

**FERNANDO ANTONIO DE SOUZA EUFRAZIO FILHO**

**DESENVOLVIMENTO DE FILMES ATIVOS ANTIOXIDANTES E  
BIODEGRADÁVEIS CONTENDO EXTRATO DE CASCA DE JABUTICABA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Fabrícia Queiroz Mendes

Coorientador: Allan Robledo Fialho e Moraes

**RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS**  
2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba

T

E86d

Eufrazio Filho, Fernando Antonio de Souza, 1999-

Desenvolvimento de filmes ativos antioxidantes e biodegradáveis contendo extrato de casca de jabuticaba / Fernando Antonio de Souza Eufrazio Filho. – Rio Paranaíba, MG, 2024.

31 f.: il. (algumas color.).

Orientador: Fabrícia Queiroz Mendes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Instituto de ciências agrárias, 2024.

Referências bibliográficas: f 39-40.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvcrp.2024.019>

664.6

Bibliotecário(a) responsável: Ana Paula de  
Souza CRB-6/2922


**FERNANDO ANTONIO DE SOUZA EUFRAZIO FILHO**

**DESENVOLVIMENTO DE FILMES ATIVOS ANTIOXIDANTES E  
BIODEGRADÁVEIS CONTENDO EXTRATO DE CASCA DE JABUTICABA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de julho de 2024.


Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 **FERNANDO ANTONIO DE SOUZA EUFRAZIO FILHO**  
Data: 19/08/2024 11:14:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Fernando Antonio de Souza Eufrazio Filho

Autor

Documento assinado digitalmente  
 **FABRICIA QUEIROZ MENDES**  
Data: 19/08/2024 11:29:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Fabírcia Queiroz Mendes

Orientadora

*Dedico este trabalho a todas as almas que percorreram caminhos difíceis, cujas lutas e sacrifícios pavimentaram a estrada que hoje percorro. Ao amor que moldou cada passo do meu percurso e à criação contínua que inspira o meu futuro.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, pelo dom da vida e da sabedoria. Sua presença constante em minha jornada me deu força, coragem e orientação para superar os desafios e alcançar meus objetivos.

À minha mãe, Tereza, e ao meu pai, Fernando, pelo amor e apoio constantes. Suas palavras de incentivo, apoios diários e exemplos de dedicação e perseverança foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu irmão, Eduardo.

A todos que posso me dirigir como família.

Aos meus íntimos, aqui representados por Gabriela, Pedro, Giovanna, Allan, Luiz, Marco e Vitória. Sua companhia, risos e conselhos fizeram esta jornada mais leve e alegre, proporcionando momentos inesquecíveis de parceria e apoio mútuo.

A todo corpo docente da Universidade Federal de Viçosa, aqui representado pelos meus orientadores Fabrícia e Allan. Sua sabedoria, paciência e orientação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

A todo corpo técnico-administrativo, aqui representado por Lucélia, Istefane, Rodrigo, Sinara e Tainah. Sua dedicação e competência garantiram que eu pudesse contar com um ambiente acadêmico organizado e propício ao estudo e pesquisa.

A todos os terceirizados da UFV que completavam meu dia com singelos “bom dia”, “boa tarde” e “boa noite”. Seus gestos de gentileza e cortesia trouxeram calor humano e um senso de comunidade ao meu cotidiano.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade e por toda sua infraestrutura.

A todos aqueles que já não estão mais aqui, mas cuja presença continua viva em minhas memórias e coração.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo aporte financeiro.

## RESUMO

FILHO, Fernando Antonio de Souza Eufrazio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, julho de 2024. **Desenvolvimento de filmes ativos antioxidantes e biodegradáveis contendo extrato de casca de jabuticaba.** Orientadora: Fabrícia Queiroz Mendes.

A jabuticaba, fruto nativo brasileiro, é rica em antocianinas com propriedades antioxidantes, sendo as cascas frequentemente descartadas como resíduos. A valorização desses subprodutos, que assim como a polpa, são ricos em compostos antioxidantes, pode contribuir para a criação de embalagens ativas que prolongam a vida útil dos alimentos. O uso de materiais biodegradáveis em embalagens de alimentos tem ganhado destaque devido à crescente preocupação ambiental. Este trabalho teve como objetivo desenvolver filmes ativos biodegradáveis a base de Alcool Polivinílico (PVOH) incorporados com extrato de casca de jabuticaba, explorando suas propriedades antioxidantes para aplicação em embalagens de alimentos frescos. A metodologia envolveu a extração de antocianinas da casca de jabuticaba por meio de infusões em meios aquosos e alcóolicos; avaliação de suas propriedades antioxidantes por meio da captura do radical livre DPPH; produção de filmes com base de Álcool Polivinílico (PVOH) e incorporação do extrato. Os filmes foram submetidos a análises de FTIR, resistência mecânica, permeabilidade ao vapor de água e biodegradação. A eficiência antioxidante dos filmes foi testada em salaminhos tipo italiano por quantificação de malonaldeído. Os resultados mostraram que os filmes de PVOH com extrato de jabuticaba apresentaram significativas propriedades antioxidantes, boas propriedades mecânicas, adequada permeabilidade ao vapor de água além de possuir boas propriedades biodegradáveis. Nos testes de eficiência antioxidante, observou-se redução nas reações oxidativas, indicando que os filmes ativos prolongaram a vida útil dos alimentos embalados e preservaram sua qualidade sensorial. Conclui-se que a utilização do extrato de casca de jabuticaba em filmes biodegradáveis representa uma solução sustentável e inovadora para a indústria de embalagens de alimentos.

Palavras-chave: *Plinia cauliflora*; Antocianina; Embalagem ativa; Álcool polivinílico.

## ABSTRACT

FILHO, Fernando Antonio de Souza Eufrazio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, July, 2024. **Development of antioxidant and biodegradable active films containing Jabuticaba peel extract.** Adviser: Fabrícia Queiroz Mendes.

Jabuticaba, a native Brazilian fruit, is rich in anthocyanins with antioxidant properties, with the peels often discarded as waste. The valorization of these by-products can contribute to the creation of active packaging that extends the shelf life of food. The use of biodegradable materials in food packaging has gained prominence due to increasing environmental concerns. This study aimed to develop active biodegradable PVOH-based films added with jabuticaba peel extract, exploring its antioxidant properties for application in fresh food packaging. The methodology involved the extraction of anthocyanins from jabuticaba peels through aqueous and alcoholic infusions; antioxidant properties of the extracts were evaluated using the DPPH radical scavenging method; production of films based on Polyvinyl Alcohol (PVOH); and incorporation of the extract. The films were subjected to FTIR, mechanical resistance, water vapor permeability analyses and biodegradation. The antioxidant efficiency of the films was tested on Italian salami by quantifying malonaldehyde. The results showed that PVOH films with jabuticaba extract presented significant antioxidant properties, good mechanical properties, adequate water vapor permeability in addition to having good biodegradable properties. In tests with salami, a reduction in oxidative reactions was observed, indicating that the active films extended the shelf life of the packaged food and preserved its sensory quality. It is concluded that the use of jabuticaba peel extract in biodegradable films represents a sustainable and innovative solution for the food packaging industry.

