

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**VILSON LUIZ DA SILVA JUNIOR**

**CORANTE NATURAL DA CASCA DE PINHÃO (*ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA*) E  
REDUÇÃO DE TEMPERATURA DE ESTOCAGEM NA QUALIDADE MECÂNICA  
DE FILME BIODEGRADÁVEL.**

**PATO BRANCO**

**2024**

**VILSON LUIZ DA SILVA JUNIOR**

**CORANTE NATURAL DA CASCA DE PINHÃO (*ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA*) E  
REDUÇÃO DE TEMPERATURA DE ESTOCAGEM NA QUALIDADE MECÂNICA  
DE FILME BIODEGRADÁVEL.**

**Natural color from pinhão shell (*Araucaria angustifolia*) and reduction in  
storage temperature in the mechanical quality of biodegradable film**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel Química da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Dr. Marina Leite Mitterer Daltoé

**PATO BRANCO**

**2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Pato Branco  
Departamento de Química  
Bacharelado em Química



---

CORANTE NATURAL DA CASCA DE PINHÃO (ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA) E  
REDUÇÃO DE TEMPERATURA DE ESTOCAGEM NA QUALIDADE MECÂNICA  
DE FILME BIODEGRADÁVEL.

Por

VILSON LUIZ DA SILVA JUNIOR

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado(a) em 18 de junho de 2024 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Dra. Marina Leite Mitterer Daltoé  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Raquel Dalla Costa Da Rocha  
Membro titular

---

Tatiane Luiza Cadorin Oldoni  
Membro titular

Nota: O Documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se no SEI processo **23064.023570/2024-12** e documento: **4225005**

Dedico este trabalho ao meu pai, Wilson (*in memoriam*), que, apesar de todas as dificuldades, sempre colocou minha educação em primeiro lugar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha mãe Terezinha e ao meu irmão Vinícius por estarem comigo nesta trajetória que foi a minha graduação, por todo o amor, apoio parceria e compreensão nesta fase da minha vida.

Também agradeço ao meu pai Vilson e avó Julia (*in memoriam*), por todo o incentivo durante o início da minha vida acadêmica, sem vocês eu não teria chego tão longe.

A Profa. Dra. Marina Leite Mitterer Daltoé, minha orientadora, agradeço por toda a colaboração, paciência e pelos conhecimentos transmitidos, possibilitando a conclusão deste trabalho.

A todos os professores do curso de Química da UTFPR do *campus* Pato Branco, expresso minha profunda gratidão. São profissionais excepcionais, verdadeiros exemplos a serem seguidos, que desempenharam papéis fundamentais em minha formação, tanto profissional quanto pessoal.

Aos meus colegas e amigos Jaqueline, Larissa, Marieli, Sarah e Ushieli, expresso minha gratidão pela união construída nesta fase. Agradeço pela base e o apoio desde o início até o fim de nossa graduação, proporcionando experiências e momentos valiosos que sempre carregarei comigo.

Também, ao Centro de Caracterização Multiusuário em Pesquisa e Desenvolvimento de Materiais (C2MMa) e a central de análises na ordem da Fundação Araucária (projeto número FA 127/2022, PBA 3793-1 13.481-3) pelas análises realizadas possibilitando a realização deste trabalho.

Por fim, a Karine Camargo Baroni pelo suporte e ajuda ao compartilhar seus dados, bem como, a todos que participaram, direta ou indiretamente, do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo ainda mais meu processo de aprendizado.

A educação é a arma mais poderosa que você  
pode usar para mudar o mundo.

(Nelson Mandela, 2003).

## RESUMO

A obtenção de produtos que não agridam o meio ambiente é de suma importância para a sociedade, considerando o alarmante aumento na produção de lixo plástico em todo o mundo. A indústria alimentícia, em particular, é uma das maiores geradoras de embalagens, que embora desempenhem um papel crucial ao prolongar a vida útil dos alimentos nas prateleiras, seu descarte inadequado representa um grave problema ambiental. Uma tendência emergente para lidar com esse desafio é o desenvolvimento de filmes biodegradáveis como alternativa sustentável ao plástico convencional. De forma paralela, corantes naturais emergem como tema atual na área de tecnologia de alimentos, tanto pelo seu apelo à saúde humana quanto ao ambiente. No entanto, da mesma forma que um filme biodegradável apresenta processo rápido de degradação na natureza, esse também apresenta curta vida útil de aplicação como embalagem. Portanto, a investigação de procedimentos que possam aumentar a vida útil de aplicação passa a ser importantes. Dentro desse contexto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar os efeitos do corante natural da casca de pinhão e da redução de temperatura na recuperação da qualidade das propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis. Para isso, dois filmes biodegradáveis (controle e adicionado de corante natural de casca de pinhão) compostos por glicerina, PBAT e amido de mandioca e estocados em temperatura ambiente há 365 dias foram armazenados nas temperaturas de 0, -

20 e -40 °C durante o período de 90 dias. Foram realizadas análises das propriedades mecânicas, incluindo resistência à tração e alongação na ruptura, além de análise colorimétrica no método CIELab para avaliar a estabilidade das cores durante o experimento. Além disso, análise por microscopia eletrônica de varredura foi conduzida para verificar a integridade microestrutural dos filmes ao longo do período experimental. O estudo avaliou as propriedades mecânicas e colorimétricas de filmes biodegradáveis recém-fabricados e após um ano de armazenamento, constatando que os valores iniciais eram superiores. A deterioração ao longo do tempo era esperada, mas os filmes estabilizaram-se, especialmente sob temperaturas negativas. O congelamento, particularmente a -40 °C, melhorou e variou a alongação dos filmes. Os filmes com corante natural de casca de pinhão apresentaram uma alongação na ruptura significativamente melhor do que os filmes controle, indicando que o corante também melhorou as propriedades mecânicas. Após 365 dias, os filmes com corante sofreram deterioração colorimétrica, mas o componente  $a^*$  não mostrou diferença significativa em relação ao filme recém-fabricado. Todos os parâmetros colorimétricos mudaram significativamente após o início do armazenamento, estabilizando-se posteriormente. A variação  $\Delta E$  foi imperceptível a olho nu nas temperaturas de -20 °C e -40 °C, com maior estabilidade observada a -40 °C. As imagens de microscopia eletrônica confirmaram a estabilidade dos filmes durante o experimento, sem fissuras ou rasgos, apenas grânulos de amido não gelatinizados, reforçando a durabilidade do material sob diversas condições de armazenamento.

Palavras-chave: filmes biodegradáveis; corantes naturais; casca de pinhão; congelamento.

## ABSTRACT

Obtaining products that do not harm the environment is of paramount importance for society, considering the alarming increase in the production of plastic waste around the world. The food industry, in particular, is one of the largest generators of packaging, which although it plays a crucial role in extending the shelf life of food, its inadequate disposal represents a serious environmental problem. An emerging trend to address this challenge is the development of biodegradable films as a sustainable alternative to conventional plastic. In parallel, natural dyes emerge as a current topic in the area of food technology, both due to their appeal to human health and the environment. However, in the same way that a biodegradable film has a rapid degradation process in nature, it also has a short useful life as packaging. Therefore, the investigation of procedures that can increase the useful life of the application becomes important. Within this context, the objective of the present research was to evaluate the effects of natural pine nut shell dye and temperature reduction on the recovery of the quality of mechanical properties of biodegradable films. (of pine nuts) composed of glycerin, PBAT and cassava starch and stored at room temperature for 365 days were stored at temperatures of 0, -20 and -40 °C during a period of 90 days. Analyses of mechanical properties were carried out, including tensile strength and elongation at break, in addition to colorimetric analysis using the CIELab method to evaluate color stability during the experiment. Furthermore, scanning electron microscopy analysis was conducted to verify the microstructural integrity of the films throughout the experimental period. The study evaluated the mechanical and colorimetric properties of newly manufactured biodegradable films and after one year of storage, finding that the initial values were higher. Deterioration over time was expected, but the films stabilized, especially at subzero temperatures. Freezing, particularly at -40 °C, improved and varied the elongation of the films. Films with natural pine nut shell dye showed significantly better elongation at break than control films, indicating that the dye also improved mechanical properties. After 365 days, the dyed films suffered colorimetric deterioration, but the  $a^*$  component showed no significant difference in relation to the newly manufactured film. All colorimetric parameters changed significantly after the beginning of storage, stabilizing later. The  $\Delta E$  variation was imperceptible to the naked eye at temperatures of -20 °C and -40 °C, with greater stability observed at -40 °C. The electron microscopy images confirmed the stability of the films during the experiment, with no cracks or tears, just non-gelatinized starch granules, reinforcing the durability of the material under different storage conditions.

Keywords: Biodegradable films; natural dyes; pinhão bark; freezing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do esquema experimental do trabalho.....	21
Figura 2 - Filme biodegradável com corante natural de casca de pinhão.....	22
Figura 3 - Filmes com e sem adição do corante de casca de pinhão.....	23
Figura 4 - Produção do filme por extrusão-sopro em balão.....	23
Figura 5 - Preparação dos filmes para armazenagem.....	24
Figura 6 - Análise de propriedades mecânicas nos filmes.....	25
Figura 7 - Colorímetro utilizado nos experimentos.....	26
Figura 8 - Gráficos das propriedades mecânicas dos filmes durante o armazenamento.....	31
Figura 9 - Conjunto de gráficos dos perfis de cor do filme com corante durante o experimento.....	34
Figura 10 - MEV das amostras antes da armazenagem.....	37
Figura 11 - MEV filme com corante armazenado a 0 °C no decorrer do tempo.....	38
Figura 12 - MEV filme controle armazenado a 0°C no decorrer do tempo.....	38
Figura 13 - MEV filme com corante armazenado a -20 °C no decorrer do tempo.....	39
Figura 14 - MEV filme controle armazenado a -20 °C no decorrer do tempo.....	39
Figura 15 - MEV filme com corante armazenado a -40 °C no decorrer do tempo.....	39
Figura 16 - MEV filme controle armazenado a -40 °C no decorrer do tempo.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção e reciclagem de lixo plástico no mundo.....	19
Tabela 2 - Caracterização dos filmes biodegradáveis quanto às propriedades mecânicas .....	28
Tabela 3 - Caracterização dos filmes biodegradáveis quanto às propriedades colorimétricas.....	29
Tabela 4 - Resultados estatísticos da análise de variância .....	30
Tabela 5 - Conjunto de tabelas com os resultados de $\Delta E$ para o filme com corante de casca de pinhão.....	35
Tabela 6 – Dados e resultados obtidos das análises dos filmes com corante .....	50
Tabela 7 - Dados e resultados obtidos das análises dos filmes controles .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and material</i>
MPa	Megapascal
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PBAT	Poli(butileno de adipato co-tereftalato)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
$\Delta E$	Diferença Total de Cor

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos .....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
3.1 Embalagens biodegradáveis .....	16
3.2 Filmes biodegradáveis com corantes naturais .....	17
3.3 Consumo de embalagens no Brasil .....	18
3.4 Potencial de aplicação do pinhão como corante natural .....	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.1 Produção do corante de casca de pinhão .....	21
4.2 Produção dos filmes biodegradáveis .....	22
4.3 Armazenamento dos filmes .....	24
4.3.1 Armazenamento dos filmes nas temperaturas de 0 °C, -20 °C e -40 °C.....	24
4.3.2 Propriedades mecânicas .....	24
4.3.3 Análise colorimétrica .....	25
4.3.4 Microscopia eletrônica de varredura .....	26
4.3.5 Análise estatística.....	27
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>5.1 Caracterização dos filmes biodegradáveis</b> .....	<b>28</b>
5.1.1 Propriedades mecânicas .....	28
5.1.2 Parâmetros colorimétricos .....	29
<b>5.2 Avaliação do efeito do corante natural da casca de pinhão e da redução de temperatura (0, -20 e -40 °C) nos filmes biodegradáveis</b> .....	<b>30</b>
5.2.1 Propriedades mecânicas .....	30
5.2.2 Parâmetros Colorimétricos .....	33
5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura .....	37
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>43</b>
<b>Apêndice A – Dados estatísticos</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As embalagens são fundamentais para os alimentos, justamente por protegerem o conteúdo contra contaminações químicas, físicas e microbiológicas, garantindo assim a preservação durante o armazenamento. Atualmente, as embalagens plásticas são as mais comuns no setor alimentício, devido ao seu baixo custo e facilidade de produção. Infelizmente, esse tipo de embalagem não é biodegradável, levando anos para sua completa degradação (Marzano-Barreda; Yamashita; Bilck, 2021; Xiong *et al.*, 2020).

