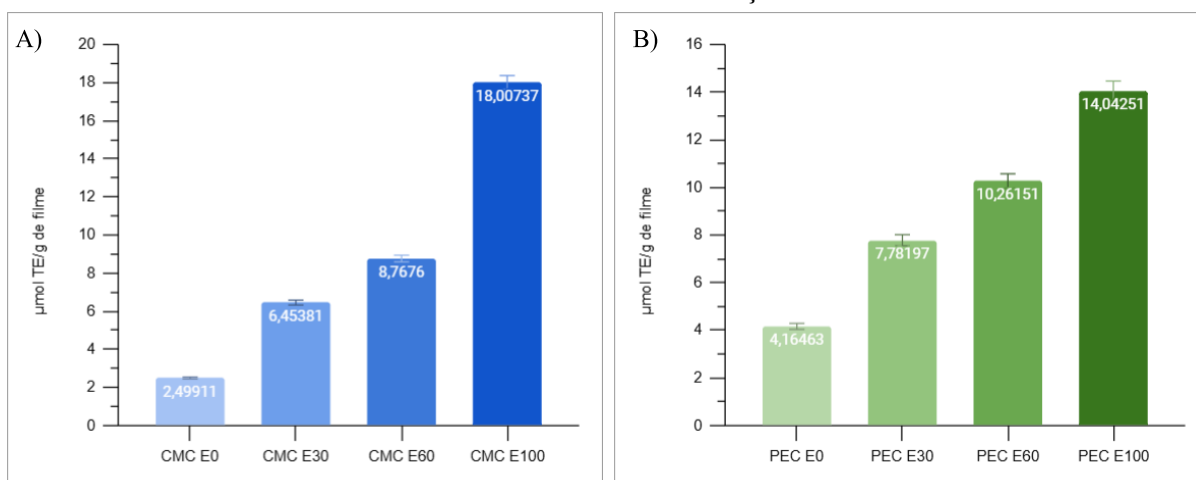
Por fim, os resultados obtidos para as propriedades mecânicas dos filmes compósitos de β -glucana se mostraram bastante originais. Lin *et al.* (2020) obteve tensões na ruptura na faixa de 1,204 MPa até 6,567 MPa para filmes baseados em carboximetilcelulose de sódio, óleo essencial de tomilho e pectina. Contudo, destaca-se um alto percentual de agente plastificante (glicerol) utilizado nos filmes do autor Lin *et al.*, (2020) - 30% em massa. Bhatia *et al.* (2024) produziu filmes de pectina e goma xantana incorporadas do óleo essencial de grapefruit. O autor obteve faixas de Tensão na ruptura próximas às encontradas neste trabalho (2,91 - 3,77 MPa) para quantidades de até 30 μ L de óleo essencial. Em contrapartida, o autor obteve filmes muito mais flexíveis, com alongamentos variando de 52,84% até 38,09%. Nastasi *et al.* (2023) fez um estudo das propriedades mecânicas de filmes de pectina incorporados de extratos de plantas. O autor obteve tensões na ruptura na faixa de 4,99 MPa até 6,91 MPa, ao passo que o alongamento permaneceu na faixa de 42,7% a 52,3%. Destaca-se, contudo, que o autor incorporou extratos de plantas com concentrações variando de 190 μ M a 10 mil μ M de Ácido Gálico Equivalente.

4.5.11 Atividade antioxidante

Embalagens com capacidade antioxidante são um dos tipos principais de embalagens funcionais/ativas, ao lado de embalagens com atividade antimicrobiana, e são materiais capazes de estender a vida de prateleira de produtos alimentícios (Jamróz *et al.*, 2022). A atividade antioxidante dos filmes compósitos de β -glucana (BG) avaliada pelo método de

Poder Antioxidante Redutor do Ferro (FRAP) é apresentada na Figura 25. Os resultados para o método de Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC) são mostrados em seguida na Figura 26.

Figura 25 - Análise de antioxidantes (FRAP) para os filmes compósitos de β -glucana e (A) carboximetilcelulose (CMC) e (B) pectina cítrica comercial (PCC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

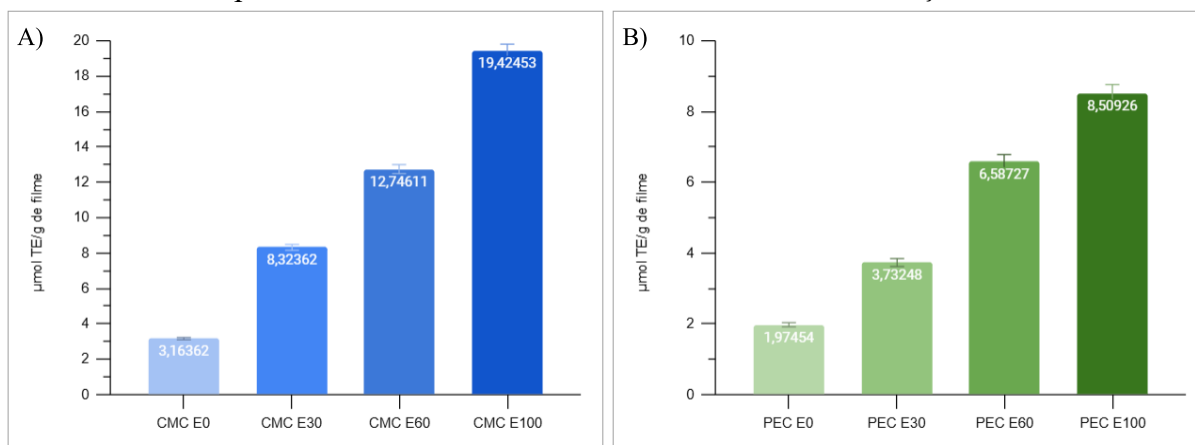
E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

Os filmes controle de BG/CMC e BG/PEC apresentaram ambos uma boa capacidade antioxidante (2,49 - 3,16 µmol TE/g de filme para os filmes de CMC e 4,16 - 1,97 µmol TE/g de filme para os filmes de Pectina, por FRAP e TEAC, respectivamente). Estes resultados estão de acordo com o obtido por Jamróz *et al.* (2022) para filmes controle baseados em CMC para a avaliação antioxidante via FRAP. Não somente, vale ressaltar a similaridade dos resultados obtidos pelos dois métodos empregados, indicando boa precisão de resultados.

Como esperado em ambos os casos, a adição de extratos ricos em polifenóis extraídos com auxílio de ultrassom das sementes do maracujá aumentou expressivamente a atividade antioxidante dos filmes quanto maior a concentração do extrato. Os filmes compósitos de carboximetilcelulose (CMC) apresentaram um maior crescimento na atividade antioxidante para altas concentrações do extrato incorporado, como pode ser observado pelas colunas CMC E60 e CMC E100 da Figuras 26 (A) e Figura 27 (C). Este resultado pode ser devido à

presença da CMC na matriz, uma vez que o aumento do teor deste ingrediente resulta em maior assimilação dos bioativos no filme (Sganzerla *et al.*, 2021).