Keywords: *Plinia cauliflora*; Anthocyanin; Active packaging; Polyvinyl alcohol.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo geral .....	9
2.2 Objetivos específicos .....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1 Local de condução dos ensaios .....	10
3.2 Materiais e equipamentos .....	10
3.3 Produção dos extratos de casca de jabuticaba .....	10
3.4 Quantificação de antocianinas .....	11
3.5 Análise do poder antioxidante dos extratos .....	12
3.6 Produção dos filmes ativos biodegradáveis .....	12
3.7 Análise do poder antioxidante dos filmes .....	13
3.8 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	13
3.9 Análise das propriedades mecânicas .....	14
3.10 Permeabilidade ao vapor de água (PVA) .....	14
3.11 Biodegradabilidade em solo.....	16
3.12 Análises estatísticas.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
4.1 Quantificação de antocianinas nos extratos .....	16
4.2 Análise do poder antioxidante dos extratos .....	17
4.3 Análise visual dos filmes .....	18
4.4 Infravermelho.....	18
4.5 Espessura .....	22
4.6 Propriedades mecânicas .....	23
4.7 Permeabilidade ao Vapor de Água .....	24
4.8 Análise do poder antioxidante dos filmes .....	25
4.9 Biodegradabilidade .....	26
5. CONCLUSÕES.....	29

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização excessiva de plásticos não biodegradáveis, especialmente nas embalagens de alimentos, representa um desafio significativo para a sustentabilidade ambiental. Esses materiais, devido à sua durabilidade, persistem no ambiente por longos períodos, resultando em uma considerável carga de resíduos sólidos que impactam negativamente os ecossistemas terrestres e marinhos (VÁZQUEZ; SAYDUR RAHMAN, 2021). O acúmulo de plásticos contribui não apenas para a poluição física, mas também para a liberação de microplásticos nos diversos ecossistemas. A transição para materiais de embalagem biodegradáveis é, portanto, uma necessidade urgente para mitigar esses impactos e promover uma gestão de resíduos mais sustentável.

Dentro desse contexto, o desenvolvimento de filmes biodegradáveis é uma área de grande interesse na pesquisa de materiais poliméricos. A incorporação de compostos bioativos, como as antocianinas presentes na casca da jabuticaba, pode conferir funcionalidades adicionais aos filmes, como propriedades antioxidantes e antimicrobianas (YONG; LIU, 2020). As antocianinas são pigmentos fenólicos pertencentes à classe dos flavonoides, responsáveis pelas cores vermelhas, azuis e roxas de muitas frutas. Na jabuticaba, as antocianinas predominantes são a cianidina-3-glucosídeo e a delphinidina-3-glucosídeo. Esses compostos são particularmente eficazes na neutralização de radicais livres e na prevenção da oxidação lipídica, o que os torna adequados para uso em embalagens ativas que prolongam a vida útil dos alimentos (FILHO et al., 2022).

A inclusão de extratos de jabuticaba em matrizes poliméricas biodegradáveis, como o álcool polivinílico (PVOH), visa não apenas substituir os materiais plásticos convencionais, mas também melhorar as propriedades funcionais dos filmes. As propriedades mecânicas e de barreira são de extrema importância para embalagens de alimentos, pois influenciam diretamente a proteção e a conservação dos produtos embalados. Além disso, a capacidade antioxidante dos filmes pode inibir a oxidação lipídica, prolongando a vida útil dos alimentos.

A jabuticaba, uma fruta típica brasileira, é frequentemente subutilizada, com grande parte de sua biomassa sendo descartada. O aproveitamento de suas cascas para a produção de materiais biodegradáveis não só agrega valor aos resíduos agroindustriais, mas também representa uma estratégia de economia circular. Os filmes biodegradáveis enriquecidos com extratos de jabuticaba apresentam um exemplo de inovação que alia sustentabilidade ambiental e funcionalidade tecnológica. A exploração das propriedades bioativas desses extratos, em particular das antocianinas, permite o desenvolvimento de embalagens ativas que, além de proteger os alimentos, podem oferecer benefícios adicionais, como a preservação da qualidade e segurança alimentar.

Este trabalho visa investigar as propriedades físico-químicas e funcionais dos filmes de PVOH incorporados com extratos de jabuticaba, com ênfase na caracterização das antocianinas cianidina-3-glucosídeo e delphinidina-3-glucosídeo. A caracterização detalhada desses filmes, incluindo análise de suas propriedades mecânicas, térmicas e de barreira, é essencial para entender seu comportamento e aplicabilidade como materiais de embalagem. A integração de extratos naturais em biopolímeros não só promove a sustentabilidade, mas também abre novas possibilidades para o desenvolvimento de embalagens inovadoras que atendem às exigências do mercado e às crescentes preocupações ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Produzir filme ativo biodegradável acrescido de extrato de casca de jabuticaba e validar sua função antioxidante.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar a melhor forma de extração por infusão de antocianinas de casca de jabuticaba;
- Determinar as propriedades antioxidantes dos extratos;
- Verificar se o filme desenvolvido incorporado com os extratos apresenta propriedades antioxidantes para conservação de salaminho tipo italiano;
- Analisar visualmente os filmes ativos com relação às suas características de homogeneidade, manuseabilidade e presença/ausência de defeitos/imperfeições;
- Determinar a presença e possíveis interações químicas entre os componentes dos filmes ativos, suas propriedades mecânicas e de permeabilidade ao vapor d'água, bem como verificar se a adição do composto ativo interfere de forma negativa nessas propriedades, em relação ao filme controle;
- Determinar a biodegradabilidade dos filmes ativos;
- Aumentar a demanda por pesquisa com base em frutos nativos brasileiros.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de condução dos ensaios

O estudo foi conduzido em condições de laboratório na Universidade Federal de Viçosa (UFV) – *Campus* Rio Paranaíba e no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da UFV – *Campus* Viçosa, durante os meses de setembro de 2022 a julho de 2024.

#### 3.2 Materiais e equipamentos

Jabuticabas adquiridas com um produtor local, água destilada, álcool etílico 70%, ácido clorídrico (HCl), álcool polivinílico (PVOH), glicerol, béqueres, agitador magnético, bandejas de plástico, espátulas de laboratório, cloreto de potássio (KCl), acetato de sódio (CH<sub>3</sub>COOH), tubos de ensaio, DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), ácido tiobarbitúrico (TBA), potes de plástico, salaminho tipo italiano, cadinhos, maceradores, régua, estilete, cápsulas circulares.

Balança analítica, estufa, chapa aquecedora, pHmetro, espectrofotômetro UV VIS, Infravermelho com Transformada de Fourier, BOD, sistema de desilação, Aparelho Universal de testes Instron modelo 3367 (Corporation, Norwood, MA, EUA), dessecadores.

#### 3.3 Produção dos extratos de casca de jabuticaba

Foram realizados dois procedimentos de extração de antocianinas de casca de jabuticaba, ambos por infusão (Figura 1).

- Infusão em água: 100 g de cascas de jabuticaba foram adicionadas a 1000 mL de água destilada e 150 mL de solução de HCl 0,5 mol/L. A solução ficou em repouso por 72 h (Figura 1).

- Infusão em álcool: 100 g de cascas de jabuticaba foram adicionadas a 1000 mL de álcool etílico 96° Gl e 15% de solução de HCl 0,5 mol/L. A solução ficou em repouso por 72 h (Figura 1).

Os extratos líquidos foram concentrados em Rotavapor, a fim de eliminar parte dos solventes.

Figura 1: Infusão de cascas de jabuticaba (A); infusões após 72 h, coadas (B).



Fonte: autor (2024).

Após extração, todos os extratos foram acondicionados em refrigeração e revestidos com papel alumínio, protegidos de qualquer fonte de calor e contato com luz.

### 3.4 Quantificação de antocianinas

A quantificação das antocianinas presentes nos extratos de jabuticaba foi realizada utilizando a metodologia do diferencial de pH, conforme descrito na AOAC de 2005. Inicialmente, foram preparadas soluções tampão com pH 1, utilizando cloreto de potássio a uma concentração de 0,025 mol/L, e tampão com pH 4,5, preparado com acetato de sódio a uma concentração de 0,4 mol/L, ajustando o pH com solução HCl 1%.