Discussões sobre problemas ambientais são de suma importância em nossa sociedade. O uso excessivo de embalagens plásticas são problemas que causa inúmeros danos aos ecossistemas, justamente por interferir negativamente nos processos de compostagem. De acordo com Filho e Sanfelice (2018) e Junior *et al.* (2020) o plástico, devido à sua leveza, é facilmente arrastado para diversas áreas, e muitos animais o ingerem por confundi-lo com alimento. Infelizmente, essa ingestão pode levar à morte desses animais.

Por isso, há um esforço contínuo para explorar alternativas que visem minimizar o impacto ambiental, como o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis. A propriedade de ser biodegradável consiste em uma decomposição rápida no meio ambiente, gerando assim menos resíduos e impactos ambientais. Assim, essas embalagens têm como principal propósito oferecer uma vida útil eficiente, ao mesmo tempo em que reduzem sua agressão a natureza (Morais *et al.*, 2022).

Existem numerosos polímeros biodegradáveis disponíveis no mercado, os quais apresentam características atrativas para a fabricação de filmes e embalagens. No entanto, esses polímeros frequentemente acarretam custos elevados em comparação com os polímeros convencionais, gerando um obstáculo para a produção em massa. Assim, uma das estratégias para aumentar a produção em grande escala é a incorporação de amido ao processo. O amido, um polissacarídeo biodegradável, renovável e não prejudicial ao meio ambiente, surge como uma alternativa para aliviar os desafios principalmente econômicos (Brandelero; Grossmann; Yamashita, 2013; Cossa *et al.*, 2021).

O amido de mandioca se destaca como uma excelente opção para a fabricação de filmes biodegradáveis, devido à sua ampla disponibilidade e fácil acesso. Especialmente abundante em países tropicais como o Brasil, o amido de mandioca oferece vantagens significativas em comparação com o amido de milho, incluindo um menor custo e uma maior acessibilidade (Bilck; Yamashita; Marzano- Barreda, 2021; Campos *et al.*, 2019). Embora o amido de milho seja mais comumente utilizado, o amido de mandioca possui um potencial considerável para valorização como matéria-prima na produção de filmes biodegradáveis, proporcionando uma alternativa viável e econômica (Brandelero; Grossmann; Yamashita, 2013).

A utilização de corantes naturais entra com um papel importante na comercialização de produtos, visando a sustentabilidade, já que, muitos corantes sintéticos são potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, e apesar de os corantes artificiais terem uma maior estabilidade e serem mais baratos para aplicação, acabam perdendo um pouco o espaço, já que estudos mostram que os corantes sintéticos podem causar alergias e irritações na pele, além de alguns apresentarem potencial cancerígeno (Ribeiro; Veloso, 2021).

Desta forma, o uso da casca de pinhão como corante natural emerge como uma opção economicamente viável e sustentável, pois aproveita recursos da flora nativa do Brasil que geralmente são subutilizados. Ao empregar a casca de pinhão como corante, é possível agregar valor aos produtos, ao mesmo tempo em que se promove o uso consciente dos recursos naturais disponíveis.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos do corante natural da casca de pinhão e da redução de temperatura na recuperação da qualidade das propriedades mecânicas e colorimétricas de filmes biodegradáveis.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar os efeitos do corante natural da casca de pinhão e da redução de temperatura de estocagem na manutenção da qualidade das propriedades mecânicas e colorimétricas de filmes biodegradáveis.

### **2.2 Específicos**

- ✓ Acompanhar a estabilidade dos filmes biodegradáveis durante o armazenamento por análise de colorimetria.
- ✓ Analisar as propriedades mecânica dos filmes biodegradáveis ao longo do período de armazenagem.
- ✓ Comparar os dados de propriedades mecânicas após um ano da fabricação dos filmes.
- ✓ Avaliar a estabilidade dos filmes com adição do corante natural de casca de pinhão e controle por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Embalagens biodegradáveis

Uma aplicação muito importante de filmes biodegradáveis pode ser na fabricação de embalagens, que desempenham um papel fundamental ao aumentar a vida útil dos alimentos nas prateleiras. A Associação Brasileira de Embalagens (ABRE) define como um recipiente ou envoltura com a função principal de armazenar produtos temporariamente, seja individualmente ou agrupando unidades. Além de proteger e prolongar a vida útil do conteúdo, as embalagens visam facilitar a distribuição, identificação e consumo do produto (Sharma, 2021).

As embalagens de alimentos são recursos importantes, atuam como uma barreira entre o ambiente e o alimento, de modo a proporcionar a segurança do produto, e assim permitindo sua distribuição numerosa. As mesmas tiveram uma grande importância para o desenvolvimento do comércio e para o crescimento das cidades ao longo da história (Landim *et al.*, 2016).

Além de preservar suas características sensoriais, oferecer proteção mecânica e prevenir contaminação microbológica e química, as embalagens feitas de polímeros derivados do petróleo ainda hoje são amplamente utilizadas devido às suas excelentes propriedades mecânicas, como resistência à ruptura e capacidade de alongação, assim como baixo peso, baixo custo, elevada estabilidade química, flexibilidade, possibilidade de aditivação (Cazón *et al.*, 2017).

A grande produção e utilização de plásticos, leva ao volumoso descarte, que na maioria das vezes é desordenado, o que contribui para o impacto ao meio ambiente. Devido à ausência de consciência da própria população, das indústrias e dos sistemas ineficientes de coletas de lixo, o que, aliado a um descarte inadequado, resulta em um tempo prolongado de degradação e contribui diretamente para o aumento da poluição ambiental (Landim *et al.*, 2016). Para lidar com esse problema, estão sendo desenvolvidas embalagens biodegradáveis como alternativa ao uso de polímeros sintéticos à base de petróleo.

Por isso, os polímeros com características biodegradáveis apresentam uma solução promissora para reduzir a poluição global, que afeta os ecossistemas e a

vida humana no dia a dia. Esses plásticos, que podem ser moldados em embalagens, são compostos por materiais que se decompõem naturalmente devido à atividade de microrganismos, pois contêm componentes naturais de origem vegetal (Filho; Sanfelice, 2018; Roy *et al.*, 2024).

Para reduzir os custos e aumentar a capacidade de produção de filmes biodegradáveis, podem ser incorporados biopolímeros, como o amido, que é um polissacarídeo biodegradável, renovável e atóxico ao processo, devido a vantagens como alta taxa de degradação, preço acessível, disponibilidade em escala industrial e facilidade de processamento. Essa rápida degradação representa uma vantagem significativa para o meio ambiente, uma vez que resulta em uma redução significativa no volume de resíduos produzidos (Friedrichsen *et al.*, 2022).

### **3.2 Filmes biodegradáveis com corantes naturais**

A cor é um aspecto importante na escolha de alimentos, pois influencia a aceitação sensorial dos consumidores. Da mesma forma, as embalagens também devem ser visualmente atrativas e cumprir suas funções de proteção e informação. Os corantes desempenham várias funções na indústria de alimentos, podendo ser obtidos de fontes naturais ou artificiais. Essas substâncias são utilizadas para corrigir a cor natural dos alimentos, aumentar a aceitação dos produtos pelos consumidores e proporcionar cor a alimentos que são naturalmente incolores (Gueiros; Gomes; Ribeiro, 2022).

Como já mencionado, há um interesse crescente no uso de biopolímeros e o estudo de técnicas para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, uma alternativa ao uso de polímeros de fontes não renováveis para uso em embalagem de alimentos. Por isso, há uma crescente demanda por alimentos e embalagens que utilizem pigmentos naturais em sua composição. Portanto, é evidente que o uso de pigmentos naturais é um diferencial competitivo importante que as indústrias podem explorar (Assis *et al.*, 2020; Gueiros; Gomes; Ribeiro, 2022).

Os pigmentos naturais na sua maioria derivam de extratos vegetais, frutas e plantas, tais como urucum, clorofila, cochonilha (ou carmim), curcumina, carotenoides naturais (incluindo alfa, beta e gama), vermelho de beterraba e betaninas. Podem também ser extraídos de subprodutos naturais, como cascas e

polpas de frutas, reduzindo a quantidade de resíduos e promovendo uma utilização completa dos recursos naturais (Silva *et al.*, 2020).

Os estudos indicam que a utilização de pigmentos naturais em embalagens biodegradáveis é uma excelente opção no armazenamento de alimentos. Além de proteger efetivamente os alimentos, esse tipo de embalagem pode oferecer vantagens adicionais, como atividade antioxidante e antimicrobiana, que são benefícios relevantes nesse processo (Oliveira *et al.*, 2020). Esses filmes apresentam características desejáveis, como menor transmitância de luz UV-vis, alta opacidade e proteção contra a oxidação, o que contribui para retardar a deterioração dos alimentos (Merz *et al.*, 2020).

A conscientização ecológica da população desempenhou um papel importante no impulsionamento do uso desses corantes naturais na indústria de alimentos, medicamentos, cosméticos e outros produtos, tornando seu emprego industrial uma prioridade (Gonçaves; Zanetti Lofrano, 2018). Vários corantes naturais não apenas conferem cor aos produtos, mas também possuem propriedades benéficas para a saúde humana, graças às suas características antioxidantes e anti-inflamatórias. Portanto, seu uso é conveniente e interessante, uma vez que melhoram ou modificam a aparência visual do produto final (Gonçaves; Zanetti Lofrano, 2018).

### **3.3 Consumo de embalagens no Brasil**

O Brasil é reconhecido por possuir uma abundância de recursos naturais renováveis, que têm o potencial de serem aproveitados no desenvolvimento de materiais biodegradáveis. A utilização adequada desses recursos contribui para a redução de problemas ambientais e energéticos, além de possibilitar a criação de produtos com aplicações significativas na indústria (Marengo; Vercelheze; Mali, 2013).

O crescimento do mercado global de embalagens é impulsionado por várias tendências, como urbanização, investimentos na construção, expansão do setor de saúde e desenvolvimento rápido em economias emergentes. Os principais fatores de influência no setor de embalagens são o consumidor, novos canais de distribuição e aspectos ambientais, sendo fundamental garantir a segurança do

consumidor e evitar a contribuição para a poluição ambiental através do descarte adequado das embalagens (Pereira *et al.*, 2019).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE), em um estudo macroeconômico dedicado à indústria brasileira de embalagens, revelou que o valor bruto da produção física de embalagens alcançou a marca de R\$ 123,2 bilhões em 2022, representando um crescimento de 3,9 % em relação a 2021, sendo o plástico o segmento de maior produção nacional.