Figura 26 - Análise de antioxidantes (TEAC) para os filmes compósitos de β -glucana e (A) carboximetilcelulose (CMC) e (B) pectina cítrica comercial (PCC), incorporados com extrato fenólico em diferentes concentrações



Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 $\mu\text{g AGE} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Para os filmes de pectina, observa-se maiores atividades antioxidantes para os controles tanto para FRAP quanto para TEAC. Isso pode ser devido ao uso de pectina cítrica comercial, extraída de matrizes vegetais ricas em compostos bioativos, que pode ter resultado em bioativos residuais no ingrediente. Esta hipótese está de acordo com Utama-Ang *et al.* (2021), o qual caracterizou em termos de atividade antioxidante os ingredientes utilizados na preparação de filmes baseados em pectina incorporados de extrato de gengibre.

Por fim, destaca-se que a fonte do extrato bioativo impacta profundamente na atividade antioxidante do material formulado. Imeneo *et al.* (2022) obteve faixas de concentração de Trolox Equivalente (TE) variando entre 1,5 a 2,5 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra para filmes baseados em pectina incorporados de extrato de subprodutos do limão, ao passo que Kantakul *et al.* (2024) obteve faixas entre 6,96 a 28,61 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra para filmes incorporados de extrato de amendoim bambara. Com isso, destaca-se o potencial antioxidante do extrato polifenólico das sementes do maracujá na confecção de embalagens alimentícias com princípios ativos, visando aumento da vida de prateleira dos alimentos.

5 CONCLUSÃO

O procedimento de extração da pectina da casca do maracujá assistido por agitação mecânica se provou ineficiente na obtenção de uma matéria prima com alto teor de ácido galacturônico. Uma hipótese do porque seria o baixo tempo de contato entre a massa e o solvente, bem como as condições de mistura no sistema como um todo. Assim sendo, os filmes produzidos com as pectinas do maracujá não apresentaram capacidade formadora de filme, sendo necessário a utilização de matérias primas comerciais de modo a se obter um material filmogênico passível de aplicação como embalagem ou cobertura.

A incorporação de β -Glucana (BG) nas matrizes de filmes de Pectina cítrica comercial e carboximetilcelulose (CMC), juntamente com os extratos fenólicos obtidos das sementes do maracujá permitiu a obtenção de filmes de fácil desmolde e com estrutura característica de filmes comestíveis. Não houve diferenças significativas na espessura, PVA e solubilidade dos filmes. Os filmes de CMC/BG apresentaram maior solubilidade em água se comparado aos filmes de PEC/BG, enquanto que as propriedades de PVA foram menores para estes filmes. Todos os filmes apresentaram coloração semelhante aos dos extratos incorporados, sendo que as propriedades de barreira UV foram similares para os filmes compósitos de CMC e PEC.

A análise DRX permitiu observar a estrutura majoritariamente amorfa das amostras de filmes comestíveis, tendo sido observado um aumento na intensidade à medida que a concentração de compostos fenólicos era aumentada. O espectro de infravermelho mostrou claramente a presença de CMC e Pectina nos respectivos filmes, bem como a incorporação de todos os constituintes na matriz. A análise de FTIR para as pectinas cítrica e extraídas do maracujá mostrou claramente a diferença de grupos funcionais nas amostras, indicando que o processo de extração empregado não foi adequado para obtenção de um ingrediente puro.

A análise termogravimétrica dos filmes mostrou comportamento similar ao dos ingredientes, sendo observado que os filmes de pectina cítrica eram mais facilmente degradados quando comparados com filmes de carboximetilcelulose (CMC). A adição de extratos ricos em polifenóis oriundos das sementes do maracujá impactou positivamente na degradação térmica máxima do filme, sendo observado que o aumento da concentração de bioativos reduz a máxima perda mássica percentual observada.

As propriedades mecânicas dos filmes mostraram baixa resistência à tração (T) quando comparados com outras matrizes (2,67 - 3,64 MPa), ao mesmo passo que o alongamento na ruptura (AR) também ficou abaixo do reportado por outros autores (3,66 - 22,20 %). Não somente, não houve uma relação linear e previsível entre a concentração do

extrato das sementes de maracujá com as propriedades mecânicas dos filmes, sendo que os filmes CMC/E₀ , CMC/E₃₀ e PEC/E₁₀₀ apresentara maior equilíbrio entre Tensão (T) e Alongamento na Ruptura (AR), sendo os mais indicados para aplicações como cobertura e embalagens alimentícias.

O perfil antioxidante dos filmes mostrou linearidade entre a concentração dos extratos fenólicos das sementes do maracujá incorporados aos filmes e sua atividade antioxidante por FRAP e TEAC, sem muita divergência entre os métodos. Os valores obtidos corroboram resultados de outros autores, destacando a originalidade da blenda de BG com os demais biopolímeros, resultando em filmes intrinsecamente com boa atividade antioxidante (2,49 - 3,16 $\mu\text{mol TE/g}$ de filme para os filmes de CMC e 4,16 - 1,97 $\mu\text{mol TE/g}$ de filme para os filmes de Pectina, por FRAP e TEAC, respectivamente). Dessa forma, conclui-se que o presente trabalho obteve sucesso na confecção de filmes comestíveis a partir do reaproveitamento dos resíduos de maracujá, destacando a obtenção de extratos ricos em compostos bioativos da semente do maracujá e sua incorporação em filmes na produção de materiais ativos.

REFERÊNCIAS

- ASFAW, Worku Abera et al. Optimization of citron peel pectin and glycerol concentration in the production of edible film using response surface methodology. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 13724, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13724>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2405844023009313>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- BEGUM, Syeda Nurunnesa et al. Optimization and Characterization of Phenolic Extraction Conditions and Antioxidant Activity Evaluation of Adenanthera pavonina L. Bark. **Plants**, [S.L.], v. 12, n. 22, p. 3902, 19 nov. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants12223902>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/22/3902>. Acesso em: 11 fev. 2025.
- Benzie, I.F.F. and J.J. Strain, The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, 1996. 239(1): p. 70-76.
- BHATIA, Saurabh et al. Structural, mechanical, barrier and antioxidant properties of pectin and xanthan gum edible films loaded with grapefruit essential oil. **Heliyon**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 25501, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25501>. Disponível em : <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2405844024015329>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- BLUMENKRANTZ, Nelly; ASBOE-HANSEN, Gustav. New method for quantitative determination of uronic acids. **Analytical Biochemistry**, [S.L.], v. 54, n. 2, p. 484-489, ago. 1973.
- CANDRA, Andy et al. Fabrication and characterization of hybrid eco-friendly high methoxyl pectin/gelatin/TiO₂/curcumin (PGTC) nanocomposite for salmon fillet packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**. Taipei, p. 1-14. jan. 2023.
- CAO, Qiqi; TENG, Jianwen; WEI, Baoyao; HUANG, Li; XIA, Ning. Phenolic compounds, bioactivity, and bioaccessibility of ethanol extracts from passion fruit peel based on simulated gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 356, p. 129682, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129682>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814621006889>. Acesso em: 11 fev. 2025.
- CHEN, Hongru; LIU, Yiyan; ZHANG, Jingkai; JIANG, Yang; LI, Dapeng. Pectin extracted from dragon fruit Peel: an exploration as a natural emulsifier. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 221, p. 976-985, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.069>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813022019997>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- CHEN, Kaiwei et al. Super and Selective Adsorption of Cationic Dyes onto Carboxylate-Modified Passion Fruit Peel Biosorbent. **Frontiers In Chemistry**, [S.L.], v. 9, p. 1-13, 26 maio 2021. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fchem.2021.646492>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2021.646492/full>. Acesso em: 22 jul. 2025.