As leituras espectrofotométricas foram realizadas em dois comprimentos de onda, 520 nm e 700 nm, visando à determinação das concentrações de antocianinas.

As soluções foram preparadas em tubos de ensaio, contendo as soluções tampão ajustadas, juntamente com os extratos de jabuticaba (50:1). Posteriormente, as leituras espectrofotométricas foram feitas em um espectrofotômetro, sendo o comprimento de onda de 520 nm utilizado para determinação das concentrações de antocianinas, e em 700 nm para correção. O valor de antocianinas totais é calculado através das equações 1 e 2.

$$A = (Abs\ 520nm - Abs\ 700nm)_{pH\ 1.0} - (Abs\ 520nm - Abs\ 700nm)_{pH\ 4.5} \quad \text{Equação 1}$$

$$AT = \frac{A.P.M.FD.10^3}{\epsilon} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo AT antocianinas totais; PM o peso molecular da cianidina-3-glicosídeo (449,2 g/mol); FD o fator de diluição (50);  $10^3$  é o fator de correção de g para mg; e  $\epsilon$  é o coeficiente de extinção molar da cianidina-3-glicosídeo (26900).

### 3.5 Análise do poder antioxidante dos extratos

A análise antioxidante dos extratos foi conduzida utilizando-se a metodologia de captura do radical livre DPPH adaptada de Rufino et al. (2007). Este método baseia-se na capacidade dos antioxidantes presentes nos extratos em reduzir o radical livre DPPH, que apresenta uma coloração roxa intensa em solução, para uma forma reduzida de coloração amarela. A diminuição na absorção da cor roxa é medida em espectrofotômetro a 516 nm, indicando a atividade antioxidante do extrato.

Para estabelecer a curva padrão, foram preparadas sete soluções de DPPH em etanol (96° GL) com concentrações finais de 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60  $\mu\text{mol/L}$ . A solução inicial de DPPH foi de 60  $\mu\text{mol/L}$ . A leitura do branco no espectrofotômetro foi realizada utilizando etanol puro. Em tubos de ensaio, foram preparadas soluções contendo 3,9 mL da solução de DPPH (60  $\mu\text{mol/L}$ ) e 0,1 mL do extrato de casca de jabuticaba. A redução na absorção da solução de DPPH ao adicionar o extrato de casca de jabuticaba reflete a capacidade antioxidante dos compostos presentes no extrato.

As atividades sequestradoras (% poder sequestrante) de radicais dos extratos foram calculadas pela equação 3.

$$\% \text{sequestrante} = 1 - \frac{\text{DPPH}_{30}}{\text{DPPH}_B} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

### 3.6 Produção dos filmes ativos biodegradáveis

Os filmes foram produzidos com base polimérica de Álcool Polivinílico (PVOH) a 3% m/v. O solvente para produção dos filmes foi água destilada.

Todas as formulações filmogênicas foram acrescidas de glicerol 10% (m/m do polímero), a fim de servir como plastificante, melhorando a maleabilidade e estrutura do filme. Também foi adicionado 10% (v/v da solução filmogênica) da suspensão de extrato de casca de jabuticaba. Foi realizado um terceiro tratamento, a ser utilizado como branco, contendo somente em sua formulação a matriz polimérica, o plastificante e o solvente.

A formulação polimérica a partir de PVOH necessita de aquecimento e agitação constante

para dispersão dos componentes do filme. Logo, foi aquecida a uma temperatura constante de 80 °C até completa homogeneização. Ao final, foram vertidas em formas de silicone de 4,5 cm de diâmetro, contendo aproximadamente 20 g de filme. Foram secos em estufa a 65 °C por 12 h.

Desta forma, para todos os testes realizados com os filmes produzidos, os filmes foram identificados como:

FEAL: Filme com Extrato Alcólico;

FEAQ: Filme com Extrato Aquoso;

FSE: Filme Sem Extrato.

### **3.7 Análise do poder antioxidante dos filmes**

Para avaliar a eficácia da ação antioxidante dos filmes ativos produzidos com extrato de casca de jabuticaba, optou-se pela quantificação de malonaldeído em salaminho tipo italiano, utilizando por base a metodologia proposta por Tarladgis et al. (1960) e a metodologia descrita por Araújo (2015).

Inicialmente, as amostras de salaminho italiano foram pesadas e colocadas em um pote vedado, com os filmes dispostos na parte superior. As amostras foram então armazenadas em uma incubadora BOD por 15 dias a 20 °C. Durante este período, a oxidação dos lipídios no salaminho levou à formação de hidroperóxidos, que posteriormente se decompõem em aldeídos, incluindo o malonaldeído. A presença do malonaldeído é um indicativo da extensão da oxidação lipídica e, conseqüentemente, da eficácia dos filmes antioxidantes.

Após os 15 dias de incubação, os salaminhos foram macerados com água destilada. A mistura resultante foi transferida para um destilador, onde foi realizada a destilação. Recolheram-se 5 mL do destilado obtido, que foram então adicionados a 5 mL de solução de ácido tiobarbitúrico (TBA). Esta mistura foi aquecida por 30 min, permitindo que o TBA reagisse com o malonaldeído presente, formando um complexo de cor rosa que pode ser quantificado.

Depois do aquecimento, as amostras foram resfriadas e a leitura da absorbância foi realizada em um espectrofotômetro a 532 nm. O resultado da absorbância obtida foi multiplicado pelo fator de correção de 7,8, e os valores foram expressos em mg de malonaldeído por grama de amostra (ARAÚJO, 2015).

### **3.8 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

A caracterização das amostras foi realizada utilizando a técnica de Espectroscopia de

Infravermelho por Transformada de Fourier (IFTR), com uma faixa de varredura de 450 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  de número de onda, com o objetivo específico de identificar grupos de ligações químicas e suas respectivas interações presentes nas amostras que correspondem às antocianinas, com ênfase nas cianidina-3-glicosídeo e delphinidina-3-glicosídeo, que são os compostos predominantes nas cascas da jabuticaba.

As amostras analisadas incluíram os extratos de jabuticaba, os filmes produzidos a partir desses extratos, bem como os componentes individuais dos filmes e extratos, nomeadamente o álcool polivinílico, o glicerol e o etanol.

A técnica de FTIR permite a identificação e caracterização das ligações e interações químicas presentes nas amostras, fornecendo informações detalhadas sobre a composição molecular e estrutura dos materiais analisados. Essas análises são essenciais para compreender as interações entre os componentes dos filmes e extratos, bem como para avaliar as propriedades funcionais e estruturais dos mesmos. Em particular, foram buscadas as bandas que correspondem aos grupos funcionais típicos dos compostos de antocianinas, como os grupos hidroxila (-OH), carbonila (C=O), e ligações C-O-C presentes nas unidades de açúcar que formam os glicosídeos.

A interpretação dos espectros obtidos permitiu identificar bandas características associadas às diferentes funcionalidades químicas presentes nas amostras, fornecendo assim interpretações sobre sua composição e estrutura molecular. Além disso, permitiu compreender as interações entre as antocianinas e outros componentes dos filmes, como o álcool polivinílico e o glicerol, contribuindo para a elucidação das propriedades funcionais e estruturais desses materiais.

### **3.9 Análise das propriedades mecânicas**

As análises das propriedades mecânicas dos filmes foram realizadas com o auxílio do Aparelho Universal de Testes Instron, seguindo a norma ASTM D 882-12 (ASTM, 2012). As amostras foram previamente condicionadas em ambiente com 50% de UR e 23 °C, por 48 h. Foram determinadas: resistência máxima à tração (MPa) e carga máxima (N), utilizando-se cinco corpos-de-prova com dimensões de 25 mm de largura x 175 mm de comprimento. As condições de teste foram: célula de carga de 1 kN, distância entre garras de 50 mm e velocidade de separação das garras de 500 mm/min.