A produção e utilização massiva de plásticos resultam em um descarte volumoso e, na maioria das vezes, desordenado, causando um impacto significativo no meio ambiente. Atualmente, é possível observar problemas evidentes, especialmente nas grandes cidades, como inundações decorrentes do descarte inadequado desses materiais. Essa situação é causada pela falta de conscientização por parte da população, das indústrias e da ineficiência dos sistemas de coleta de lixo (Landim *et al.*, 2016).

Só sobre a produção de lixo plástico, um levantamento feito pelo WWF (Fundo Mundial para a Natureza), com base em dados do Banco Mundial de 2019, o Brasil está em 4º no ranking de maiores produtores do mundo, atrás apenas dos EUA, da China e da Índia como pode-se ver na Tabela 1.

**Tabela 1 - Produção e reciclagem de lixo plástico no mundo**

País	Total de lixo plástico gerado*	Total incinerado	Total reciclado	Relação produção e reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
<b>Brasil</b>	<b>11.355.220</b>	<b>0</b>	<b>145.043</b>	<b>1,28%</b>
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	0	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25%

**Fonte: WWE, 2019.**

Dito isso, com o objetivo de prevenir e reduzir o impacto causado por esses tipos de produtos sobre os seres humanos e o meio ambiente, alguns estados do Brasil estão tomando medidas para criar novas leis. Um exemplo é o estado de

Goiás, onde o plenário aprovou, em 2022, o projeto de lei nº 3726/19, que estabelece uma política de incentivos à redução do consumo de materiais plásticos.

É importante ressaltar que iniciativas assim, estão alinhadas com a preocupação crescente em relação ao uso excessivo de plásticos descartáveis e seus malefícios. Espera-se que a legislação resultante dessas ações possa fomentar uma mudança positiva de comportamento, tanto por parte dos consumidores quanto das empresas, promovendo o uso de materiais alternativos e mais sustentáveis.

### **3.4 Potencial de aplicação do pinhão como corante natural**

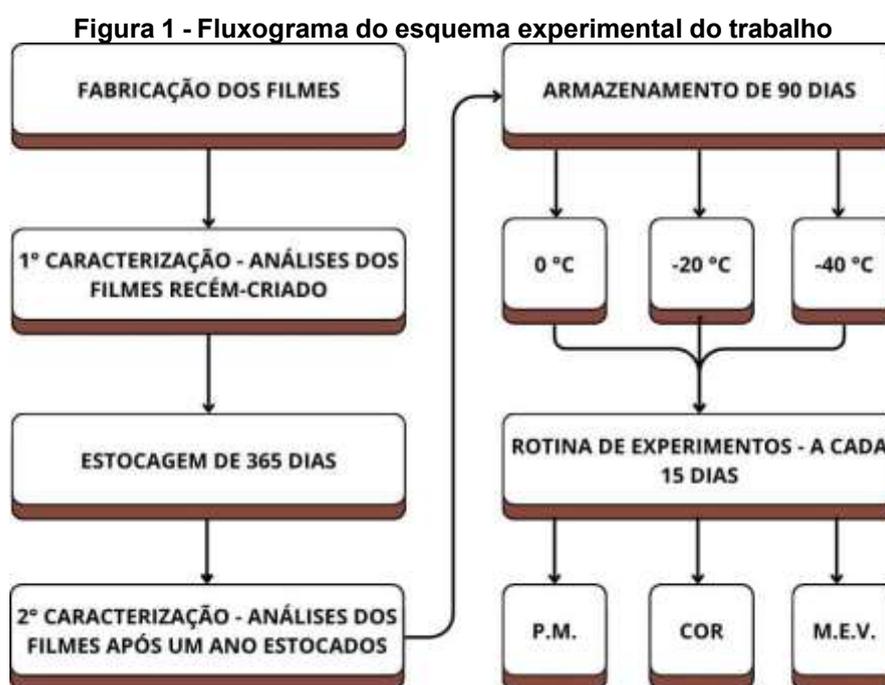
O pinhão é a semente da árvore *Araucaria angustifolia*, que pertence à família das Araucariácea. Esta árvore é comumente conhecida como Pinheiro do Paraná ou Pinheiro Brasileiro. O pinhão é amplamente consumido nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Geralmente, é cozido em água, mas também pode ser utilizado na forma de farinha crua em pratos regionais ou assados, possuindo um longo histórico de uso como alimento na região sudeste do Brasil. Seu estróbilo feminino é composto por sementes, conhecidas como pinhão, e brácteas, que são sementes não desenvolvidas (Pigozzi *et al.*, 2015).

Nessa perspectiva, a utilização de plantas como fonte de corantes naturais, por meio do emprego de conhecimento e tecnologia, pode se apresentar como uma alternativa econômica de grande relevância. As pesquisas nessa área têm demonstrado um crescimento significativo, buscando opções de corantes que tenham um impacto ambiental reduzido em comparação aos corantes sintéticos (Muniz *et al.*, 2017). Pode-se também, utilizar a casca do pinhão como possível matéria-prima na produção de corantes naturais, tendo em vista que se trata de um resíduo que geralmente é descartado no consumo do fruto.

Dessa forma, é bastante interessante buscar materiais biopoliméricos, que sejam enriquecidos com extrato ou casca de pinhão como corante natural. Esse enfoque visa tanto a reutilização desse resíduo agroindustrial quanto a produção de filmes ativos destinados a embalagens de alimentos, com propriedades aprimoradas, uma vez que esse tipo de estudo é novo no âmbito científico.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A produção dos filmes biodegradáveis foi realizada nos laboratórios da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Já a obtenção do corante natural de casca de pinhão, juntamente com as análises deste estudo, foi conduzida nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), nos *campus* de Pato Branco, Ponta Grossa e Francisco Beltrão. O esquema experimental realizado neste trabalho está ilustrado na Figura 1.



Fonte: Autoria própria, 2024.

### 4.1 Produção do corante de casca de pinhão

Foi realizado o processo de extração do material vegetal (1 kg) da casca de pinhão utilizando 2 litros de solução de etanol:água (80:20 v/v). Este processo de extração ocorreu sob agitação, ao longo de um período de 24 horas com substituição do solvente, em condições ambientes de temperatura (22-25 °C) sem a presença luz. O extrato resultante foi filtrado e posteriormente armazenado em refrigeração.

Este procedimento de extração foi repetido três vezes para assegurar a completa extração dos compostos desejados. Após a obtenção do filtrado, esse foi concentrado em rotaevaporador à temperatura de 40 °C. Em seguida, o extrato foi liofilizado, resultando nos extratos hidroalcóolicos (EH) (Oldoni *et al.*, 2021).

#### 4.2 Produção dos filmes biodegradáveis

Foram produzidos dois tipos de filmes. O objeto principal desse estudo (Figura 2) é feito a partir de uma mistura (em peso) de 47 % de amido de mandioca, 30 % de PBAT (poli(butileno de adipato co-tereftalato)) com o nome comercial Ecoflex® F Blend C1200 (BASF, Alemanha), 19 % de glicerol e 4 % de corantes naturais obtidos dos extratos hidroalcóolicos da casca do pinhão. Formulação essa que foi escolhida com base nos estudos de Silva *et al.* (2020) com modificações.

**Figura 2 - Filme biodegradável com corante natural de casca de pinhão**



**Fonte: A autoria própria, 2024.**

Também foi produzido um filme controle, utilizado para comparação entre os filmes (Figura 3), não contendo extrato de casca de pinhão em sua composição. Esse foi composto por 51% de amido de mandioca e as mesmas porcentagens dos demais componentes presentes no primeiro filme. O processo de produção dos dois tipos de filmes foi realizado utilizando a técnica de extrusão-sopro em balão (Figura 4), utilizando uma extrusora de laboratório da marca BGM, modelo EL-25.

**Figura 3 - Filmes com e sem adição do corante de casca de pinhão**



**Fonte: Aatoria própria, 2024.**

**Figura 4 - Produção do filme por extrusão-sopro em balão**



**Fonte: Aatoria própria, 2023.**

Inicialmente, foram produzidos *pellets* para a homogeneização dos componentes da formulação, ou seja, o PBAT, o amido de mandioca e o glicerol. As formulações foram processadas a uma velocidade do parafuso de 35 rpm. A saída dos "macarrões" para a formação dos *pellets* foi feita através de uma matriz circular com seis furos, cada um com 2 mm de diâmetro.

Após o preparo dos *pellets*, foram utilizados para a produção dos filmes pelo processo de extrusão em sopro balão, utilizando uma matriz circular de 50 mm de diâmetro, com fluxo interno de ar para a formação dos filmes (Cossa *et al.*, 2021).

### 4.3 Armazenamento dos filmes

O filmes produzidos e descritos na seção anterior foram estocados em temperatura ambiente ( temperatura média variou de 15,3 à 24,1 °C e umidade média que foi 73 a 81 %) (Clima Pato Branco, 2023), em ausência de luz durante o período e 365 dias para posterior armazenamento em um saco plástico nas temperaturas de 0 °C, -20 °C e -40 °C.

#### 4.3.1 Armazenamento dos filmes nas temperaturas de 0 °C, -20 °C e -40 °C

Os filmes foram selecionados, separados (Figura 5) e armazenados em três temperaturas distintas: em uma geladeira (Eletrolux, modelo DC 33) a 0 °C, um *freezer* a -20 °C (Consul, moldelo CVU26FB) e em um *ultrafreezer* (Indrel Scientific, modelo CPH 45 D) a -40 °C, por um período total de noventa dias e ausência de luz. Durante esse tempo, os filmes foram submetidos a análises das propriedades mecânicas, colorimétrica e microscopia eletrônica de varredura a cada quinze dias.

**Figura 5 - Preparação dos filmes para armazenagem**



**Fonte: Aatoria própria, 2024.**

#### 4.3.2 Propriedades mecânicas

A determinação da resistência à tração máxima e alongamento na ruptura (%) foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no *campus* Francisco Beltrão e foi realizada de acordo com a *American Society for Testing e Material 4* (ASTM, 2002) usando um analisador de textura (*Stable Micro System*, Modelo TA.TX2i, Inglaterra) (Figura 6). As amostras foram previamente condicionadas a uma umidade relativa (UR) de 53% e no equipamento foram ajustadas às garras pneumáticas, a uma distância de 30 mm e tracionadas com velocidade de 50 mm.min<sup>-1</sup>. As propriedades de tração determinadas serão resistência à tração (MPa) e alongação na ruptura (%) (Cossa *et al.*, 2021).

**Figura 6 - Análise de propriedades mecânicas nos filmes**



**Fonte: A autoria própria, 2024.**

#### 4.3.3 Análise colorimétrica

A medição de cor dos filmes biodegradáveis foi realizada quinzenalmente durante o período estipulado, utilizando o sistema CIELab com o auxílio de um colorímetro (CR-400 Chroma Meter Minolta®) com iluminante D65 (Figura 7). A leitura foi realizada em triplicata para garantir resultados mais precisos.

Esse sistema representa as cores por meio dos parâmetros  $a^*$ , que indica a cor na região vermelha +100 ( $+a^*$ ) a verde -100 ( $-a^*$ );  $b^*$ , que indica a cor amarela +100 ( $+b^*$ ) a azul -100 ( $-b^*$ ); e  $L^*$ , que indica a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco).

Foram avaliados quanto aos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  e os resultados serão apresentados por diferença total de cor ( $\Delta E$ ) obtidos pela seguinte equação:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)}$$

Onde:

$\Delta L$  = variação do  $L^*$  entre os dias de armazenamento;

$\Delta a$  = variação do  $a^*$  entre os dias de armazenamento;

$\Delta b$  = variação do  $b^*$  entre os dias de armazenamento.