CHEN, Qiaoling; KE, Guizhu; HU, Yonghua; FEI, Peng; WU, Jingxian. Preparation and application of holocellulose, cellulose nanofibers, and silver-loaded cellulose nanofibers from passion fruit peel. **Cellulose**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 1437-1448, 28 dez. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-022-05025-3>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10570-022-05025-3>. Acesso em: 22 jul. 2025.

COELHO, Laylla Marques et al. Valorization of Amaranth (*Amaranthus cruentus*) Grain Extracts for the Development of Alginate-Based Active Films. **Molecules**, [S.L.], v. 27, n. 18, p. 5798, 7 set. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules27185798>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/18/5798>. Acesso em: 8 nov. 2024.

COUTINHO, Juliane dos Santos et al. Development of “bisnaguinha” bread fibre source. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 43, p. 1-8, 28 abr. 2023. Zeppelini Editorial e Comunicacao. <http://dx.doi.org/10.5327/fst.91422>. Disponível em: <https://fstjournal.com.br/revista/article/view/14>. Acesso em: 22 jul. 2025.

DONG, Mengxue et al. Improving physicochemical properties of edible wheat gluten protein films with proteins, polysaccharides and organic acid. **Lwt**, [S.L.], v. 154, p. 112868, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112868>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0023643821020211>. Acesso em: 26 ago. 2025.

EZATI, Parya et al. Pectin/gelatin-based bioactive composite films reinforced with sulfur functionalized carbon dots. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [S.L.], v. 636, p. 128123, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128123>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0927775721019920>. Acesso em: 6 ago. 2024.

FIRDAUS, Sadia et al. Preparation and characterization of biodegradable food packaging films using lemon peel pectin and chitosan incorporated with neem leaf extract and its application on apricot fruit. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 263, p. 130358, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130358>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813024011619>. Acesso em: 28 ago. 2025.

GÓMEZ-AGUILAR, Dora Luz et al. Fruit Peels as a Sustainable Waste for the Biosorption of Heavy Metals in Wastewater: a review. **Molecules**, [S.L.], v. 27, n. 7, p. 2124, 25 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules27072124>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/7/2124>. Acesso em: 22 ago. 2025.

HAN, Jiarun et al. Current Research on the Extraction, Functional Properties, Interaction with Polyphenols, and Application Evaluation in Delivery Systems of Aquatic-Based Proteins. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 70, n. 38, p. 11844-11859, 16 set. 2022. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04325>. Disponível em:

<https://pubs-acrs-org.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1021/acs.jafc.2c04325>. Acesso em: 11 fev. 2025.

HEN, Qiaoling; KE, Guizhu; HU, Yonghua; FEI, Peng; WU, Jingxian. Preparation and application of holocellulose, cellulose nanofibers, and silver-loaded cellulose nanofibers from passion fruit peel. **Cellulose**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 1437-1448, 28 dez. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-022-05025-3>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10570-022-05025-3>. Acesso em: 22 ago. 2025.

HU, Xiaoxian et al. Preparation and characterization of edible carboxymethyl cellulose films containing natural antibacterial agents: lysozyme. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 385, p. 132708, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132708>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814622006707>. Acesso em: 6 fev. 2025.

HUANG, Yen-Hua et al. Anti-Skin Aging Potential, Antibacterial Activity, Inhibition of Single-Stranded DNA-Binding Protein, and Cytotoxic Effects of Acetone-Extracted Passiflora edulis (Tainung No. 1) Rind Extract on Oral Carcinoma Cells. **Plants**, [S.L.], v. 13, n. 16, p. 2194, 8 ago. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants13162194>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/16/2194>. Acesso em: 20 jul. 2025.

HUO, Dongxue et al. Eco-friendly simultaneous extraction of pectins and phenolics from passion fruit (Passiflora edulis Sims) peel: process optimization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 243, p. 125229, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125229>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813023021232>. Acesso em: 9 out. 2024.

IMENEO, Valeria et al. Efficacy of Pectin-Based Coating Added with a Lemon Byproduct Extract on Quality Preservation of Fresh-Cut Carrots. **Foods**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 1314, 30 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11091314>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/9/1314>. Acesso em: 9 out. 2024.

JAHROMI, Mastaneh et al. Fabrication and characterization of pectin films incorporated with clove essential oil emulsions stabilized by modified sodium caseinate. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 32, p. 100835, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100835>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214289422000278>. Acesso em: 28 ago. 2025.

JAMRÓZ, Ewelina et al. The influence of lingonberry extract on the properties of novel, double-layered biopolymer films based on furcellaran, CMC and a gelatin hydrolysate. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 124, p. 107334, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107334>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X21007505>. Acesso em: 6 set. 2025.

JIANG, Haitao et al. Effects of purple passion fruit peel extracts on characteristics of Pouteria campechiana seed starch films and the application in discernible detection of shrimp freshness. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 138, p. 108477, maio 2023. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108477>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X23000231>. Acesso em: 22 jul. 2025.

JOSHI, Manisha et al. Fiber and nanofiber based edible packaging for enhancing the shelf life of food: a review. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 59, p. 103970, jun. 2024. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103970>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2212429224004000>. Acesso em: 6 fev. 2025.

KANTAKUL, Jilmika et al. Properties of Antioxidant Film Based on Protein Isolate and Seed Coat Extract from Bambara Groundnut. **Foods**, [S.L.], v. 13, n. 21, p. 3424, 27 out. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13213424>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2304-8158/13/21/3424>. Acesso em: 6 set. 2024.

KAWAKAMI, Shinpei et al. Constituent Characteristics and Functional Properties of Passion Fruit Seed Extract. **Life**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 38, 27 dez. 2021. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/life12010038>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2075-1729/12/1/38>. Acesso em: 10 jul. 2025.

KHAN, Sohail et al. The Extraction and Impact of Essential Oils on Bioactive Films and Food Preservation, with Emphasis on Antioxidant and Antibacterial Activities—A Review. **Foods**, [S.L.], v. 12, n. 22, p. 4169, 18 nov. 2023. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/foods12224169>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2304-8158/12/22/4169>. Acesso em: 11 fev. 2025.

KUMAR, Gaurav et al. Application of ultrasound technology for extraction of color pigments from plant sources and their potential bio-functional properties: a review. **Journal Of Food Process Engineering**, [S.L.], v. 46, n. 6, p. 1-12, 16 dez. 2022. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.14238>. Disponível em:
<https://onlinelibrary-wiley-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/jfpe.14238>. Acesso em: 18 jun. 2024.

LIANG, Yonglun et al. Extraction of Pectin from Passion Fruit Peel: composition, structural characterization and emulsion stability. **Foods**, [S.L.], v. 11, n. 24, p. 3995, 9 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11243995>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2304-8158/11/24/3995>. Acesso em: 16 jun. 2024.