### **3.10 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)**

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes foi determinada por meio do método dessecante, segundo a metodologia ASTM E 96/E 96M - 05 (ASTM, 2005), com algumas

modificações. Foram utilizadas cápsulas circulares, com paredes impermeáveis, contendo 30 g de Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Os filmes foram então vedados na junção filme/cápsula. Após a montagem das cápsulas, estas foram acondicionadas em dessecadores, contendo ao fundo uma solução saturada de Cloreto de Sódio ( $\text{NaCl}$ ) 36%, mantendo-se a UR em 75% (Figura 2). As cápsulas foram pesadas a cada 12 h, por cinco dias, sendo avaliado o ganho de massa das amostras, devido à água permeada pelo material. Os dados de ganho de massa e tempo foram plotados em gráfico e calculada a taxa de transmissão ao vapor de água (TTVA) (Equação 4):

$$\text{TTVA} = \frac{m}{t.A} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo  $m/t$  o coeficiente angular da curva e  $A$  a área do filme exposto a troca de vapor.

A partir da TTVA e da Equação 5, foi calculada a permeabilidade ao vapor de água (PVA):

$$\text{PVA} = \frac{\text{TTVA}.\varphi}{\text{PVS}.(UR_1 - UR_2)/100} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo TTVA a taxa de transmissão ao vapor de água;  $\varphi$  a espessura; PVS a pressão de vapor saturado da água na temperatura do ensaio; e  $UR_1 - UR_2$  a diferença de UR entre as duas faces do filme.

Figura 2: Cápsulas seladas com o filme dispostas no dessecador.



Fonte: autor (2024).

### **3.11 Biodegradabilidade em solo**

O ensaio de biodegradação foi conduzido na área urbana de Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brasil, utilizando como substrato latossolo coletado localmente. As amostras de filmes produzidos, com dimensões de 4 cm de diâmetro foram cuidadosamente enterradas envoltas em malha plástica em potes herméticos contendo o solo, garantindo condições controladas para o estudo da biodegradação, utilizando como base a metodologia descrita por Arruda et al. (2024).

As análises foram conduzidas de forma qualitativa, visando avaliar a estrutura do filme, sua maleabilidade e a quantidade remanescente ao longo do tempo. A avaliação da degradação baseou-se na aparência visual das amostras, alterações morfológicas ao longo do tempo e na redução de massa dos filmes. Esses parâmetros forneceram percepções sobre a taxa e o grau de degradação dos filmes em contato com o solo. As amostragens foram realizadas em intervalos de 0, 3, 6, 9 e 12 dias para monitorar a progressão da degradação.

Durante o período do ensaio, foram observadas as condições ambientais locais, incluindo temperatura média e variações sazonais. O objetivo foi replicar as condições naturais de degradação para compreender o comportamento dos filmes em um ambiente realista.

### **3.12 Análises estatísticas**

O experimento foi direcionado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 tratamentos e 8 repetições. Foram realizados testes pré-requisitos para ANOVA: teste de aditividade, teste de homocedasticidade e teste de normalidade. Posteriormente, foi realizada a análise de variância e logo em seguida, testes de média Tukey a 5%. Nos casos de determinação do poder antioxidante dos extratos e na determinação do poder antioxidante dos filmes, os dados necessitaram de transformação, sendo, nesses casos, utilizada a transformação Rank. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SpeedStat (CARVALHO et al., 2020).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Quantificação de antocianinas nos extratos**

Os extratos de casca de jabuticaba foram preparados utilizando extrações alcoólica e aquosa, resultando em concentrações de antocianinas de 430,8 mg/100 g e 242,12 mg/100 g, respectivamente. A diferença entre esses valores sugere que o solvente utilizado influencia diretamente na eficiência de extração dos compostos bioativos presentes na casca de jabuticaba.

As antocianinas são compostos que possuem uma estrutura química que geralmente as

torna solúveis em água. Elas são consideradas hidrofílicas devido à presença de grupos hidroxila (-OH) e grupos glicosídeos em sua estrutura molecular. Esses grupos funcionais conferem às antocianinas uma afinidade natural por solventes aquosos.

No entanto, as antocianinas também podem interagir com solventes orgânicos como o álcool, especialmente em condições adequadas de pH e concentração. Isso ocorre porque, apesar de serem hidrofílicas, as antocianinas podem se complexar com compostos orgânicos, permitindo sua extração eficiente por solventes como o álcool. Além disso, apesar de orgânico, o etanol apresenta polaridade significativa, devido ao tamanho da molécula e a presença de grupo OH.

Este resultado está em conformidade com estudos anteriores que destacam a eficiência do álcool como solvente para a extração de antocianinas de diferentes matrizes vegetais, como os resultados obtidos por Silva et al. (2010), 48,06 mg/100g de casca de jabuticaba. Apesar de terem obtido bons resultados com a extração alcóolica, Silva et al. (2010) obteram teores de antocianinas relativamente baixos quando comparados com os resultados deste trabalho. Já Resende et al. (2021), encontraram valores de antocianinas monoméricas totais parecidas com os resultados aqui apresentados. Apesar de ter feito farinha das cascas de jabuticaba e não extração por infusão, seus resultados estão em sincronia com o presente trabalho, reportando valores próximos de 344 mg/100 g de amostra.

Os resultados reforçam a viabilidade da casca de jabuticaba como uma fonte rica em antocianinas, com potencial aplicação em alimentos funcionais e na indústria de suplementos. Futuros estudos podem explorar diferentes solventes e condições de extração para otimizar a extração desses compostos bioativos, além de investigar suas propriedades antioxidantes e potenciais benefícios à saúde.

#### 4.2 Análise do poder antioxidante dos extratos

Os resultados referentes ao poder antioxidante do extrato alcóolico e do extrato aquoso, juntamente com o branco, estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios de poder sequestrante

Tratamentos	Poder sequestrante (%)	Erro padrão do experimento (se).
EAL	90.08 a	0.92
EAQ	70.80 b	0.92
Branco	1.22 c	0.92

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024).

Observa-se diferença significativa entre os tratamentos, indicando que o extrato alcóolico possui um alto poder sequestrante, logo, um alto poder antioxidante. Mesmo sendo menor em comparação ao extrato alcóolico, o extrato aquoso apresenta um alto poder sequestrante, apresentando uma grande eficácia como antioxidante.

As diferenças significativas entre os poderes antioxidantes dos extratos têm relação direta com os valores da quantificação de antocianinas em cada extrato. O fato do extrato alcóolico possuir uma quantidade maior de antocianinas corrobora com o resultado de maior poder sequestrante do radical livre do DPPH, resultando em um poder antioxidante superior ao extrato aquoso.

Filho et al. (2022), avaliando a atividade antioxidante de vários resíduos vegetais, com diferentes extratores e diferentes formas de secagem, encontraram para casca de jabuticaba poder sequestrante variando de 57,77 % a 93,21 %, sendo que diferiu estatisticamente somente a extração com água da casca seca por convecção. E observando também outros resíduos (folha de oliveira, casca de araçá e casca de noz pecã), extratos com água também diferiram de extrato alcoólico, demonstrando que os compostos com atividade antioxidante são melhores extraídos em extrato alcoólico que com aquoso.

### **4.3 Análise visual dos filmes**

Os filmes produzidos a partir do polímero PVOH (3% m/v) com glicerol atuando como plastificante (10% m/m da massa do polímero) e adicionados de extrato de cascas de jabuticaba (10% v/v da solução filmogênica) apresentaram boa homogeneidade em sua estrutura, sem a presença de bolhas ou imperfeições, mantendo medidas constantes de espessura por toda superfície, além de boa distribuição do extrato.