**Figura 7 - Colorímetro utilizado nos experimentos**



**Fonte: Autoria própria, 2024.**

#### 4.3.4 Microscopia eletrônica de varredura

Para acompanhar e avaliar as características microestruturais dos filmes, foi realizado quinzenalmente a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) no período dos testes, as análises foram realizadas de acordo com Campos *et al.* (2019). Sendo feito na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no *campus* Ponta Grossa, utilizando o modelo TM 3000 da Hitachi, operando a uma tensão de aceleração de 5 kV.

As amostras secas foram revestidas com uma película de cobre antes da análise. As imagens foram coletadas em ampliações de 300× e 800×, e feitas correções de foco, brilho e contraste para obter uma visualização adequada.

#### 4.3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de variância multifatorial, com um nível de significância de 5%. Foram considerados três fatores independentes: tipo de amostra, tempo de armazenamento e temperatura, e cinco conjuntos dependentes:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , alongação na ruptura e resistência à tração. Posteriormente, os dados foram submetidos ao teste de comparação de médias (Teste Tukey ou t de *student*). Todas as análises foram realizadas utilizando o software STATISTICA versão 14.1.0.8.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização dos filmes biodegradáveis

#### 5.1.1 Propriedades mecânicas

A caracterização dos filmes biodegradáveis quanto às propriedades mecânicas logo após a produção e após 365 dias de estocagem sob temperatura ambiente e ausência de luz está apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Caracterização dos filmes biodegradáveis quanto às propriedades mecânicas**

Tempo/amostra		Dia da produção	365 dias de estocagem	Redução (%)
Resistência à tração (MPa)	Filme Corante	5,81±0,45	3,16±0,13	41,61
	Filme Controle	5,85±0,38	2,68±0,35	54,18
	Valor-p (teste t)	0,24	0,22	
Elongação na ruptura (%)	Filme Corante	95,77±15,43	38,05±2,70	60,27
	Filme Controle	58,39±0,95	10,12±1,32	82,67
	Valor-p (teste t)	f0,01	f0,01	

Fonte: Autoria própria, 2024.

Verifica-se que durante os 365 dias de estocagem houve redução de até 41,61 % nos parâmetros mecânicos dos filmes biodegradáveis, indicando aumento de fragilidade para ambos os filmes. Vale destacar o impacto positivo (teste t  $p < 0,05$ ) na qualidade de alongação na ruptura dos filmes adicionados de corante natural da casca de pinhão tanto no momento logo após a produção dos filmes quanto aos 365 dias de estocagem em temperatura ambiente quando comparado ao filme controle.

### 5.1.2 Parâmetros colorimétricos

A caracterização dos filmes biodegradáveis quanto aos parâmetros de cor logo após a produção e após 365 dias de estocagem sob temperatura ambiente e ausência de luz está apresentada na Tabela 3.

Pode-se observar que o filme com corante apresenta predominantemente uma tonalidade que varia do vermelho ao marrom, uma cor mais escura e terrosa, enquanto o filme controle exibe um tom muito mais claro, próximo ao branco. As análises colorimétricas são capazes de medir e descrever essas variações de cor de forma objetiva

Os filmes biodegradáveis com e sem corantes revelaram alterações durante o período de estocagem de 365 dias sob temperatura ambiente e ausência de luz. Os valores de diferença total de cor corroboram esse resultado ( $\Delta E$  filme corante 13,24 e  $\Delta E$  filme controle 5,41). Embora os resultados de teste t de *student* e diferença total de cor indiquem alterações, vale destacar a excepcionalidade apresentada pelo parâmetro  $a^*$ , uma vez que esse parâmetro está relacionado à cor vermelha, indicando, portanto, boa estabilidade do corante durante longo período.

**Tabela 3 - Caracterização dos filmes biodegradáveis quanto às propriedades colorimétricas.**

	Amostra	Dia da Produção	365 dias Estocagem	Valor-p (teste t)
$L^*$	Filme Corante	52,71±5,73	40,87±1,15	f0,01
	Filme Controle	90,20±0,57	86,85±0,10	f0,01
$a^*$	Filme Corante	22,01±2,51	25,18±0,04	0,076
	Filme Controle	0,75±0,06	-0,61±0,06	f0,01
$b^*$	Filme Corante	28,87±1,11	23,86±1,65	f0,01
	Filme Controle	1,24±0,77	5,26±0,25	f0,01
$C^*$	Filme Corante	36,11±0,89	38,09±0,24	0,03
	Filme Controle	1,32±0,53	6,11±0,36	f0,01

Fonte: Autoria própria, 2024.

## 5.2 Avaliação do efeito do corante natural da casca de pinhão e da redução de temperatura (0, -20 e -40 °C) nos filmes biodegradáveis.

Análise de Variância Multifatorial foi aplicada com o objetivo de avaliar o efeito do tipo de amostra (filme biodegradável com e sem corante), do tempo (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias) e da temperatura (0, -20 e -40 °C) nas variáveis respostas propriedades mecânicas e parâmetros de cor. Os resultados da Tabela 4 revelaram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) de todos os fatores e suas interações nas variáveis dependentes.

**Tabela 4 - Resultados estatísticos da análise de varância**

	Valor do teste de Wilks	F	Efeito	Resíduo	p
<b>Intercepto</b>	0,00	804765,31	5,00	68,00	f0,01
<b>Amostra</b>	0,00	39236,61	5,00	68,00	f0,01
<b>Tempo</b>	0,03	16,42	25,00	254,11	f0,01
<b>Temperatura</b>	0,08	35,78	10,00	136,00	f0,01
<b>Amostra*Tempo</b>	0,24	4,80	25,00	254,11	f0,01
<b>Amostra*Temperatura</b>	0,12	25,29	10,00	136,00	f0,01
<b>Tempo *Temperatura</b>	0,01	13,51	50,00	313,49	f0,01
<b>Amostra*Tempo *Temperatura</b>	0,01	10,42	50,00	313,49	f0,01

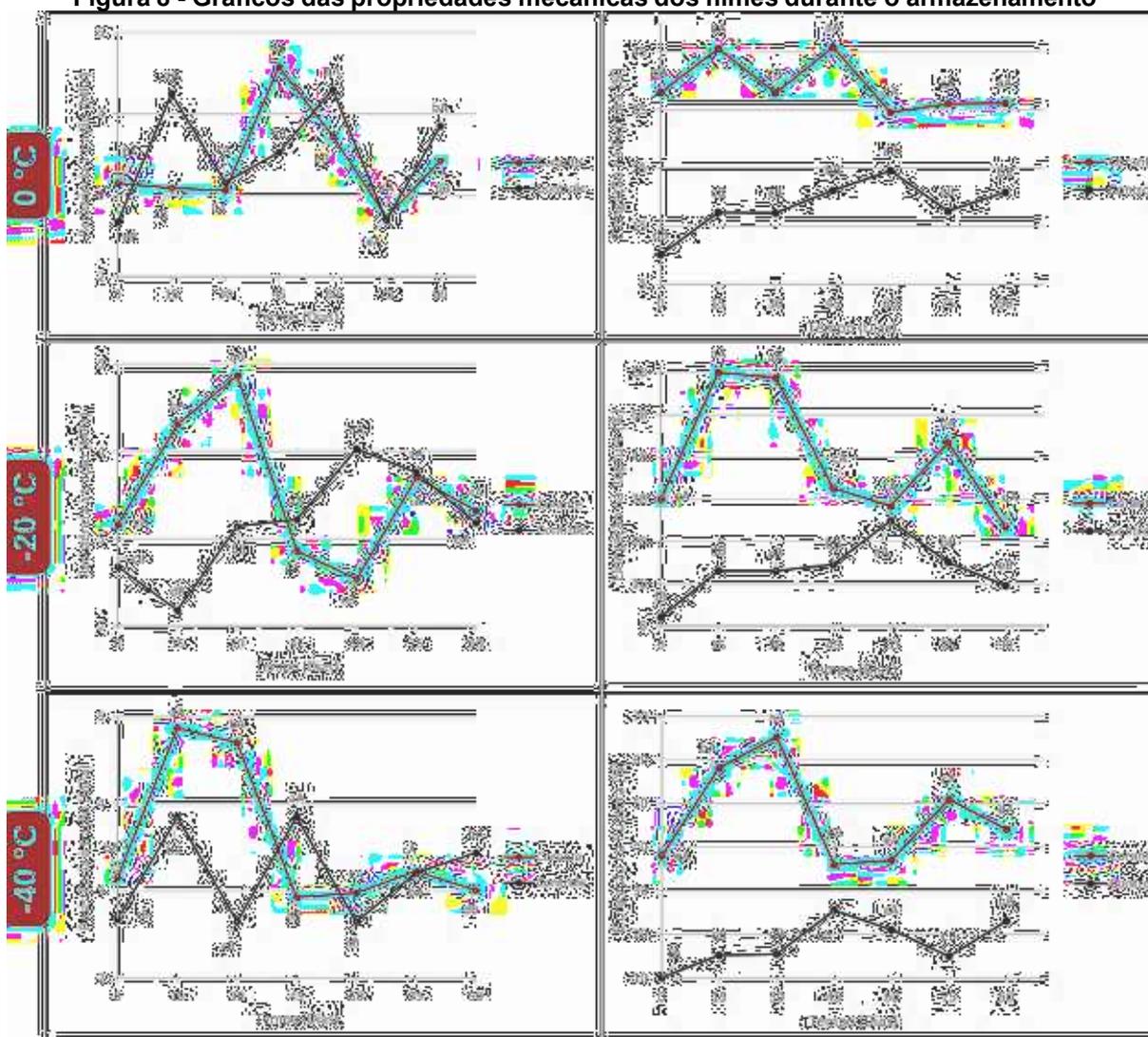
Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir destes resultados, testes de diferença de médias (t de *student* ou Tukey) foram aplicados e serão apresentados a seguir para melhor entender o efeito de cada fator para cada variável resposta.

### 5.2.1 Propriedades mecânicas

Os resultados das propriedades mecânicas (resistência à tração e alongação na ruptura) do filmes biodegradável com casca de pinhão e do controle estão apresentados na Figura 8. A resistência à tração corresponde à força máxima no momento da ruptura, enquanto a alongação na ruptura indica a flexibilidade máxima que o filme consegue alcançar até romper-se (Zavereze *et al.*, 2012).

**Figura 8 - Gráficos das propriedades mecânicas dos filmes durante o armazenamento**



<sup>a,b</sup> médias com letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os tempos das amostras ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

<sup>A,B</sup> médias com letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as amostras para cada tempo ao nível de 5% pelo teste T de *Student*.

**Fonte: Autoria própria, 2024.**

Como observado na Figura 8 e nas Tabelas 6 e 7 (Apêndice A), durante o experimento de armazenamento, houve variação na resistência à tração dos filmes

biodegradáveis estudados. Para os filmes armazenados a 0 °C, a resistência variou de 2,73 a 4,58 MPa ao longo do tempo. O filme armazenado a -20 °C apresentou variação de 2,54 a 4,87 MPa, enquanto o filme armazenado a -40 °C mostrou variação de 2,93 a 4,87 MPa.

Em comparação, os filmes controles apresentaram variações semelhantes.

Para os filmes armazenados a 0 °C, a resistência variou de 3,14 a 4,03 MPa. Os filmes armazenados a -20 °C apresentaram variação de 2,65 a 3,85 MPa, e os armazenados a -40 °C mostraram resistência à tração variando de 2,65 a 3,85 MPa.