LIMA, Rodrigo Tanajura Freire Meira. EXTRAÇÃO DA PECTINA DO MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) PARA INCORPORAÇÃO EM BIOFILMES. 2019. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Francisco Beltrão, 2019.

LIN, Derong et al. Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 165, p. 1241-1249, dez. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.005>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813020346328>. Acesso em: 18 ago. 2025.

LIN, Hua et al. Efficient and selective adsorption of methylene blue and methyl violet dyes by yellow passion fruit peel. **Environmental Technology**, [S.L.], v. 43, n. 23, p. 3519-3530, 2

jun. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2021.1924288>. Disponível em: <https://www-tandfonline-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1080/09593330.2021.1924288>. Acesso em: 4 jul. 2025.

LIN, Xue et al. Fabrication, characterization and biological properties of pectin and/or chitosan-based films incorporated with noni (*Morinda citrifolia*) fruit extract. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 134, p. 108025, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108025>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X22005458>. Acesso em: 9 jun. 2024.

LIU, Haoyao et al. LC-ESI-QTOF-MS/MS characterization of phenolic compounds in Australian native passion fruits and their potential antioxidant activities. **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 2455-2472, 2 jan. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.3928>. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/fsn3.3928>. Acesso em: 9 jun. 2024.

LIU, Zhaohan et al. The impact of passion fruit peel powder on the physicochemical, sensory properties, and antioxidant activity of goat milk yoghurt. **International Journal Of Food Science And Technology**, [S.L.], v. 59, n. 7, p. 4572-4582, 6 maio 2024. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.17181>. Disponível em: <https://academic.oup.com/ijfst/article/59/7/4572/7911651>. Acesso em: 2 fev. 2025.

LOW, X.y. et al. Extraction of bioactive compounds from passion fruit waste and their potential applications in the food industry: a scoping review. **Food Research**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 142-156, 12 dez. 2024. Rynnye Lyan Resources. [http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.8\(s4\).7](http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.8(s4).7). Disponível em: https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/_20_fr-kliafp12-7_low. Acesso em: 9 abr. 2024.

MICHELE, Alessandro di et al. Formulation and characterization of sustainable bioadhesive films for wound treatment based on barley β -glucan extract obtained using the high power ultrasonic technique. **International Journal Of Pharmaceutics**, [S.L.], v. 638, p. 122925, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122925>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378517323003459>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MISRAN, Erni et al. One-step process of glycerol purification by adsorption using passion fruit peel-based activated carbon. **Case Studies In Chemical And Environmental Engineering**, [S.L.], v. 11, p. 101216, jun. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101216>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2666016425001239>. Acesso em: 4 ago. 2025.

MOTA, Adnaildo Miranda et al. Enriquecimento de Pectina através da técnica squeeze-flow empregando a concha da *Lucina Pectinata* como fonte de carbonato de cálcio. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 1-17, 6 mar. 2022. Universidade Federal de Vicosa. <http://dx.doi.org/10.18540/jcecvl8iss2pp13693-01e>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/13693>. Acesso em: 19 jul. 2024.

- NARASAGOUDR, Shivayogi S. et al. Physico-chemical and functional properties of rutin induced chitosan/poly (vinyl alcohol) bioactive films for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 109, p. 106096, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106096>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X20306895>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- NASTASI, Joseph Robert et al. Tuning the mechanical properties of pectin films with polyphenol-rich plant extracts. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 253, p. 127536, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127536>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813023044331>. Acesso em: 5 jul. 2025.
- NGUYEN, Thuy Thi Thanh et al. Characterizations and antibacterial activities of passion fruit peel pectin/chitosan composite films incorporated Piper betle L. leaf extract for preservation of purple eggplants. **Heliyon**, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 10096, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10096>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2405844022013846>. Acesso em: 3 jul. 2024.
- NGUYEN, Trung Hau et al. The effects of extraction conditions on the yield of crude pectin extract from passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) and the application of the extract on jam forming ability. **Can Tho University Journal Of Science**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 99-108, 27 jun. 2022. Can Tho University. <http://dx.doi.org/10.22144/ctu.jen.2022.013>. Disponível em: <https://ctujs.ctu.edu.vn/index.php/ctujs/article/view/430>. Acesso em: 17 set. 2024.
- NING, Xin et al. Evaluation of passion fruit mesocarp flour on the paste, dough, and quality characteristics of dried noodles. **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1657-1666, mar. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.2788>. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/fsn3.2788>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- NOR, Shahidah Md et al. Passion Fruit—A Potential Crop for Exploration in Malaysia: a review. **Pertanika Journal Of Tropical Agricultural Science**, [S.L.], v. 45, n. 3, p. 761-780, 9 ago. 2022. Universiti Putra Malaysia. <http://dx.doi.org/10.47836/pjtas.45.3.14>. Disponível em: <http://www.pertanika.upm.edu.my/pjtas/browse/regular-issue?article=JTAS-2454-2022>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- PAZDIORA, Raul Dirceu et al. Substituting corn grain for passion fruit peels in feed for confined sheep. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [S.L.], v. 22, p. 1-14, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-99402122142021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/V9vSGXwKBSXqTNgYY5fXHZh>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- PEREIRA, Débora Tamires Vitor et al. Concentration of bioactive compounds from grape marc using pressurized liquid extraction followed by integrated membrane processes. **Separation And Purification Technology**, [S.L.], v. 250, p. 117206, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117206>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1383586620316804>. Acesso em: 13 jul. 2024.

PEREIRA, Débora Tamires Vitor et al. Phenolic compounds from passion fruit rinds using ultrasound-assisted pressurized liquid extraction and nanofiltration. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 325, p. 110977, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110977>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0260877422000310>. Acesso em: 13 jul. 2024.

PEREIRA, Marlene G. et al. Assessment of subcritical propane, ultrasound-assisted and Soxhlet extraction of oil from sweet passion fruit (*Passiflora alata* Curtis) seeds. **The Journal Of Supercritical Fluids**, [S.L.], v. 128, p. 338-348, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2017.03.021>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S089684461730044X>. Acesso em: 13 jul. 2024.

QIN, Chungue et al. Preparation, physicochemical properties, antioxidant, and antibacterial activities of quaternized hawthorn pectin films incorporated with thyme essential oil. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 41, p. 101235, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101235>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214289423002120>. Acesso em: 10 out. 2024.

QIN, Chungue; LI, Zhixin; ZHANG, Jiarui; MENG, Huanmei; ZHU, Chuanhe. Preparation, physicochemical properties, antioxidant, and antibacterial activities of quaternized hawthorn pectin films incorporated with thyme essential oil. **Food Packaging And Shelf Life**, [S.L.], v. 41, p. 101235, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101235>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214289423002120>. Acesso em: 22 ago. 2025.

RAMAKRISHNAN, Rejish et al. Alginate/carboxymethyl cellulose/starch-based active coating with grapefruit seed extract to extend the shelf life of green chilli. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 199, p. 116752, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116752>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669023005174>. Acesso em: 14 jul. 2024.

RAZZAQ, Hussam A.A. et al. Barley β -glucan-protein based bioplastic film with enhanced physicochemical properties for packaging. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 58, p. 276-283, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.003>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X16300844>. Acesso em: 06 abr. 2024.