Em relação à maleabilidade, o resultado final do produto é extremamente satisfatório, podendo ser dobrado sem o aparecimento de qualquer rachadura. Quando acrescido do extrato alcóolico de cascas de jabuticaba, apresenta cor roxa intensa. Quando acrescido do extrato aquoso de cascas de jabuticaba, apresenta cor rosa claro. Quando não acrescido de extratos, apresenta estrutura incolor.

### **4.4 Infravermelho**

A técnica da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) representa uma grande ferramenta, tanto na identificação e caracterização de compostos orgânicos

e poliméricos, bem como no estudo das interações intermoleculares que esses compostos podem apresentar, quando isolados ou em misturas, como é o caso dos extratos e filmes ativos adicionados dos extratos. Para melhor compreensão, a análise dos espectros de FTIR será dividida por regiões de absorção.

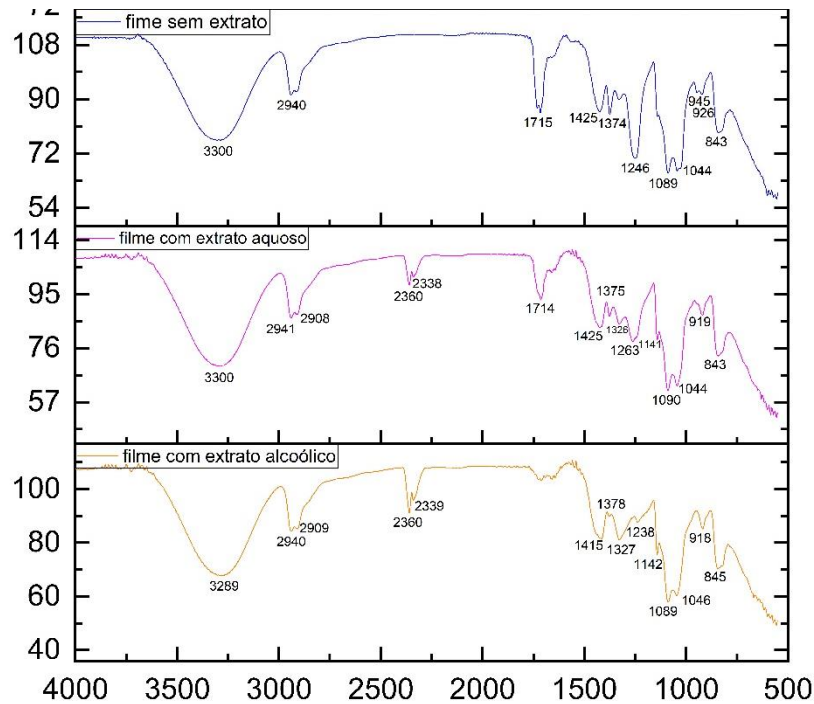
A partir dos resultados demonstrados na figura 3, pode-se iniciar a análise do maior para o menor número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), observando uma grande região de absorção de  $3600\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$  característica do estiramento da ligação O-H (CHOONG et al. 2019). Quando a ligação O-H está “livre”, isto é, sem formar ligações de hidrogênio, sua banda de absorção ocorre na região entre  $3670\text{-}3580\text{ cm}^{-1}$ . Porém, quando absorve em regiões de menores número de onda (abaixo de  $3580\text{ cm}^{-1}$ ), conforme observado no presente estudo, há o forte indicativo da sua participação em ligações de hidrogênio, em consequência do enfraquecimento da ligação O-H, uma vez que o “H” também está interagindo com outro átomo eletronegativo de uma molécula vizinha.

Primeiramente, a banda em  $3300\text{ cm}^{-1}$ , que corresponde ao estiramento O-H, está presente nos filmes sem extrato, indicando estiramento O-H típico da matriz polimérica PVOH. Nos filmes com extrato aquoso, a banda permanece em  $3300\text{ cm}^{-1}$ , sugerindo que o estiramento O-H não é significativamente afetado pela adição do extrato aquoso. No entanto, nos filmes com extrato alcoólico, a banda é ligeiramente deslocada para  $3289\text{ cm}^{-1}$ , indicando uma possível formação de pontes de hidrogênio mais fortes devido à interação das antocianinas presentes no extrato alcoólico com a matriz polimérica.

Além disso, seu formato de “sino”, presente em todos os espectros, indica a presença de diferentes compostos que apresentam em sua estrutura química grupos O-H de álcool ou fenol, e que participam de ligações de hidrogênio em diferentes intensidades. Essa constatação pode ser verificada pela presença da banda na região de  $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ , também intensa e alargada, relativa ao estiramento da ligação C-O.

Na região de  $3200\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ , observa-se outra região de grande absorção, presente nos espectros de absorção (CHOONG et al. 2019), característica do estiramento da ligação C-H, presente em todos os componentes da mistura. No caso do extrato aquoso, provavelmente, houve uma sobreposição dessa banda com a do estiramento da ligação O-H, indicando a presença ainda maior de ligações de hidrogênio entre os compostos do extrato com a água, o que resulta numa faixa de absorção ainda mais larga.

Figura 3: Caracterização FTIR dos filmes.



Fonte: autor (2024).

A região de  $2000\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$  é de elevada complexidade. Um conjunto de bandas fracas nessa região é característica de compostos benzênicos, estando presentes nos espectros dos extratos aquosos e alcoólicos, comprovando a presença dessas estruturas nas antocianinas. Essa característica pode ser percebida no extrato alcoólico, filme com extrato alcoólico, no extrato aquoso e no filme com extrato aquoso. Nos dois últimos, a intensidade é menor, provavelmente devido à menor concentração de antocianinas tanto no extrato aquoso como no filme com este extrato, em comparação aos filmes e extratos alcoólicos. Dentro desta mesma região, há uma faixa de absorção de grande importância, de  $1850\text{-}1610\text{ cm}^{-1}$ , que quando presente e de grande intensidade e largura média nos espectros, indica a presença de carbonila ( $\text{C}=\text{O}$ ) (CHOONG et al. 2019). Conforme esperado, ela não está presente nos espectros do glicerol, álcool etílico e polímero PVOH.

Observa-se uma banda em torno de  $1715\text{ cm}^{-1}$  no filme sem extrato e  $1714\text{ cm}^{-1}$  no filme com extrato aquoso, correspondendo ao estiramento da ligação  $\text{C}=\text{O}$  (carbonila) (CHOONG et al. 2019). A pequena diferença de deslocamento sugere uma interação mínima com os grupos  $\text{C}=\text{O}$  na presença do extrato aquoso. No entanto, a ausência dessa banda nos filmes com extrato alcoólico indica uma interação mais forte entre as antocianinas e a matriz, possivelmente resultando na formação de novas ligações ou na complexação das carbonilas.

As bandas na faixa de 1450-1460  $\text{cm}^{-1}$  no filme sem extrato e 1415-1425  $\text{cm}^{-1}$  nos filmes com extratos são atribuídas ao estiramento C-H e à presença de grupos metoxila e fenólicos (CHOONG et al. 2019). A maior intensidade dessas bandas nos filmes contendo extratos reflete a incorporação das antocianinas, que contêm esses grupos funcionais. O deslocamento das bandas indica que as antocianinas interagem com a matriz polimérica, alterando as interações intermoleculares.

Na região de 1374  $\text{cm}^{-1}$  (filme sem extrato), 1375  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato aquoso) e 1378  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato alcoólico), as bandas correspondem ao estiramento C-H de grupos metil e metileno (CHOONG et al. 2019). A presença e intensidade dessas bandas nos filmes com extratos indicam interações entre os extratos e a matriz polimérica, com o leve deslocamento sugerindo modificações nas interações devido à adição das antocianinas.