Observa-se que o comportamento do filme biodegradável com corante armazenado a 0 °C apresenta uma queda inicial na resistência à tração, melhorando somente a partir do dia 45 do experimento. Ao final, o valor de resistência é um pouco melhor que o inicial, mas ainda inferior ao do controle.

Para o filme deixado a -20 °C, nota-se uma melhora notável nos primeiros 30 dias do experimento, seguida de uma queda significativa. No entanto, ao final do período de armazenamento, o valor de resistência é um pouco melhor que o inicial e superior ao do controle.

O filme armazenado a -40 °C mostra uma melhora significativa nos primeiros 15 dias, seguida de uma queda até o dia 60. Após esse ponto, observa-se uma pequena melhora, mas o valor final cai novamente, resultando em um desempenho inferior ao do controle e menor que o inicial.

O desempenho da elongação na ruptura, diferentemente da resistência à tração, mostrou-se muito superior no filme com corante nas condições de armazenamento determinadas. A 0 °C, o filme variou de 34,61% a 45,80%, enquanto o controle variou de 17,32% a 24,54%. Em -20 °C, o filme com corante natural variou de 31,53% a 68,04%, enquanto o controle variou de 17,62% a 37,93%. Por último, a -40 °C, o filme com corante natural de casca de pinhão variou de 36,04% a 65,30%.

Analisando o comportamento dos filmes a 0 °C, o filme com corante se manteve estável até o dia 45, quando começou a decair, terminando com um valor final menor que o inicial (antes da armazenagem), mas ainda assim muito superior e significativamente diferente do controle durante todo o experimento, conforme indicado pelo teste t.

Para os filmes armazenados a -20 °C, o comportamento foi diferente, apresentando uma melhora significativa (teste t) nos primeiros dias, seguida de uma

queda acentuada a partir do dia 30. Houve um pequeno aumento no dia 75, mas o valor final foi menor que o inicial.

Por fim, comportamento semelhante foi observado nos filmes armazenados a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nos primeiros 30 dias, houve melhora significativa (teste t), seguida de uma queda a partir do trigésimo dia. No entanto, diferentemente dos outros, ao final do experimento, o valor final da alongação foi um pouco superior ao inicial.

Ao avaliar as propriedades mecânicas de um filme biodegradável sob condições de temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 360 dias, Cossa *et al.* (2021) observa uma diminuição brusca e significativa das propriedades mecânicas inicialmente, que posteriormente se estabilizam ao longo do período proposto. A resistência à tração reduz-se de 18,14 MPa antes do armazenamento para 8,72 MPa nos primeiros 45 dias, finalizando em 5,93 MPa no último dia. A alongação na ruptura varia de 383,66% antes do armazenamento, caindo para um intervalo de 0,97% a 1,02%, mantendo-se estável.

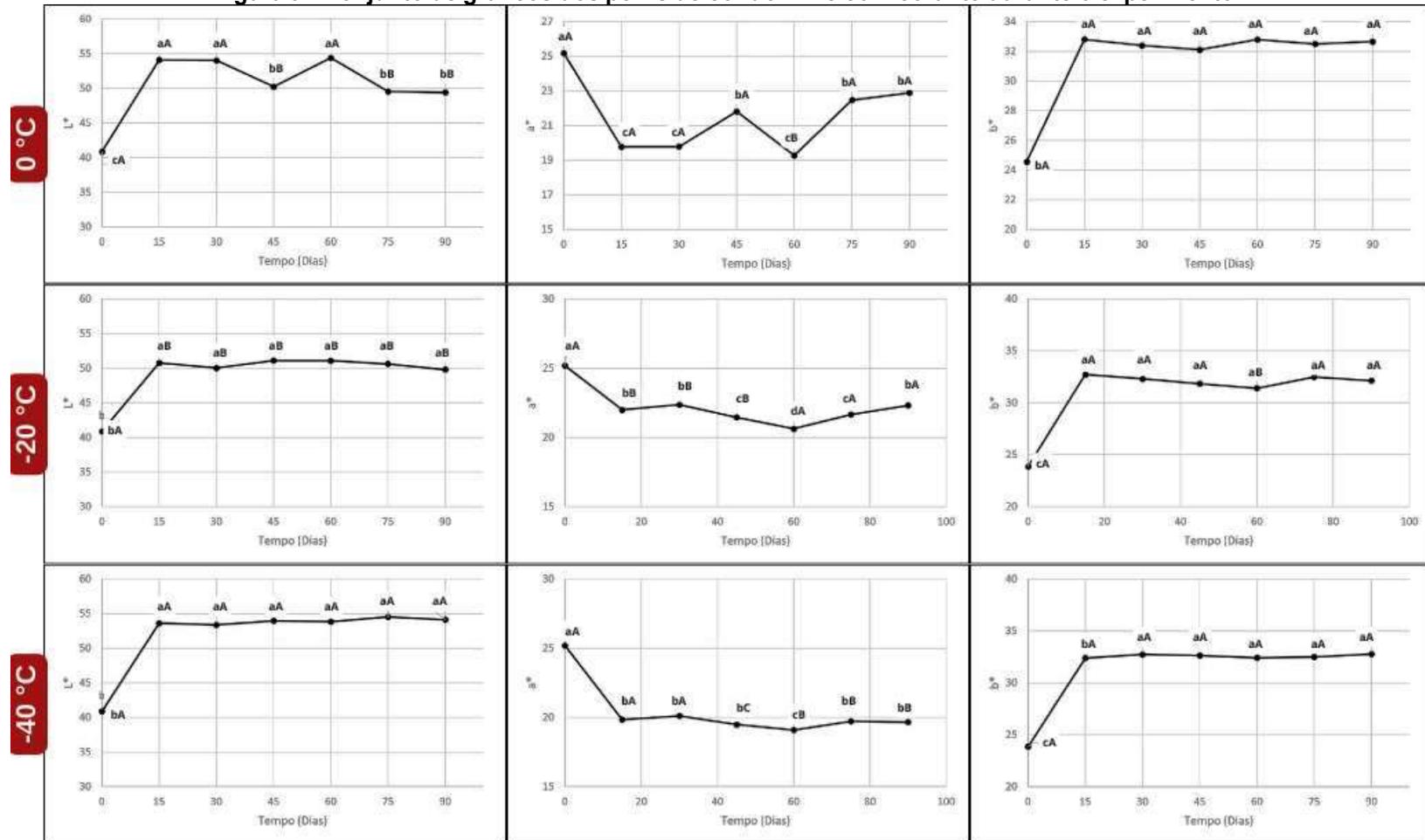
### 5.2.2 Parâmetros Colorimétricos

A Figura 9 representa os comportamentos do filme biodegradável adicionado de extrato de casca de pinhão quanto aos parâmetros colorimétricos durante o tempo de armazenamento.

A cor dos filmes está relacionada com a pigmentação do corante, no caso do filme biodegradável com a adição do extrato de pinhão. Os parâmetros analisados via CIELab mostram como foi a variação da cor de acordo com o tempo experimental nas três temperaturas de armazenamento.

Apesar de todos os parâmetros e temperaturas de armazenamento terem apresentado diferenças significativas no teste estatístico de Tukey para comparação das médias entre cada tempo do experimento, percebe-se que os filmes com corante natural se mantiveram com comportamento muito semelhante durante todo o armazenamento no período experimental.

Figura 9 - Conjunto de gráficos dos perfis de cor do filme com corante durante o experimento



$a, b$  médias com letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os tempos das amostra ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

$A, B$  médias com letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as temperaturas para cada tempo ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria, 2024.

O parâmetro de luminosidade ( $L^*$ ) apresenta um perfil muito semelhante para as temperaturas de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aumentando logo no início e se mantendo constante durante todo o período experimental. Contudo, para a temperatura de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o valor é ligeiramente menor em comparação com  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Já para a temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nota-se um aumento inicial que é seguido por variações mais energéticas, com flutuações experimentais entre 49,40 e 54,06 ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 49,79 e 51,08 ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e 53,36 e 54,52 ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

O parâmetro  $a^*$  também exibe um comportamento muito semelhante nas três temperaturas, variando entre 19,26 e 22,90 para  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , entre 20,63 e 22,36 para  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e entre 19,09 e 20,11 para  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Inicialmente, há uma queda quando os materiais são colocados nos armazenamentos, mas posteriormente, estabilizam-se.

Por fim, o parâmetro  $b^*$  é o que mais se assemelha em comportamento, não apresentando diferença significativa na comparação entre as três temperaturas. Para  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , variou de 32,11 a 32,80; para  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , variou de 31,40 a 32,70; e para  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , variou de 32,41 a 32,81.

Os dados de diferença total de cor estão apresentados na Tabela 5 e corroboram o efeito imediato da redução de temperatura nos parâmetros de cor e sua posterior estabilidade. Não existe um limite universalmente aceito para medir o  $\Delta E$ , pois, muitos fatores, como o tipo de amostra, influenciam essa avaliação. De modo geral, quanto menor a diferença de cor, maior a estabilidade, uma vez que isso indica menos variação na cor ao longo do tempo (Henriott *et al.*, 2020).

**Tabela 5 - Conjunto de tabelas com os resultados de  $\Delta E$  para o filme com corante de casca de pinhão**

<b>0 °C</b>	0	15	30	45	60	75	90
0		16,84	16,59	12,92	17,26	12,54	12,26
15	16,84		0,41	4,40	0,61	5,29	5,62
30	16,59	0,41		4,32	0,76	5,24	5,59
45	12,92	4,40	4,32		4,94	0,40	1,48
60	17,26	0,61	0,76	4,94		5,84	6,19
75	12,54	5,29	5,24	0,40	5,84		0,47
90	12,26	5,62	5,59	1,48	6,19	0,47	

-20 °C	0	15	30	45	60	75	90
0		13,56	12,75	13,48	13,46	13,46	12,16
15	13,56		0,84	1,13	1,93	0,40	1,07
30	12,75	0,84		1,50	2,22	0,94	0,27
45	13,48	1,13	1,50		0,93	0,84	1,58
60	13,46	1,93	2,22	0,93		1,56	2,22
75	13,46	0,40	0,94	0,84	1,56		1,09
90	12,16	1,07	0,27	1,58	2,22	1,09	

-40 °C	0	15	30	45	60	75	90
0		16,46	16,14	16,74	16,68	17,05	15,97
15	16,46		0,38	0,52	0,88	0,97	0,54
30	16,14	0,38		0,86	1,17	1,25	0,88
45	16,74	0,52	0,86		0,47	0,63	0,28
60	16,68	0,88	1,17	0,47		0,94	0,73
75	17,05	0,97	1,25	0,63	0,94		0,49
90	15,97	0,54	0,88	0,28	0,73	0,49	

Fonte: Autoria própria, 2024.

Os valores de  $\Delta E$ , na comparação entre o tempo 0 (antes da armazenagem) e os outros períodos foram altas, o que era previsível, pois está se medindo a diferença entre condições distintas. No entanto, observa-se que, uma vez armazenados, os filmes começam a ter o valor de  $\Delta E$  muito menor, especialmente na menor temperatura de armazenagem (-40 °C). Essa temperatura apresentou, de maneira geral, as menores variações, indicando uma maior estabilidade dos filmes sob essa condição. Além disso, não foi possível perceber mudanças na cor a olho nu, uma vez que todos os valores apresentaram  $\Delta E < 3$ . Segundo Henriott *et al.* (2020), a diferença na cor só é perceptível a olho nu para valores de  $\Delta E > 3$ .