Re, R., et al., Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 1999. 26(9): p. 1231-1237.

REICHEMBACH, Luis Henrique et al. Pectins from alternative sources and uses beyond sweets and jellies: an overview. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 118, p. 106824, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106824>. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X2100240X>. Acesso em: 19 ago. 2025.

RIABI, Zohreh et al. Carboxymethyl cellulose-based functional film integrated with chitosan-based carbon quantum dots for active food packaging applications. **Progress In Organic Coatings**, [S.L.], v. 166, p. 106794, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106794>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0300944022000911>. Acesso em: 6 fev. 2025.

RIAZ, Asad et al. Effect of Chinese chives (*Allium tuberosum*) addition to carboxymethyl cellulose based food packaging films. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 235, p. 115944, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115944>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0144861720301181>. Acesso em: 6 fev. 2025.

RIBEIRO, Ana Carolina Barbosa et al. From mango by-product to food packaging: pectin-phenolic antioxidant films from mango peels. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 193, p. 1138-1150, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.131>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813021022893>. Acesso em: 14 jul. 2024.

SAID, Nurul Saadah et al. Novel edible films fabricated with HG-type pectin extracted from different types of hybrid citrus peels: effects of pectin composition on film properties. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 253, p. 127238, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127238>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813023041351>. Acesso em: 16 fev. 2025.

SAMPAIO, Raquel Flôres et al. Flour of Winged-stem Passion Fruit Peel: nutritional composition, incorporation in cookies, and sensory acceptability. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [S.L.], v. 65, p. 1-8, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2022200776>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/pKsKYLqpy5rh3FzVNmPjH4M>. Acesso em: 16 fev. 2025.

SANTOS, Jéssyka R. et al. Effect of different pretreatments of *Passiflora edulis* peel biomass on the conversion process into bioproducts for biorefineries. **Sustainable Chemistry For The Environment**, [S.L.], v. 2, p. 100013, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2949839223000135>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SANTOS, Lára Franco dos et al. Brazilian native fruit pomace as a source of bioactive compounds on starch-based films: antimicrobial activities and food simulator release. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 242, p. 124900, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124900>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813023017944>. Acesso em: 6 jul. 2024.

SEYEDZADEH-HASHEMI, Sahar et al. Characterization of synbiotic films based on carboxymethyl cellulose/ β -glucan and development of a shelf life prediction model. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 51, p. 102228, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102228>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2212429222006873>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SGANZERLA, William Gustavo et al. Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: a perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*solanum lycopersicum* l. var. *cerasiforme*). **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, [S.L.], v. 33, p. 101989, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101989>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1878818121000852>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SHARIFI, Kurush Aghbolagh et al. Biodegradable film of black mulberry pulp pectin/chlorophyll of black mulberry leaf encapsulated with carboxymethylcellulose/silica nanoparticles: investigation of physicochemical and antimicrobial properties. **Materials Chemistry And Physics**, [S.L.], v. 267, p. 124580, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124580>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0254058421003631>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SOLOMAKOU, Nikoletta et al. Recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds through optimized extraction processes. **Sustainable Chemistry And Pharmacy**, [S.L.], v. 25, p. 100592, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2021.100592>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2352554121002199>. Acesso em: 17 jul. 2024.

SONG, Cai-Li et al. Synthesis and Characterization of Lignin-Incorporated Carboxymethyl Cellulose (CMC) Films from Oil Palm Lignocellulosic Waste. **Processes**, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 2205, 26 out. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr10112205>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/11/2205>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SOUGANDHI, Pagadala R. et al. Multifunctional Bio-Nanocomposite Films of Carboxymethyl Cellulose and Pectin with Incorporated Zinc Oxide Nanoparticles. **Letters In Applied Nanobioscience**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 85, 22 maio 2022. AMG Transcend Association. <http://dx.doi.org/10.33263/lianbs123.085>. Disponível em: <https://nanobioletters.com/wp-content/uploads/2022/05/LIANBS123.085>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SURAIYA, Sharmin et al. Isolation and Characterization of β -Glucan Containing Polysaccharides from *Monascus* spp. Using *Saccharina japonica* as Submerged Fermented Substrate. **Polysaccharides**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 435-449, 31 ago. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polysaccharides5030027>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4176/5/3/27>. Acesso em: 22 out. 2024.

TAN, Yan Ying et al. Sustainable Dye Adsorption Using Novel Activated Carbon Prepared from Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Leaf: mechanism and cost analysis. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [S.L.], v. 62, n. 36, p. 14507-14521, 29 ago. 2023. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.3c01303>. Disponível em: <https://pubs-acscs.org.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1021/acs.iecr.3c01303>. Acesso em: 22 jul. 2025.

TELEKY, Bernadette-Emőke et al. Development of Pectin and Poly(vinyl alcohol)-Based Active Packaging Enriched with Itaconic Acid and Apple Pomace-Derived Antioxidants. **Antioxidants**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 1729, 31 ago. 2022. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/antiox11091729>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2076-3921/11/9/1729>. Acesso em: 6 set. 2025.

THIVYA, P. et al. Study on the characteristics of gluten/alginate-cellulose/onion waste extracts composite film and its food packaging application. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 390, p. 133221, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133221>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814622011839>. Acesso em: 22 ago. 2025.

UTAMA-ANG, Nirammon et al. Development of edible Thai rice film fortified with ginger extract using microwave-assisted extraction for oral antimicrobial properties. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1, 21 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC.

<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-94430-y>. Disponível em:

<https://www-nature-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/articles/s41598-021-94430-y>. Acesso em: 6 set. 2025.

VARGAS-TORRICO, Maria Fernanda; AGUILAR-MÉNDEZ, Miguel A.; JESÖS, Elba Ronquillo-De; JAIME-FONSECA, Mónica R.; VON BORRIES-MEDRANO, Erich. Preparation and characterization of gelatin-carboxymethylcellulose active film incorporated with pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract for the preservation of raspberry fruit. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 150, p. 109677, maio 2024. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109677>. Disponível em:

<https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X23012237>. Acesso em: 6 fev. 2025.

VIDAL, Oscar Lombo et al. Production of bioactive films of carboxymethyl cellulose enriched with green coffee oil and its residues. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 146, p. 730-738, mar. 2020. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.123>. Disponível em:

<https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141813019355710>. Acesso em: 18 jul. 2024.

WANAPAT, Metha et al. The recycling of tropical fruit peel waste-products applied in feed additive for ruminants: food manufacturing industries, phytonutrient properties, mechanisms, and future applications. **Journal Of Agriculture And Food Research**, [S.L.], v. 17, p. 101234, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101234>. Disponível em:

<https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2666154324002710>. Acesso em: 6 fev. 2025.

WANI, Khalid Mehmood et al. Characterization of pectin extracted from pomelo peel using pulsed ultrasound assisted extraction and acidic hot water extraction process. **Applied Food Research**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 100345, dez. 2023. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2023.100345>. Disponível em:

<https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2772502223000823>. Acesso em: 18 jul. 2024.

WEI, Huan; PASCALL, Melvin A.. Evaluation of structural and functional properties of citrus pectin film enriched with green tea extract. **Polymer Engineering & Science**, [S.L.], v. 63, n.