As bandas em 1246  $\text{cm}^{-1}$  (filme sem extrato), 1263  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato aquoso) e 1236  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato alcoólico) estão associadas ao estiramento C-O-C de ésteres e álcoois (CHOONG et al. 2019). As mudanças na posição e intensidade dessas bandas nos filmes com extratos sugerem interações entre os componentes dos extratos, principalmente antocianinas, e a matriz polimérica, indicando uma densidade aumentada de grupos ésteres e álcoois.

Na faixa de 1141  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato aquoso) e 1142  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato alcoólico), as bandas são indicativas dos grupos glicosídicos (CHOONG et al. 2019), que confirmam a presença de cianidina-3-glicosídeo e delphinidina-3-glicosídeo. A intensidade dessas bandas nos filmes contendo extratos reforça a incorporação específica dessas antocianinas na matriz polimérica.

A presença de bandas em 1089  $\text{cm}^{-1}$  (filme sem extrato), 1090  $\text{cm}^{-1}$  (filmes com extratos aquoso e alcoólico) é característica do estiramento C-O de álcoois e éteres. A similaridade na presença e intensidade dessa banda indica que a estrutura básica da matriz polimérica não foi significativamente alterada pela adição dos extratos, embora haja uma leve interação com os componentes dos extratos.

As bandas em 1044  $\text{cm}^{-1}$  (filme sem extrato), 1044  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato aquoso) e 1046  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato alcoólico) também correspondem ao estiramento C-O-C de ésteres e álcoois. A presença consistente dessas bandas em todos os filmes, com um ligeiro deslocamento no filme com extrato alcoólico, reforça a ideia de interação entre os extratos e a matriz polimérica, sugerindo uma modificação na densidade de compostos polares.

Finalmente, as bandas em 945  $\text{cm}^{-1}$  (filme sem extrato), 919  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato aquoso) e 918  $\text{cm}^{-1}$  (filme com extrato alcoólico) estão relacionadas ao estiramento C-H de

alquenos (CHOONG et al. 2019). O deslocamento das bandas nos filmes com extrato indica uma modificação nas interações intermoleculares devido à presença de antocianinas. A banda em  $843\text{ cm}^{-1}$ , presente em todos os filmes, está relacionada ao estiramento C-H de aromáticos. A presença constante desta banda sugere que os componentes aromáticos não são significativamente afetados pela adição dos extratos, embora sua intensidade possa variar.

#### 4.5 Espessura

A espessura média dos filmes está apresentada na tabela 2.

Tabela 2: Valores médios de espessura dos filmes.

Tratamentos	Espessura média (mm)	Erro padrão do experimento (se).
FEAL	0,2152 a	0,01
FEAQ	0,2254 a	0,01
FSE	0,2280 a	0,01

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024).

A adição dos extratos na formulação não interferiu na espessura média dos filmes produzidos. Observa-se uma redução mínima de 5,61 % para filmes produzidos com extrato alcoólico e 1,14 % para filmes produzidos com extrato aquoso, ambos em relação ao filme sem extrato. Estes resultados corroboram com a análise visual dos filmes, demonstrando que houve um controle do processo nos momentos de produção. Além disso, esse resultado é de extrema importância, pois a espessura é uma propriedade diretamente interligada com as demais propriedades estudadas na caracterização dos filmes. Logo, caso não houvesse um padrão durante o processo de fabricação, a análise e comparação das demais propriedades dos filmes poderiam ser dificultadas.

A não percepção de diferenças significativas na espessura dos filmes após a adição de extratos de antocianina sugere que a incorporação dos extratos foi feita de maneira eficiente, sem comprometer a integridade física dos filmes. Este resultado indica que as propriedades antioxidantes dos extratos de antocianina podem ser incorporadas aos filmes sem necessidade de ajustes no processo de produção ou preocupação com alterações dimensionais, o que facilita a aplicação industrial deste tipo de material.

Qin et al. (2020) ao adicionar extrato de antocianina na formulação, não obtiveram diferença significativa na espessura dos filmes. Dessa forma, a manutenção da espessura padrão

dos filmes reforça a viabilidade do uso de extratos de antocianina em embalagens biodegradáveis, garantindo consistência nas propriedades mecânicas e funcionais dos filmes produzidos.

#### 4.6 Propriedades mecânicas

Os resultados referentes às propriedades mecânicas de carga máxima e resistência máxima à tração estão representados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3: Valores médios de carga máxima.

Tratamentos	Carga máxima (N)	erro padrão do experimento (se).
FEAL	106,85 a	11,16
FEAQ	118,36 a	11,16
FSE	107,48 a	11,16

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024)

Tabela 4: Valores médios de resistência máxima à tração.

Tratamentos	Resistência máxima à tração (MPa)	erro padrão do experimento (se).
FEAL	19,56 a	1,20
FEAQ	20,86 a	1,20
FSE	19,08 a	1,20

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024).

A adição dos extratos na formulação não reduziu as propriedades mecânicas de carga máxima e a resistência máxima à tração, nas concentrações utilizadas, observando-se até um aumento numérico na carga máxima no FEAQ, sendo uma diferença de aproximadamente 10% a mais quando comparada com o controle, o FSE. Dessa forma, a adição de extrato de jabuticaba, seja alcoólico ou aquoso, não prejudica as propriedades mecânicas dos filmes.

Entretanto, a concentração de extrato de antocianina adicionada aos filmes não foi suficiente para alterar significativamente a resistência mecânica. No estudo de Koosha e Hamedi (2019) foi observado um aumento na resistência dos filmes utilizando extrato rico em antocianina de cenoura preta em filmes de quitosana/PVOH. Concentrações mais altas de extrato podem ter sido utilizadas e assim proporcionaram interações mais robustas entre as antocianinas e a matriz polimérica.

Liu et al. (2021) também obtiveram resultados de resistência máxima à tração superiores ao adicionar antocianina em seus filmes (pó de batata roxa em filmes quitosana/PVOH). Esses achados sugerem que ajustes na concentração de extrato de antocianina podem ser necessários para otimizar as propriedades mecânicas dos filmes, garantindo maior resistência sem comprometer outras características desejáveis.

#### 4.7 Permeabilidade ao Vapor de Água

Os resultados referentes à permeabilidade ao vapor de água (PVA) e taxa de transmissão ao vapor de água (TTVA) estão representados nas tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5: Valores médios da permeabilidade ao vapor de água (PVA)

Tratamentos	Permeabilidade ao vapor de água (g.µm/m <sup>2</sup> .dia.mmHg)	Erro padrão do experimento (se).
FEAL	12.54 a	2.01
FEAQ	12.07 a	2.01
FSE	6.66 a	2.01

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024).

Tabela 6: Valores médios da taxa de transmissão ao vapor de água (TTVA)

Tratamentos	taxa de transmissão ao vapor de água (g/dia.m <sup>2</sup> )	Erro padrão do experimento (se).
FEAL	40.23 ab	5.84
FEAQ	59.85 a	5.84
FSE	29.37 b	5.84

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024).

Não houve diferença na PVA entre os tratamentos avaliados, incluindo o controle (FSE). Isso sugere que os filmes com extratos de jabuticaba não apresentaram uma alteração significativa na capacidade de permitir a transferência de vapor de água em comparação com o filme sem extrato, não interferindo na estrutura polimérica do filme.

Em relação à TTVA, o filme com extrato aquoso de jabuticaba (FEAQ) apresentou uma taxa de transmissão ao vapor de água significativamente maior em comparação com o controle (FSE), indicando uma maior permeabilidade ao vapor de água. No entanto, não houve diferença estatisticamente significativa entre o FEAL e o controle (FSE). Isto provavelmente pode ter ocorrido devido à própria presença de água no extrato, aumentando a característica hidrofílica do

filme com este extrato e, conseqüentemente, sua maior interação e permeação de vapor d'água.