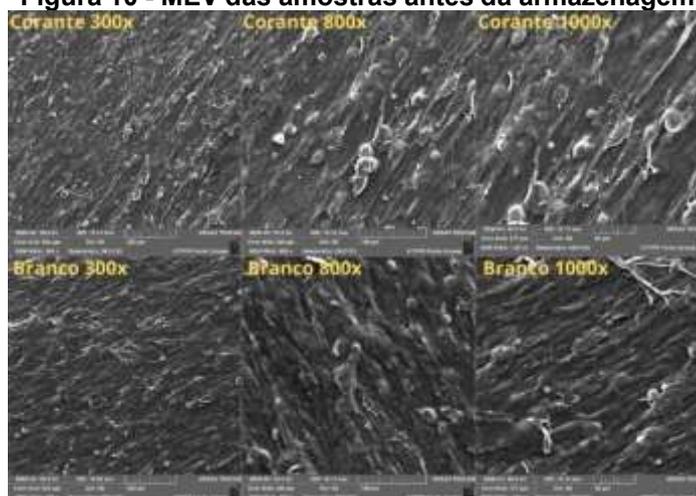
Os filmes armazenados a -20 °C também apresentaram valores aceitáveis, ou seja, com uma mudança imperceptível a olho nu. No entanto, esses filmes apresentaram, de modo geral, números um pouco maiores em comparação à armazenagem a -40 °C. Já os filmes que foram colocados sob temperatura de 0 °C tiveram alguns valores de  $\Delta E$  maiores que 3, o que indica que foi possível notar

diferenças nas cores dos filmes a olho nu durante o experimento. Isso sugere que a estabilidade dos filmes armazenados a 0 °C não foi tão eficaz quanto nos outros métodos.

### 5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia do material é um aspecto importante, uma vez que pode revelar as propriedades dos materiais poliméricos, incluindo características como sua resistência mecânica durante o armazenamento proposto. Foram obtidas imagens de MEV dos filmes com corante e do grupo controle antes do período de armazenamento (Figura 10), com ampliações de 300x, 800x e 1000x. Foi observada uma superfície semi-homogênea, sem furos ou qualquer sinal de deformidade, sendo notados apenas alguns grânulos de amido não gelatinizados, em uma condição muito semelhante ao que Cossa *et al.* (2021) e Bilck *et al.* (2021) observaram em seus estudos.

**Figura 10 - MEV das amostras antes da armazenagem**

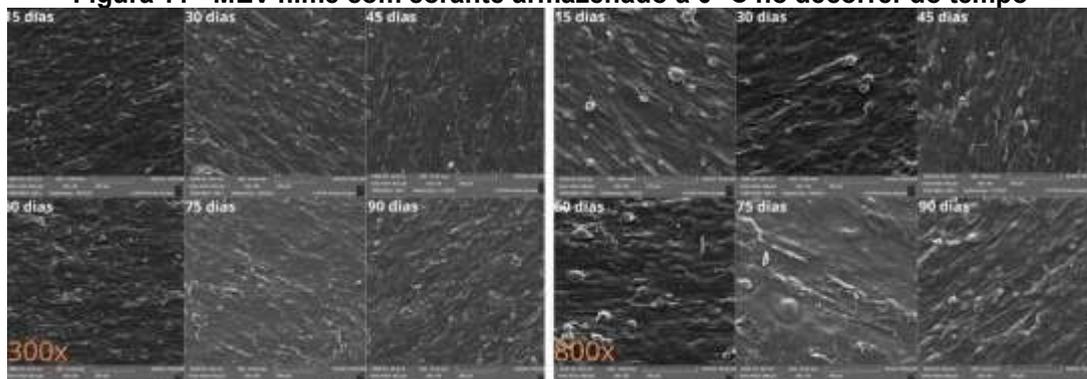


Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.

O conjunto de imagens dos filmes com adição de corante e do filme controle, armazenados a 0 °C, mostrados nas Figuras 11 e 12 ao longo de noventa dias, não revelou qualquer sinal de deformação, rasgos ou furos, somente os sinais já descritos. Os mesmos, permaneceram estáveis, lisos e sem vazios, conforme

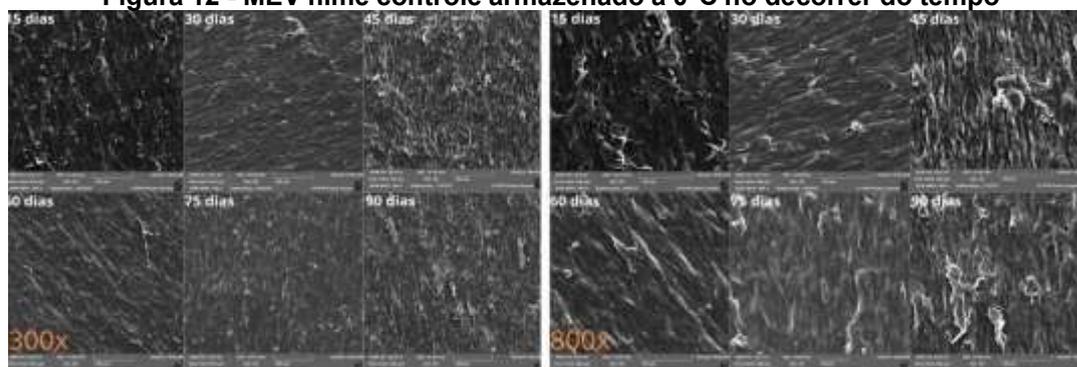
evidenciado pelos resultados das propriedades mecânicas, que apresentaram apenas uma pequena variação ao longo do tempo proposto.

**Figura 11 - MEV filme com corante armazenado a 0 °C no decorrer do tempo**



Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.

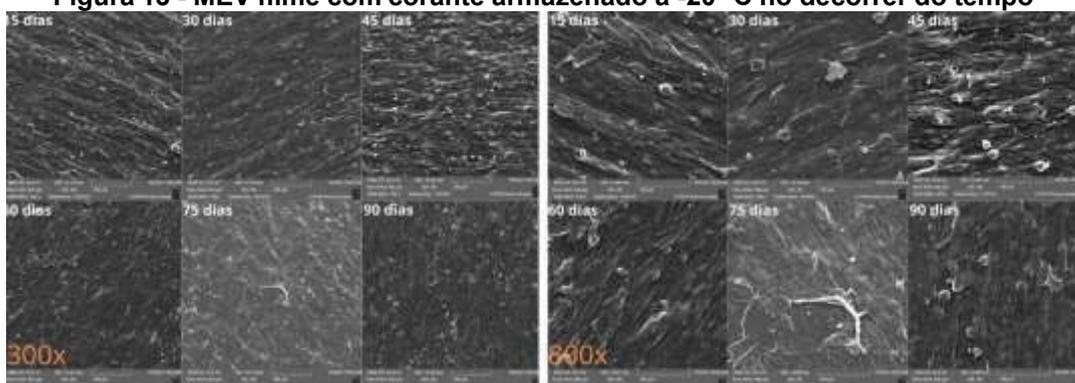
**Figura 12 - MEV filme controle armazenado a 0°C no decorrer do tempo**



Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.

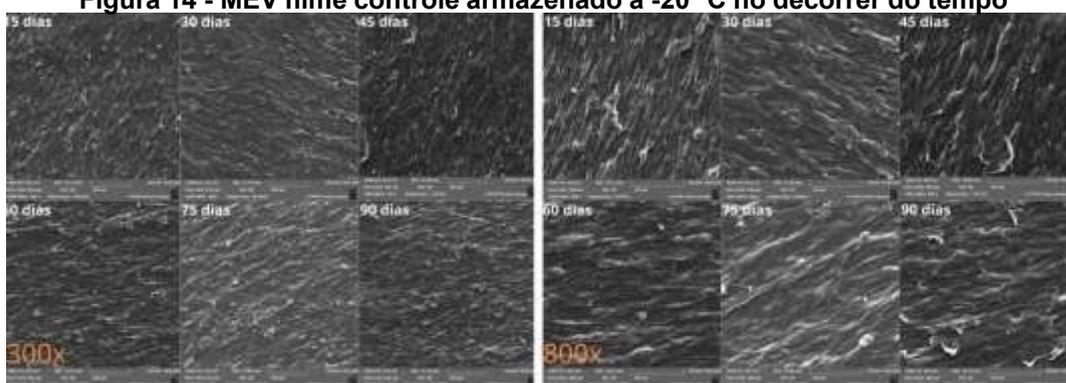
Da mesma forma, o conjunto de imagens de MEV dos filmes com adição de corante e do grupo controle armazenados a -20 °C (Figuras 13 e 14) também permaneceu estável ao longo do experimento. A única observação, que já foi discutido acima, foi a presença de grânulos de amido não gelatinizados, os quais, por si só, não causaram deformidades estruturais nos filmes e não interferindo nas propriedades mecânicas dos mesmos.

**Figura 13 - MEV filme com corante armazenado a -20 °C no decorrer do tempo**



Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.

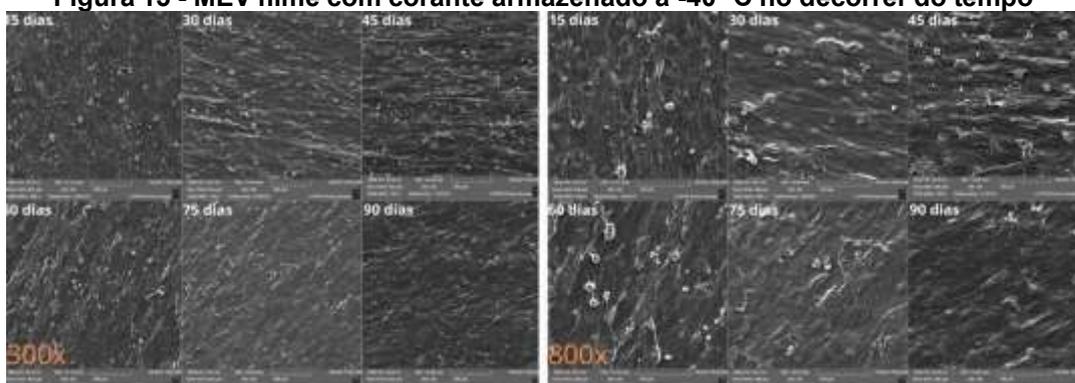
**Figura 14 - MEV filme controle armazenado a -20 °C no decorrer do tempo**



Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.

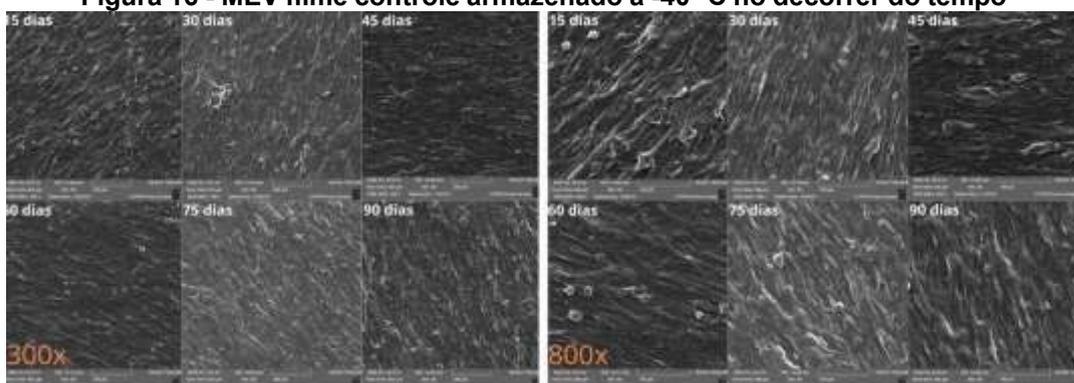
Por fim, o conjunto de imagens de MEV, tanto com a adição do corante quanto do controle, que foram armazenados à temperatura de -40 °C, conforme mostrado nas Figuras 15 e 16. Observou-se que, assim como nas outras condições de armazenamento, não houve evidência de instabilidade na composição do filme durante a análise de visualização microscópica.