8, p. 2522-2533, 15 jun. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pen.26393>. Disponível em: <https://4spepublications-onlinelibrary-wiley-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/pen.26393>. Acesso em: 18 jul. 2024.

WEYYA, Getu et al. Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) by-products as a source of bioactive compounds for non-communicable disease prevention: extraction methods and mechanisms of action. **Frontiers In Nutrition**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-14, 6 jun. 2024. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2024.1340511>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2024.1340511>. Acesso em: 6 fev. 2025.

YANG, Wenjing; ZHANG, Shikai; HU, Yanna; FU, Quanbin; CHENG, Xinxin; LI, Yijing; WU, Peng; LI, Houshen; AI, Shiyun. Pectin-based film activated with carboxylated cellulose nanocrystals-stabilized oregano essential oil Pickering emulsion. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 151, p. 109781, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109781>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X24000559>. Acesso em: 26 ago. 2025.

YILDIRIM-YALCIN, Meral et al. Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 129, p. 179-193, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0924224422004010>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ZHANG, Juan et al. Phytochemistry, nutritional composition, health benefits and future prospects of *Passiflora*: a review. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 428, p. 136825, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136825>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814623014437>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ZHANG, Shikai et al. Enhancing the performance of konjac glucomannan films through incorporating zein-pectin nanoparticle-stabilized oregano essential oil Pickering emulsions. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 124, p. 107222, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107222>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X2100638X>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ZHANG, Shikai; CHENG, Xinxin; FU, Quanbin; LI, Yijing; WU, Peng; QIAO, Yiheng; YAN, Jianfeng; SI, Lin; WATERHOUSE, Geoffrey I.N.; LI, Houshen. Pectin-nanolignin composite films with water resistance, UV resistance, and antibacterial activity. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 143, p. 108783, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108783>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X23003296>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ZHANG, Xueli et al. Edible films of pectin extracted from dragon fruit peel: effects of boiling water treatment on pectin and film properties. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 147, p. 109324, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109324>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X23008706>. Acesso em: 9 nov. 2024.

ZHAO, Xiaolei et al. Selective Adsorption of CR (VI) onto Amine-Modified Passion Fruit Peel Biosorbent. **Processes**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 790, 30 abr. 2021. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/pr9050790>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/5/790>. Acesso em: 22 jul. 2025.

ZHAO, Yang et al. Different aggregation states of barley β -glucan molecules affects their solution behavior: a comparative analysis. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 101, p. 105543, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105543>. Disponível em:

<https://www-sciencedirect-com.ez37.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X19322398>. Acesso em: 15 fev. 2025.

APÊNDICE A - Testes de Tukey

Tabela 11 - Teste de Tukey para a Espessura

(continua)						
Tratamentos	Dif. Med.	SEM	q	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀ CMC/E ₀	0,00448	0,01855	0,34183	1	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₀	-0,00443	0,01855	0,33802	1	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	-0,00892	0,01855	0,67985	0,99969	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	-0,01553	0,01855	1,18434	0,98972	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	-0,02002	0,01855	1,52617	0,95754	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	-0,0111	0,01855	0,84632	0,99871	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₀	0,00558	0,01855	0,4257	0,99999	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₃₀	0,0011	0,01855	0,08387	1	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₆₀	0,01002	0,01855	0,76372	0,99934	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₁₀₀	0,02112	0,01855	1,61004	0,94402	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₀	0,01225	0,01855	0,934	0,99759	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₃₀	0,00777	0,01855	0,59217	0,99988	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₆₀	0,01668	0,01855	1,27202	0,98442	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₁₀₀	0,02778	0,01855	2,11834	0,80396	0,05	0
PEC/E ₃₀ PEC/E ₀	0,00667	0,01855	0,5083	0,99996	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₀	0,01392	0,01855	1,06108	0,99468	0,05	0

Tabela 11 - Teste de Tukey para a Espessura

(conclusão)						
Tratamentos	Dif. Med.	SEM	q	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	0,00943	0,01855	0,71925	0,99955	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₆₀	0,01835	0,01855	1,3991	0,9734	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₁₀₀	0,02945	0,01855	2,24542	0,75454	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₀	0,00833	0,01855	0,63538	0,9998	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₃₀	0,00167	0,01855	0,12708	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	5,83E-04	0,01855	0,04448	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	-0,0039	0,01855	0,29736	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	0,00502	0,01855	0,3825	0,99999	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₁₀₀	0,01612	0,01855	1,22882	0,98724	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₀	-0,005	0,01855	0,38123	0,99999	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₃₀	-0,01167	0,01855	0,88953	0,99823	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₆₀	-0,01333	0,01855	1,0166	0,99591	0,05	0

Fonte: Autor (2025)

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

Tabela 12 - Teste de Tukey - Parâmetro L*

(continua)						
Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀ CMC/E ₀	-8,615	2,21653	5,49663	0,05467	0,05	0

Tabela 12 - Teste de Tukey - Parâmetro L*

(continuação)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₆₀ CMC/E ₀	-9,95	2,21653	6,34841	0,02574	0,05	1
CMC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	-1,335	2,21653	0,85177	0,99774	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	-14,285	2,21653	9,11427	0,00284	0,05	1
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	-5,67	2,21653	3,61763	0,29116	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	-4,335	2,21653	2,76586	0,55496	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₀	-4,625	2,21653	2,95089	0,48907	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₃₀	3,99	2,21653	2,54574	0,63655	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₆₀	5,325	2,21653	3,39751	0,34864	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₁₀₀	9,66	2,21653	6,16338	0,03024	0,05	1
PEC/E ₃₀ CMC/E ₀	-5,56	2,21653	3,54745	0,30861	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₃₀	3,055	2,21653	1,94918	0,84491	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₆₀	4,39	2,21653	2,80096	0,54221	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₁₀₀	8,725	2,21653	5,56682	0,05133	0,05	0
PEC/E ₃₀ PEC/E ₀	-0,935	2,21653	0,59656	0,99976	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₀	-10,925	2,21653	6,97049	0,01514	0,05	1
PEC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	-2,31	2,21653	1,47385	0,95323	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₆₀	-0,975	2,21653	0,62208	0,99969	0,05	0

Tabela 12 - Teste de Tukey - Parâmetro L*

(conclusão)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₆₀ CMC/E ₁₀₀	3,36	2,21653	2,14378	0,7825	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₀	-6,3	2,21653	4,01959	0,20635	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₃₀	-5,365	2,21653	3,42304	0,34156	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	-13,47	2,21653	8,59427	0,00417	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	-4,855	2,21653	3,09764	0,43966	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	-3,52	2,21653	2,24587	0,74693	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₁₀₀	0,815	2,21653	0,52	0,9999	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₀	-8,845	2,21653	5,64338	0,04793	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₃₀	-7,91	2,21653	5,04682	0,08206	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₆₀	-2,545	2,21653	1,62379	0,9268	0,05	0

Fonte: Autor (2025)

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.**Tabela 13** - Teste de Tukey - Parâmetro b*

(continua)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀ CMC/E ₀	6,58	2,87765	3,23372	0,39659	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₀	9,165	2,87765	4,50411	0,13409	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	2,585	2,87765	1,27039	0,97782	0,05	0