É importante destacar que a permeabilidade ao vapor de água não apenas depende das propriedades intrínsecas do filme, como sua espessura e composição química, mas também da pressão atmosférica no momento do ensaio. A Equação 5, utilizada para calcular a PVA, leva em consideração esses fatores, além da diferença de umidade relativa (UR) entre as duas faces da chapa, garantindo que os valores de PVA sejam representativos das condições reais de uso dos filmes em diferentes ambientes de armazenamento.

Koosha e Hamedi (2019) ao adicionarem antocianina em seus filmes de base polimérica quitosana/PVOH, também observaram um aumento significativo da permeabilidade ao vapor de água quando comparados com os filmes sem adição de antocianinas.

#### 4.8 Análise do poder antioxidante dos filmes.

Os resultados referentes ao poder antioxidante dos filmes, juntamente com o branco, estão representados na tabela 7.

Tabela 7: Valores médios de malonaldeído/g de amostra

Tratamentos	Malonaldeído (mg/g)	Erro padrão do experimento (se).
FEAL	0.56 b	0.06
FEAQ	1.08 a	0.06
FSE	1.03 a	0.06

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey para um nível de significância a 5%.

Fonte: autor (2024).

As médias de malonaldeído produzidos nos corpos de prova contendo FSE (filme sem extrato) e FEAQ (filme com extrato aquoso) são superiores que as médias de malonaldeído produzido nos corpos de prova contendo FEAL (filme com extrato alcóolico). Portanto, o FEAL se mostrou mais eficaz no controle da oxidação do salaminho italiano que os demais tratamentos.

Esses achados são consistentes com a literatura, que destaca o potencial antioxidante das antocianinas presentes na casca de jabuticaba. A diferença observada entre os extratos alcóolico e aquoso pode ser atribuída à composição química distinta dos extratos e à eficiência na liberação e interação das antocianinas com os lipídios do salaminho durante o armazenamento.

Portanto, os filmes incorporados com extratos de casca de jabuticaba mostraram-se promissores como agentes antioxidantes em sistemas alimentícios complexos, como o salaminho italiano. Estudos adicionais poderiam explorar diferentes concentrações de extrato, condições de

armazenamento e outras matrizes alimentares para otimizar ainda mais a eficácia desses filmes ativos antioxidantes.

#### 4.9 Biodegradabilidade

As amostras de filmes íntegras e maleáveis, secos ao toque e sem rachaduras (Figura 4) foram enterradas e observadas a cada 3 dias.

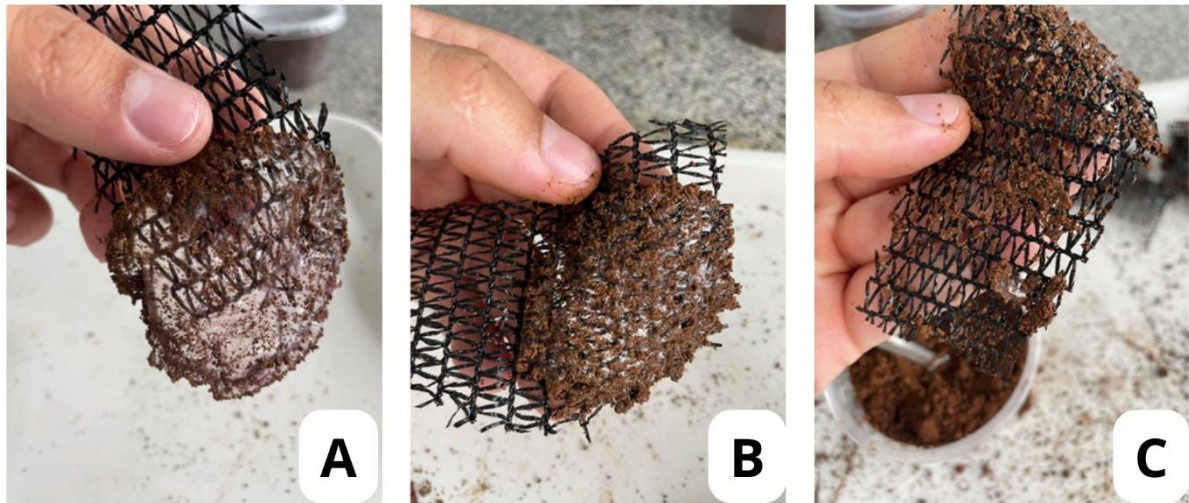
Figura 4: Filme 0 dias.



Fonte: autor (2024).

Após três dias, os filmes encontravam-se bem úmidos, pegajosos e desmanchando, devido principalmente ao fato da degradação da molécula de PVOH liberar  $\text{CO}_2$  e água. A terra tinha aderido aos filmes, impossibilitando a pesagem. Notou-se que o filme sem extrato de antocianina desmanchou mais rapidamente (Figura 5).

Figura 5: Filmes observados após 3 dias enterrados.

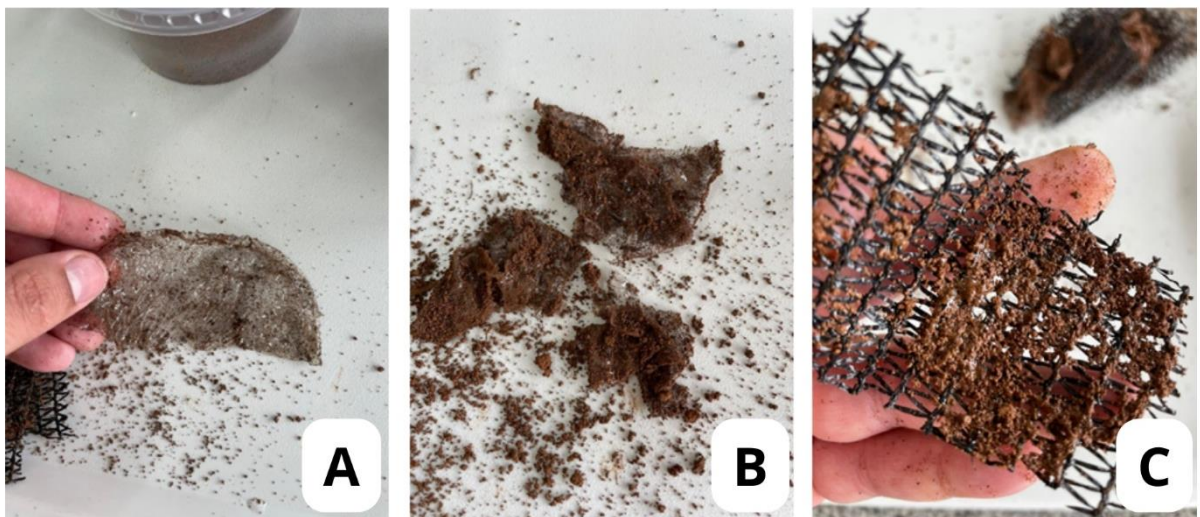


A - FEAL, B – FEAQ, C - FSE.

Fonte: autor (2024).

Após 6 dias, as amostras continuavam úmidas, com muita terra aderida, pegajosas e em estado avançado de desmanche. Novamente, o filme sem extrato mostrou uma degradação mais acelerada (Figura 6).

Figura 6: Filmes observados após 6 dias enterrados.