**Figura 15 - MEV filme com corante armazenado a -40 °C no decorrer do tempo**



Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.

**Figura 16 - MEV filme controle armazenado a -40 °C no decorrer do tempo**



**Fonte: Imagens obtidas de microscópio eletrônico de varredura, 2024.**

Com base na análise das imagens e na comparação com os resultados das análises das propriedades mecânicas, que se mantiveram relativamente estáveis durante a condução dos experimentos. Não foram identificadas falhas estruturais nem sinais de degradação significativa tanto no filme contendo corante natural de casca de pinhão quanto no filme controle, que não possuía o corante. Este resultado está em concordância com o estudo de Cossa *et al.* (2021), que também observou uma estabilidade em embalagens feitas com filme feito à base de glicerina, PBAT e amido de mandioca com aplicadas em pescados.

## 6 CONCLUSÃO

Segundo os resultados presentes neste estudo, os valores das propriedades mecânicas quando os filmes foram recém-fabricados são superiores aos medidos neste trabalho, um ano após o desenvolvimento do material. Isso era esperado, pois os filmes foram armazenados durante todo esse tempo, resultando em uma gradual deterioração ao longo deste período. No entanto, como discutido anteriormente, os filmes se mantiveram um comportamento mecânico estável durante o tempo experimental de noventa dias, especialmente sob temperatura negativa de congelamento.

Quanto às condições de armazenamento, observou-se que o congelamento também contribuiu para a melhoria e estabilização do filme, evidenciada pelo aumento da alongação em comparação aos dados anteriores ao experimento. Além disso, as menores temperaturas de congelamento, especialmente  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mostraram uma melhora significativa.

É relevante notar, evidencia-se que o filme biodegradável adicionado de corante natural de casca de pinhão apresentou uma melhoria significativa na propriedade mecânica de alongação na ruptura em comparação ao filme controle. Isso indica que a adição do corante não apenas conferiu um efeito visual (cor) ao produto, mas também atuou como um potencial melhorador mecânico do filme.

Nos dados colorimétricos, observa-se que, após 365 dias de armazenamento, o filme com o corante sofreu deterioração. No teste de Tukey para comparação das médias, apenas o componente  $a^*$  não apresentou diferença significativa em relação ao filme recém-fabricado. Imediatamente após o início do armazenamento, houve uma mudança significativa em todos os parâmetros, que mantiveram um comportamento semelhante entre si até o final do experimento.

Da mesma forma, os valores de  $\Delta E$  demonstraram uma grande diferença quando comparados ao tempo antes do armazenamento com as medidas do experimento, estabilizando-se posteriormente ao longo dos noventa dias de armazenamento. Essa variação foi imperceptível a olho nu nas temperaturas de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo que este último apresentou os menores valores, indicando uma maior estabilidade em relação à cor.

Por fim, como observado nas imagens de microscopia eletrônica, em concordância com os resultados das propriedades mecânicas e colorimétricas, os

filmes mantiveram-se estáveis durante o período proposto para o experimento. Não foram observadas fissuras ou rasgos na estrutura dos filmes em nenhuma das temperaturas de refrigeração e congelamento avaliadas. Isso reforça a estabilidade do material ao longo do tempo e sob diferentes condições de armazenamento.

## REFERÊNCIAS

1. ABRE (2023). Associação Brasileira de embalagens. Disponível em <http://www.abre.org.br/>, acessado em 13.04.2024.
2. ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) D882-91. Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.2002. 68
3. ASS/S, Renato Queiroz; RIOS, Polliana D'Angelo; RIOS, Alessandro de Oliveira; OLIVERA, Florencia Cladera. Biodegradable packaging of cellulose acetate incorporated with norbixin, lycopene or zeaxanthin. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 147, n. October 2019, p. 112212, 2020. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112212. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112212>.
4. BILCK, Ana Paula; YAMASHITA, Fábio; MARZANO-BARREDA, Luis Alejandro. Characterization and application of starch/polyester packaging produced by blown extrusion. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [S. l.], v. 2, n. February, p. 100088, 2021. DOI: 10.1016/j.carpta.2021.100088. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100088>.
5. BRANDELERO, R. P. H.; GROSSMANN, M. V.; YAMASHITA, F. Hydrophilicity of starch and poly(butylene adipate-co-terephthalate) (pbat) films containing tween 80 and soybean oil | Hidrofilicidade de filmes de amido/poli(butileno adipato co-tereftalato) (pbat) adicionados de tween 80 e óleo de soja. **Polimeros**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 270–275, 2013. DOI: 10.1590/S0104-14282013005000011.
6. CAZÓN, Patricia; VELAZQUEZ, Gonzalo; RAMÍREZ, José A.; VÁZQUEZ, Manuel. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 68, p. 136–148, 2017. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2016.09.009.

7. **Clima Pato Branco**. 2023. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/americado-sul/brasil/parana/pato-branco-4106/>. Acesso em: 18 abr. 2024.
8. COSSA, Milene de Andrade Vogt; BILCK, Ana Paula; YAMASHITA, Fabio; MITTERER-DALTOÉ, Marina Leite. Biodegradable packaging as a suitable protectant for the conservation of frozen pacu ( *Piaractus mesopotamicus* ) for 360 days of storage at  $-18^{\circ}\text{C}$ . **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 1–11, 2021. DOI: 10.1111/jfpp.16133. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16133>.
9. DE CAMPOS, Sabrina Silva *et al.* TPCS/PBAT blown extruded films added with curcumin as a technological approach for active packaging materials. **Food Packaging and Shelf Life**, [S. l.], v. 22, n. November, p. 100424, 2019. DOI: 10.1016/j.fpsl.2019.100424. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100424>.
10. DE OLIVEIRA, Fernanda; LIMA, Caio de Azevedo; LOPES, André Moreni; MARQUES, Daniela de Araújo Viana; DRUZIAN, Janice Izabel; PESSOA JÚNIOR, Adalberto; SANTOS-EBINUMA, Valéria Carvalho. Microbial Colorants Production in Stirred-Tank Bioreactor and Their Incorporation in an Alternative Food Packaging Biomaterial. **Journal of Fungi**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 264, 2020. DOI: 10.3390/jof6040264. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/6/4/264>.
11. FILHO, Ademir José Siman; SANFELICE, Rafaela Cristina. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação - RBCTI**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 131–148, 2018.
12. FRIEDRICHSEN, Jéssica Souza Alves; FERREIRA, Cintia Stefhany Ripke; FRIGO, Giovana; GOMES, Elienae da Silva; SILVA, Jaqueline Ferreira; SILVA, Pauline Godoi; PIACQUADIO, Nathali Miranda; ARAÚJO, Elder dos Santos; SANTOS, Oscar Oliveira. O uso de amido como proposta para embalagens

- biodegradáveis – Uma revisão. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 14, p. e282111436449, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.36449. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36449>.
13. GONÇALVES, Pamella Carvalho; ZANETTI LOFRANO, Renata Carolina. Coloração de biopolímero biodegradável usando-se corantes naturais betanina e curcumina. **Cadernos UniFOA**, [S. l.], v. 13, n. 38, p. 51–56, 2018. DOI: 10.47385/cadunifoa.v13.n38.2615. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/2615>.
14. GUEIROS, Marcos André Ferreira; GOMES, Glêce Milene Santana; RIBEIRO, Daniele Silva. APLICAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. *In: Open Science Research VI*. [s.l.] : Editora Científica Digital, 2022. p. 1828–1846. DOI: 10.37885/220308433. Disponível em: <http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/220308433>.
15. HENRIOTT, M. L.; HERRERA, N. J.; RIBEIRO, F. A.; HART, K. B.; BLAND, N. A.; ESKRIDGE, K.; CALKINS, C. R. Impact of myoglobin oxygenation state prior to frozen storage on color stability of thawed beef steaks through retail display. **Meat Science**, [S. l.], v. 170, n. June, p. 108232, 2020. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108232. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108232>.
16. JUNIOR, Ivan Taiatele; DAL BOSCO, Tatiane Cristina; BERTOZZI, Janksyn; MICHELS, Roger Nabeyama; MALI, Suzana. Biodegradability assessment of starch/glycerol foam and poly(butylene adipate-co-terephthalate)/starch film by respirometric tests. **Brazilian Journal of Food Technology**, [S. l.], v. 23, p. 1–15, 2020. DOI: 10.1590/1981-6723.24818.
17. LANDIM, Ana Paula Miguel; BERNARDO, Cristiany Oliveira; MARTINS, Inayara Beatriz Araujo; FRANCISCO, Michele Rodrigues; SANTOS, Monique

- Barreto; MELO, Nathália Ramos De. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, [S. l.], v. 26, n. spe, p. 82–92, 2016. DOI: 10.1590/0104-1428.1897. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282016000700013&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282016000700013&lng=pt&tlng=pt).
18. MARENGO, Vitor Almeida; VERCELHEZE, Ana Elisa Stefani; MALI, Suzana. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, [S. l.], v. 36, n. 5, p. 680–685, 2013. DOI: 10.1590/S0100-40422013000500012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422013000500012&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000500012&lng=pt&nrm=iso&tlng=en).
19. MARZANO-BARREDA, Luis Alejandro; YAMASHITA, Fábio; BILCK, Ana Paula. Effect of biodegradable active packaging with zeolites on fresh broccoli florets. **Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 197–204, 2021. DOI: 10.1007/s13197-020-04529-9. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13197-020-04529-9>.
20. MERZ, Barbara; CAPELLO, Cristiane; LEANDRO, Gabriel Coelho; MORITZ, Denise Esteves; MONTEIRO, Alcilene Rodrigues; VALENCIA, Germán Ayala. A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 153, p. 625–632, 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.03.048. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.048>.
21. MORAIS, Ana Carolina Lemos De; SILVA, Thyago Camelo Pereira Da; CASTRO, Layara Lorrana Ribeiro Leite De; BARBOSA, Renata; ALVES, Tatianny Soares. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de poli(ácido láctico) e proteína isolada de soja produzidos via extrusão plana. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S. l.], v. 27, n. 1, 2022. DOI: 10.1590/s1517-707620220001.1344.

Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762022000100318&tIng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762022000100318&tIng=pt).