Tabela 13 - Teste de Tukey - Parâmetro b*

(continuação)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	15,305	2,87765	7,5216	0,00962	0,05	1
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	8,725	2,87765	4,28788	0,16277	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	6,14	2,87765	3,01748	0,46629	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₀	10,055	2,87765	4,9415	0,09028	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₃₀	3,475	2,87765	1,70778	0,90878	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₆₀	0,89	2,87765	0,43739	0,99997	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₁₀₀	-5,25	2,87765	2,5801	0,62371	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₀	12,655	2,87765	6,21926	0,0288	0,05	1
PEC/E ₃₀ CMC/E ₃₀	6,075	2,87765	2,98554	0,47714	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₆₀	3,49	2,87765	1,71515	0,90709	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₁₀₀	-2,65	2,87765	1,30233	0,97476	0,05	0
PEC/E ₃₀ PEC/E ₀	2,6	2,87765	1,27776	0,97714	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₀	23,235	2,87765	11,41877	6,07E-04	0,05	1
PEC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	16,655	2,87765	8,18505	0,00569	0,05	1
PEC/E ₆₀ CMC/E ₆₀	14,07	2,87765	6,91466	0,01587	0,05	1
PEC/E ₆₀ CMC/E ₁₀₀	7,93	2,87765	3,89717	0,22956	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₀	13,18	2,87765	6,47727	0,02303	0,05	1

Tabela 13 - Teste de Tukey - Parâmetro b*

(conclusão)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₆₀ PEC/E ₃₀	10,58	2,87765	5,19951	0,07147	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	25,21	2,87765	12,38938	3,39E-04	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	18,63	2,87765	9,15566	0,00276	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	16,045	2,87765	7,88527	0,00719	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₁₀₀	9,905	2,87765	4,86778	0,09652	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₀	15,155	2,87765	7,44788	0,01021	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₃₀	12,555	2,87765	6,17012	0,03007	0,05	1
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₆₀	1,975	2,87765	0,97061	0,99506	0,05	0

Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.**Tabela 14** - Teste de Tukey - Parâmetro a*

(continua)

Tratamentos	Mean Diff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀ CMC/E ₀	2,485	0,7451	4,71657	0,11068	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₀	3,16	0,7451	5,99773	0,03498	0,05	1
CMC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	0,675	0,7451	1,28116	0,97682	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	5,325	0,7451	10,10694	0,00142	0,05	1
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	2,84	0,7451	5,39037	0,06016	0,05	0

Tabela 14 - Teste de Tukey - Parâmetro a*

(continuação)

Tratamentos	Mean Diff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	2,165	0,7451	4,10921	0,19073	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₀	1,315	0,7451	2,49589	0,65519	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₃₀	-1,17	0,7451	2,22068	0,75585	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₆₀	-1,845	0,7451	3,50184	0,32039	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₁₀₀	-4,01	0,7451	7,61105	0,00895	0,05	1
PEC/E ₃₀ CMC/E ₀	1,21	0,7451	2,2966	0,72873	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₃₀	-1,275	0,7451	2,41997	0,68346	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₆₀	-1,95	0,7451	3,70113	0,27146	0,05	0
PEC/E ₃₀ CMC/E ₁₀₀	-4,115	0,7451	7,81034	0,00763	0,05	1
PEC/E ₃₀ PEC/E ₀	-0,105	0,7451	0,19929	1	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₀	2,855	0,7451	5,41884	0,05863	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	0,37	0,7451	0,70227	0,99932	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₆₀	-0,305	0,7451	0,5789	0,99981	0,05	0
PEC/E ₆₀ CMC/E ₁₀₀	-2,47	0,7451	4,6881	0,11357	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₀	1,54	0,7451	2,92295	0,49879	0,05	0
PEC/E ₆₀ PEC/E ₃₀	1,645	0,7451	3,12224	0,43167	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	3,63	0,7451	6,8898	0,0162	0,05	1

Tabela 14 - Teste de Tukey - Parâmetro a*

						(conclusão)
Tratamentos	Mean Diff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	1,145	0,7451	2,17323	0,7724	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	0,47	0,7451	0,89207	0,99701	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ CMC/E ₁₀₀	-1,695	0,7451	3,21714	0,40169	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₀	2,315	0,7451	4,39391	0,14804	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₃₀	2,42	0,7451	4,5932	0,12374	0,05	0
PEC/E ₁₀₀ PEC/E ₆₀	0,775	0,7451	1,47096	0,95367	0,05	0

Fonte: Autor (2025)

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

Tabela 15 - Teste de Tukey - Tensão na Ruptura

						(continua)
Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀ CMC/E ₀	0,50764	0,37205	1,9296	0,85552	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₀	-0,37561	0,37205	1,42773	0,96323	0,05	0
CMC/E ₆₀ CMC/E ₃₀	-0,88325	0,37205	3,35733	0,33738	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₀	0,43325	0,33963	1,80401	0,89041	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₃₀	-0,07439	0,33963	0,30976	1	0,05	0
CMC/E ₁₀₀ CMC/E ₆₀	0,80885	0,33963	3,36801	0,33415	0,05	0
PEC/E ₀ CMC/E ₀	0,16154	0,33963	0,67264	0,99957	0,05	0

Tabela 15 - Teste de Tukey - Tensão na Ruptura

(continuação)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₀						
CMC/E ₃₀	-0,3461	0,33963	1,44113	0,96145	0,05	0
PEC/E ₀						
CMC/E ₆₀	0,53715	0,33963	2,23664	0,75206	0,05	0
PEC/E ₀						
CMC/E ₁₀₀	-0,27171	0,30378	1,26491	0,9805	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₀	-0,40253	0,33963	1,6761	0,92061	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₃₀	-0,91017	0,33963	3,78987	0,22418	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₆₀	-0,02692	0,33963	0,1121	1	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₁₀₀	-0,83578	0,30378	3,89088	0,20274	0,05	0
PEC/E ₃₀						
PEC/E ₀	-0,56407	0,30378	2,62597	0,60049	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₀	-0,44382	0,37205	1,68703	0,91824	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	-0,95146	0,37205	3,61663	0,26527	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₆₀	-0,06822	0,37205	0,2593	1	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₁₀₀	-0,87707	0,33963	3,65206	0,25641	0,05	0
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₀	-0,60536	0,33963	2,52069	0,64228	0,05	0
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₃₀	-0,0413	0,33963	0,17195	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	0,48838	0,37205	1,85638	0,87647	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	-0,01926	0,37205	0,07322	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₆₀	0,86398	0,37205	3,28411	0,36004	0,05	0

Tabela 15 - Teste de Tukey - Tensão na Ruptura

(conclusão)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₁₀₀	0,05513	0,33963	0,22955	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₀	0,32684	0,33963	1,36093	0,97125	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₃₀	0,8909	0,33963	3,70966	0,24251	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₆₀	0,9322	0,37205	3,54341	0,28433	0,05	0

Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.**Tabela 16 - Teste de Tukey - Alongamento na Ruptura**