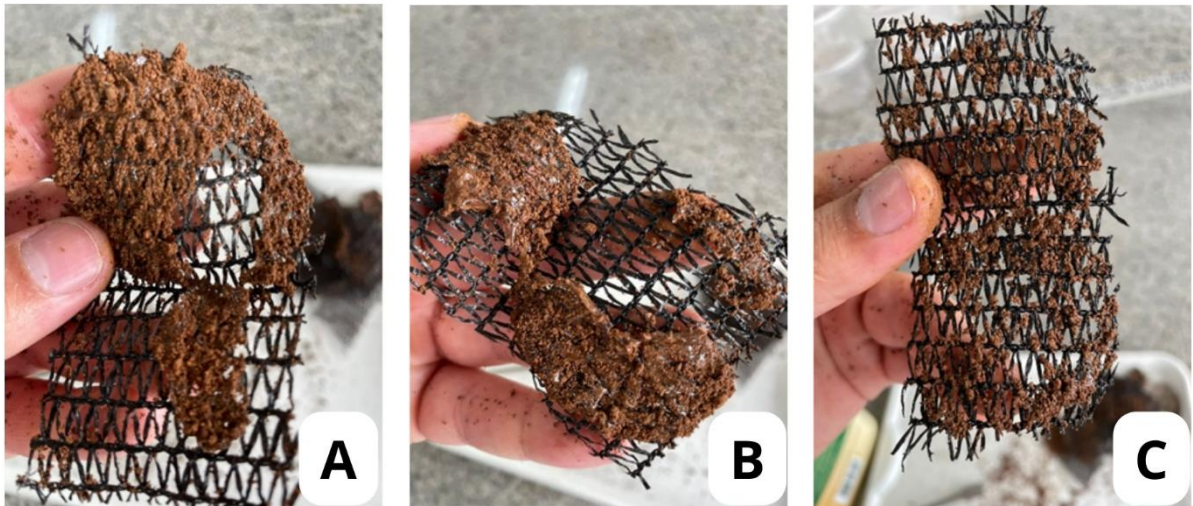


A - FEAL, B – FEAQ, C - FSE.

Fonte: autor (2024).

Ao final de 9 dias enterrados, os filmes com extrato de antocianina apresentavam um desmanche significativo, enquanto quase não havia resquícios do filme sem extrato, indicando uma degradação quase completa (Figura 7).

Figura 7: Filmes observados após 9 dias enterrados.



A - FEAL, B – FEAQ, C - FSE.

Fonte: autor (2024).

A avaliação visual permitiu observar que os filmes contendo extrato de antocianina demonstraram maior resistência à degradação em comparação aos filmes sem extrato. Esta maior resistência pode ser atribuída às propriedades antioxidantes e antimicrobianas das antocianinas, que podem retardar a degradação dos polímeros em condições naturais (YONG e LIU, 2020).

A biodegradabilidade dos filmes foi evidenciada pela perda de integridade estrutural ao longo do tempo, com os filmes se tornando progressivamente mais úmidos, pegajosos e desmanchando. A terra aderida dificultou a pesagem precisa das amostras, mas a observação qualitativa proporcionou uma visão clara da progressão da degradação.

Este estudo sugere que a incorporação de extratos de antocianina nos filmes pode influenciar significativamente a taxa de degradação em solo, potencialmente estendendo a vida útil dos produtos embalados e reduzindo o impacto ambiental dos resíduos plásticos.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a casca de jabuticaba, frequentemente descartada, possui um elevado potencial antioxidante devido à alta concentração de antocianinas, especialmente cianidina-3-o-glicosídeo e delphinidina-3-glicosídeo.

Os filmes, com base polimérica de Álcool Polivinílico (PVOH) e extrato alcoólico de casca de jabuticaba, apresentaram propriedades antioxidantes significativas, confirmadas pela metodologia de captura do radical livre DPPH. Além disso, exibiram boas propriedades mecânicas e adequada permeabilidade ao vapor de água, características que os tornam apropriados para uso em embalagens de alimentos de fácil oxidação, como peixes e salames.

A quantificação de malonaldeído em salaminhos tipo italiano indicou uma redução nas reações oxidativas, comprovando a eficácia dos filmes ativos em prolongar a vida útil dos alimentos embalados e preservar sua qualidade sensorial.

Dessa forma, este trabalho contribui para a valorização de subprodutos da jabuticaba, propondo uma aplicação inovadora e sustentável que pode ser expandida para outros frutos nativos brasileiros. A implementação de filmes ativos biodegradáveis representa um avanço significativo para a indústria de embalagens, atendendo às demandas por soluções ambientalmente amigáveis e saudáveis.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J.M. A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2015.
- ARRUDA, T.R. et al. Efeito da incorporação de extrato de lúpulo rico em  $\beta$ -ácidos na degradação em solo de folhas de ácido polilático (PLA). **Reactive and Functional Polymers** , v. 196, p. 105852, 2024.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Tensile Properties Thin Plastic Sheeting**, D882-09 Philadelphia: ASTM, 12p, 2012b
- ASTM – AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials**. E96/E96M-05. Philadelphia: ASTM, 2005.
- CARVALHO, A. M. X. et al. Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(3): e327420312, 2020.
- CHOONG, Y. et al. Determinação do conteúdo de antocianina em duas variedades de Hibiscus Sabdariffa de Selangor, Malásia, usando uma combinação de cromatografia e espectroscopia. **J. Plant Sci. Phytopathol** , v. 3, n. 2, p. 067-075, 2019.
- FILHO, A.V. et al. Brazilian Agroindustrial Wastes as a Potential Resource of Bioactive Compounds and Their Antimicrobial and Antioxidant Activities. **Molecules** 2022, 27, 6876. <https://doi.org/10.3390/molecules27206876>
- KOOSHA, M. HAMED, S. Filmes nanocompósitos inteligentes de quitosana/PVA contendo antocianina de cenoura preta e nanoargilas de bentonita com propriedades mecânicas, térmicas e antibacterianas aprimoradas. **Progress in Organic Coatings** , v. 127, p. 338-347, 2019.
- LEE, J. et al. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. **Journal of AOAC international**, v. 88, n. 5, p. 1269-1278, 2005.
- LIU, J. et al. Filmes antibacterianos e sensíveis ao pH desenvolvidos pela incorporação de antocianinas extraídas de batata roxa ou roselle em matriz de quitosana/álcool polivinílico/nano-ZnO: Estudo comparativo. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 178, p. 104-112, 2021.
- QIN, Y. et al. Comparison of the physical and functional properties of starch/polyvinyl alcohol films containing anthocyanins and/or betacyanins. **International journal of biological macromolecules**, v. 163, p. 898-909, 2020.
- RESENDE, L. M. **Farinhas de casca de jabuticaba: caracterização, avaliação do potencial como fonte de pectina, estudo da interação fibras-polifenóis e predição de compostos por espectroscopia FTIR**. 2021. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2021.
- RUFINO, M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH Introdução**. Embrapa (Embrapa. Comunicado técnico, 127).

SILVA, G. J. F. da, et al. "Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*) Formulation and stability of anthocyanins's colorants formulated with peels jabuticaba (*Myrciaria ssp.*)." **Alimentos e Nutrição Araraquara** 21.3 (2010): 429-436.

SOUZA, A. C. et al. Atividades antioxidantes de vinhos de frutas tropicais. **Journal of the Institute of Brewing** , v. 124, n. 4, p. 492-497, 2018.

TARLADGIS, B. G. et al. Um método de destilação para a determinação quantitativa de malonaldeído em alimentos rançosos. **Journal of the American Oil Chemists Society** , v. 37, p. 44-48, 1960.

VÁZQUEZ, O. A.; SAYDUR RAHMAN, M. D,. An ecotoxicological approach to microplastics on terrestrial and aquatic organisms: A systematic review in assessment, monitoring and biological impact. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 84, p. 103615–103615,2021.

XU, H.et al. Preparação e caracterização de filmes de álcool polivinílico/quitosana/antocianina responsivos a PH. **Food Science and Technology** , v. 43, p. e98022, 2022.

YONG, H., & LIU, J.. Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films. **Food Packaging and Shelf Life**, 26, 100550, 2020.