(continua)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀						
CMC/E ₀	1,49696	2,02892	1,04342	0,99342	0,05	0
CMC/E ₆₀						
CMC/E ₀	-14,59944	2,02892	10,17621	3,18E-04	0,05	1
CMC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	-16,0964	2,02892	11,21963	1,30E-04	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	-16,64199	1,85214	12,70708	3,99E-05	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	-18,13895	1,85214	13,85009	1,72E-05	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₆₀	-2,04255	1,85214	1,5596	0,9432	0,05	0
PEC/E ₀						
CMC/E ₀	-8,24149	1,85214	6,29283	0,01506	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₃₀	-9,73844	1,85214	7,43584	0,00445	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₆₀	6,35795	1,85214	4,85465	0,07322	0,05	0

Tabela 16 - Teste de Tukey - Alongamento na Ruptura

(continuação)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₀						
CMC/E ₁₀₀	8,4005	1,65661	7,17135	0,00587	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₀	-9,88649	1,85214	7,54889	0,00396	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₃₀	-11,38345	1,85214	8,69189	0,00126	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₆₀	4,71295	1,85214	3,5986	0,26987	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₁₀₀	6,7555	1,65661	5,76704	0,02681	0,05	1
PEC/E ₃₀						
PEC/E ₀	-1,64501	1,65661	1,40431	0,96619	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₀	-3,04326	2,02892	2,12124	0,7935	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	-4,54022	2,02892	3,16466	0,39911	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₆₀	11,55618	2,02892	8,05497	0,00236	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₁₀₀	13,59873	1,85214	10,38338	2,65E-04	0,05	1
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₀	5,19822	1,85214	3,96913	0,18734	0,05	0
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₃₀	6,84323	1,85214	5,22519	0,04875	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	0,1316	2,02892	0,09173	1	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	-1,36536	2,02892	0,95169	0,99619	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₆₀	14,73104	2,02892	10,26794	2,94E-04	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₁₀₀	16,77359	1,85214	12,80757	3,70E-05	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₀	8,37309	1,85214	6,39332	0,0135	0,05	1

Tabela 16 - Teste de Tukey - Alongamento na Ruptura

(conclusão)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₃₀	10,0181	1,85214	7,64937	0,00357	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₆₀	3,17486	2,02892	2,21297	0,76076	0,05	0

Fonte: Autor (2025).

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.**Tabela 17 - Teste de Tukey - FRAP**

(continua)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀						
CMC/E ₀	3,9547	0,38528	14,51601	1,07E-04	0,05	1
CMC/E ₆₀						
CMC/E ₀	6,26849	0,38528	23,00895	3,12E-06	0,05	1
CMC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	2,31379	0,38528	8,49294	0,0045	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	15,50826	0,38528	56,92415	0	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	11,55356	0,38528	42,40814	0	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₆₀	9,23976	0,38528	33,9152	4,66E-08	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₀	1,66552	0,38528	6,11342	0,0316	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₃₀	-2,28918	0,38528	8,40258	0,00482	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₆₀	-4,60297	0,38528	16,89552	3,43E-05	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₁₀₀	-13,84273	0,38528	50,81073	0	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₀	5,28286	0,38528	19,3911	1,29E-05	0,05	1

Tabela 17 - Teste de Tukey - FRAP

						(conclusão)
Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₃₀	1,32816	0,38528	4,8751	0,09588	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₆₀	-0,98563	0,38528	3,61784	0,29111	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₁₀₀	-10,2254	0,38528	37,53305	0	0,05	1
PEC/E ₃₀						
PEC/E ₀	3,61733	0,38528	13,27768	2,05E-04	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₀	7,7624	0,38528	28,49245	4,88E-07	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	3,8077	0,38528	13,97644	1,41E-04	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₆₀	1,49391	0,38528	5,4835	0,05532	0,05	0
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₁₀₀	-7,74585	0,38528	28,4317	4,98E-07	0,05	1
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₀	6,09688	0,38528	22,37903	4,04E-06	0,05	1
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₃₀	2,47954	0,38528	9,10134	0,00287	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	11,5434	0,38528	42,37087	0	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	7,5887	0,38528	27,85486	6,06E-07	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₀	9,87788	0,38528	36,25744	0	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₆₀	3,781	0,38528	13,87842	1,49E-04	0,05	1

Fonte: Autor (2025)

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.

Tabela 18 - Teste de Tukey - TEAC

(continua)

Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
CMC/E ₃₀						
CMC/E ₀	5,16001	0,28076	25,99141	1,13E-06	0,05	1
CMC/E ₆₀						
CMC/E ₀	9,58249	0,28076	48,26786	0	0,05	1
CMC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	4,42249	0,28076	22,27645	4,18E-06	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	16,26091	0,28076	81,90764	0	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	11,1009	0,28076	55,91623	0	0,05	1
CMC/E ₁₀₀						
CMC/E ₆₀	6,67842	0,28076	33,63978	5,56E-08	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₀	-1,18907	0,28076	5,98947	0,03524	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₃₀	-6,34908	0,28076	31,98088	1,30E-07	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₆₀	-10,77157	0,28076	54,25733	0	0,05	1
PEC/E ₀						
CMC/E ₁₀₀	-17,44999	0,28076	87,89711	0	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₀	0,56886	0,28076	2,86539	0,51909	0,05	0
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₃₀	-4,59115	0,28076	23,12602	3,00E-06	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₆₀	-9,01363	0,28076	45,40247	0	0,05	1
PEC/E ₃₀						
CMC/E ₁₀₀	-15,69205	0,28076	79,04224	0	0,05	1
PEC/E ₃₀						
PEC/E ₀	1,75793	0,28076	8,85486	0,00343	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₀	3,42365	0,28076	17,24522	2,95E-05	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₃₀	-1,73636	0,28076	8,74619	0,00372	0,05	1

Tabela 18 - Teste de Tukey - TEAC

						(conclusão)
Tratamentos	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₆₀	-6,15885	0,28076	31,02264	1,94E-07	0,05	1
PEC/E ₆₀						
CMC/E ₁₀₀	-12,83726	0,28076	64,66242	0	0,05	1
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₀	4,61272	0,28076	23,23469	2,88E-06	0,05	1
PEC/E ₆₀						
PEC/E ₃₀	2,85479	0,28076	14,37982	1,14E-04	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₀	5,34564	0,28076	26,92646	8,27E-07	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₃₀	0,18563	0,28076	0,93505	0,99604	0,05	0
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₆₀	-4,23685	0,28076	21,3414	5,80E-06	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
CMC/E ₁₀₀	-10,91527	0,28076	54,98118	0	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₀	6,53471	0,28076	32,91593	8,36E-08	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₃₀	4,77678	0,28076	24,06106	2,17E-06	0,05	1
PEC/E ₁₀₀						
PEC/E ₆₀	1,92199	0,28076	9,68124	0,0019	0,05	1

Fonte: Autor (2025)

Legenda: CMC - Carboximetilcelulose;

PEC - Pectina cítrica comercial;

E₀ - água destilada;

E₃₀ - Extrato fenólico 57 µg AGE . mL⁻¹;

E₆₀ - Extrato fenólico 114 µg AGE . mL⁻¹;

E₁₀₀ - Extrato fenólico 190 µg AGE . mL⁻¹.