22. MUNIZ, Patricia; SILVA, Santos; SANTIAGO DE QUEIROZ, Rayana; COSTA, Silgia. Corante extraído do pinhão para o tingimento de algodão e lã Natural dyes View project Plantas corantes nativas do Brasil View project. *[S. l.]*, n. August, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/322869517>.
23. OLDONI, Tatiane Luiza C. *et al.* Antihyperglycemic activity of crude extract and isolation of phenolic compounds with antioxidant activity from *Moringa oleifera* Lam. leaves grown in Southern Brazil. **Food Research International**, *[S. l.]*, v. 141, n. June 2020, p. 110082, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110082. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996920311078>.
24. PEREIRA, Anna Clara Marinho; DOMINGOS, Ana Lisa Moreira; NOLETTO, Ana Paula Reis; REIS, Arlete Barbosa. EXPERIMENTAL RESEARCH ON NATURAL COLORS / COATINGS OF CHITOSAN APPLIED IN CELLULOSIC PACKAGING. **Periódico Tchê Química**, *[S. l.]*, v. 16, n. 31, p. 680–692, 2019. DOI: 10.52571/PTQ.v16.n31.2020.689\_Periodico31\_pgs\_680\_692.pdf. Disponível em: [http://www.deboni.he.com.br/arquivos\\_jornal/2019/31/689\\_Periodico31.pdf](http://www.deboni.he.com.br/arquivos_jornal/2019/31/689_Periodico31.pdf).
25. PIGOZZI, Luiza; COSTA DE CONTO, Leilane; PAULA LIMA VEECK, Ana. Análise da composição centesimal, da presença de compostos fenólicos e da atividade antioxidante em pinhão, sob diferentes formas de processamento. **Instituto Federal de Santa Catarina**, *[S. l.]*, n. 1, 2015.
26. RIBEIRO, S.; VELOSO, Cristiane M. Food Hydrocolloids Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *[S. l.]*, v. 112, n. September 2020, p. 106374, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106374. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X20318518>.

27. ROY, Swarup; GHOSH, Tabli; ZHANG, Wanli; RHIM, Jong-Whan. Recent progress in PBAT-based films and food packaging applications: A mini-review. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 437, n. P1, p. 137822, 2024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137822. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137822>.
28. SHARMA, Swati. Polylactic Acid ( <sc>PLA</sc> ) and Its Composites: An Eco-friendly Solution for Packaging. In: **Sustainable Food Packaging Technology**. [s.l.] : Wiley, 2021. p. 107–132. DOI: 10.1002/9783527820078.ch4. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527820078.ch4>.
29. SILVA, Desiree Lameo; PAULISTA, Larissa Oliveira; PRESUMIDO, Pedro Henrique; BERTOZZI, Janksyn; YAMASHITA, Fabio; BILCK, Ana Paula; DAL BOSCO, Tatiane Cristina. Influence of Oat Hulls on Biodegradation of Biopolymer from Polylactic Acid. **U.Porto Journal of Engineering**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1–10, 2020. DOI: 10.24840/2183-6493\_006.001\_0001. Disponível em: [https://journalengineering.fe.up.pt/article/view/2183-6493\\_006.001\\_0001](https://journalengineering.fe.up.pt/article/view/2183-6493_006.001_0001).
30. SILVA SANTOS, Natalie; ARAÚJO TAVARES DA SILVA, Flávia Luiza; SANTOS LEITE NETA, Maria Terezinha. CORANTES NATURAIS: IMPORTÂNCIA E FONTES DE OBTENÇÃO. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. e331165, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i3.1165. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1165>.
31. WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico | WWF Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 8 jun. 2023.
32. XIONG, Shao Jun *et al.* Economically Competitive Biodegradable PBAT/Lignin

Composites: Effect of Lignin Methylation and Compatibilizer. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 13, p. 5338–5346, 2020. DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c00789.

33. ZAVAREZE, Elessandra da Rosa; HALAL, Shanise Lisie Mello El; TELLES, Annie Campello; PRENTICE-HERNÁNDEZ, Carlos. Filmes biodegradáveis à base de proteínas miofibrilares de pescado. **Brazilian Journal of Food Technology**, [S. l.], v. 15, n. spe, p. 53–57, 2012. DOI: 10.1590/s1981-67232012005000038.

## Apêndice A – Dados estatísticos

**Tabela 6 – Dados e resultados obtidos das análises dos filmes com corante**

Amostra	L*	a*	b*	Resistência à tração (Mpa)	Elongação na ruptura(%)
Filme corante	54,07 <sup>b</sup> ±0,39	19,77 <sup>ab</sup> ±0,17	32,80 <sup>fg</sup> ±0,24	3,09 <sup>abcd</sup> ±0,20	45,59 <sup>k</sup> ±3,49
0 °C: Dia 15 Filme corante	54,03 <sup>b</sup> ±0,17	19,78 <sup>ab</sup> ±0,14	32,39 <sup>fg</sup> ±0,3	3,06 <sup>abcd</sup> ±0,13	37,93 <sup>cdef</sup> ±1,63
0 °C: Dia 30 Filme corante	50,23 <sup>a</sup> ±0,69	21,81 <sup>ef</sup> ±0,51	32,11 <sup>fg</sup> ±0,80	4,58 <sup>bcde</sup> ±0,78	45,80 <sup>bcd</sup> ±1,55
0 °C: Dia 45 Filme corante	54,40 <sup>b</sup> ±0,20	19,26 <sup>b</sup> ±0,20	32,80 <sup>fg</sup> ±0,43	3,73 <sup>abcde</sup> ±0,78	34,61 <sup>cdefg</sup> ±2,10
0 °C: Dia 60 Filme corante	49,54 <sup>a</sup> ±0,61	22,48 <sup>ef</sup> ±0,37	32,51 <sup>fg</sup> ±0,20	2,73 <sup>ab</sup> ±0,15	36,09 <sup>cdef</sup> ±2,47
0 °C: Dia 75 Filme corante	49,40 <sup>a</sup> ±0,76	22,90 <sup>f</sup> ±0,75	32,66 <sup>fg</sup> ±0,05	3,42 <sup>abcde</sup> ±0,32	36,18 <sup>cdef</sup> ±1,67
0 °C: Dia 90 Filme corante	50,63 <sup>a</sup> ±0,57	21,99 <sup>ef</sup> ±0,35	32,71 <sup>fg</sup> ±0,15	4,31 <sup>bcde</sup> ±1,17	68,04 <sup>a</sup> ±2,75
-20 °C: Dia 15 Filme corante	49,99 <sup>a</sup> ±0,30	22,36 <sup>ef</sup> ±0,26	32,31 <sup>fg</sup> ±0,61	4,87 <sup>e</sup> ±0,14	66,81 <sup>a</sup> ±2,65
-20 °C: Dia 30 Filme corante	51,08 <sup>a</sup> ±0,69	21,45 <sup>de</sup> ±0,58	31,83 <sup>fg</sup> ±0,08	2,86 <sup>ab</sup> ±0,47	40,61 <sup>bcde</sup> ±1,31
-20 °C: Dia 45 Filme corante	51,05 <sup>a</sup> ±0,88	20,63 <sup>cd</sup> ±0,79	31,40 <sup>f</sup> ±0,15	2,54 <sup>a</sup> ±0,67	36,39 <sup>cdef</sup> ±1,80
-20 °C: Dia 60 Filme corante	50,59 <sup>a</sup> ±0,34	21,66 <sup>de</sup> ±0,33	32,48 <sup>fg</sup> ±0,11	3,70 <sup>abcde</sup> ±0,90	51,41 <sup>abc</sup> ±1,10
-20 °C: Dia 75 Filme corante	49,79 <sup>a</sup> ±0,80	22,31 <sup>ef</sup> ±0,31	32,13 <sup>fg</sup> ±0,48	3,32 <sup>abcde</sup> ±0,27	31,53 <sup>defghi</sup> ±1,87
-20 °C: Dia 90 Filme corante	53,61 <sup>b</sup> ±0,01	19,84 <sup>ab</sup> ±0,02	32,81 <sup>g</sup> ±0,02	4,87 <sup>e</sup> ±0,19	57,61 <sup>ab</sup> ±2,38
-40 °C: Dia 15 Filme corante	53,36 <sup>b</sup> ±0,29	20,11 <sup>ab</sup> ±0,14	32,73 <sup>fg</sup> ±0,08	4,70 <sup>bcde</sup> ±0,76	65,30 <sup>l</sup> ±1,30
-40 °C: Dia 30 Filme corante	53,95 <sup>b</sup> ±0,56	19,49 <sup>ab</sup> ±0,59	32,63 <sup>fg</sup> ±0,08	2,93 <sup>abc</sup> ±0,48	36,04 <sup>cdef</sup> ±1,81
-40 °C: Dia 45 Filme corante	53,83 <sup>b</sup> ±0,56	19,09 <sup>b</sup> ±0,42	32,41 <sup>fg</sup> ±0,15	2,98 <sup>abc</sup> ±0,34	37,05 <sup>cdef</sup> ±2,44
-40 °C: Dia 60					

Filme corante -40 °C: Dia 75	54,52 <sup>b</sup> ±0,43	19,72 <sup>ab</sup> ±,42	32,50 <sup>fg</sup> ±0,37	3,23 <sup>abcde</sup> ±0,57	50,99 <sup>abc</sup> ±1,03
Filme corante -40 °C: Dia 90	54,12 <sup>b</sup> ±0,74	19,66 <sup>ab</sup> ±0,59	32,77 <sup>fg</sup> ±0,21	3,01 <sup>abcd</sup> ±0,39	44,13 <sup>bcd</sup> ±1,16

<sup>a,b</sup> médias com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria, 2024.

**Tabela 7 - Dados e resultados obtidos das análises dos filmes controles**

Amostra	L*	a*	b*	Resistência à tração (Mpa)	Elongação na ruptura(%)
Filme controle					
0 °C: Dia 15	87,47 <sup>d</sup> ±0,06	-0,76 <sup>a</sup> ±0,03	6,04 <sup>abcde</sup> ±0,23	4,25 <sup>bcde</sup> ±0,71	17,41 <sup>jk</sup> ±0,47
Filme controle 0 °C: Dia 30	87,47 <sup>d</sup> ±0,25	-0,34 <sup>a</sup> ±0,05	6,13 <sup>abcde</sup> ±0,50	3,16 <sup>abcd</sup> ±0,40	17,32 <sup>ghi</sup> ±0,47
Filme controle 0 °C: Dia 45	87,45 <sup>d</sup> ±0,38	-0,60 <sup>a</sup> ±0,04	4,99 <sup>a</sup> ±0,38	3,53 <sup>abcde</sup> ±0,41	21,20 <sup>fghi</sup> ±1,81
Filme controle 0 °C: Dia 60	87,34 <sup>d</sup> ±0,19	-1,01 <sup>a</sup> ±0,05	6,28 <sup>abcde</sup> ±0,45	4,30 <sup>bcde</sup> ±0,66	24,54 <sup>i</sup> ±0,42
Filme controle 0 °C: Dia 75	86,98 <sup>d</sup> ±0,16	-0,61 <sup>a</sup> ±0,03	6,63 <sup>bcde</sup> ±0,68	2,69 <sup>ab</sup> ±0,17	17,60 <sup>ghi</sup> ±1,74
Filme controle 0 °C: Dia 90	87,24 <sup>d</sup> ±0,20	-0,54 <sup>a</sup> ±0,03	5,65 <sup>abcd</sup> ±0,30	3,85 <sup>abcde</sup> ±0,40	20,87 <sup>fghi</sup> ±1,25
Filme controle -20 °C: Dia 15	87,14 <sup>d</sup> ±0,07	-0,86 <sup>a</sup> ±0,01	6,67 <sup>cde</sup> ±0,28	3,18 <sup>abcde</sup> ±0,57	20,49 <sup>fghi</sup> ±2,24
Filme controle -20 °C: Dia 30	87,06 <sup>d</sup> ±0,11	-0,43 <sup>a</sup> ±0,03	6,90 <sup>de</sup> ±0,39	3,14 <sup>abcd</sup> ±0,40	21,04 <sup>i</sup> ±1,14
Filme controle -20 °C: Dia 45	84,06 <sup>c</sup> ±0,38	-0,65 <sup>a</sup> ±0,03	6,96 <sup>de</sup> ±0,12	3,22 <sup>abcde</sup> ±0,50	22,57 <sup>efghi</sup> ±2,07
Filme controle -20 °C: Dia 60	87,34 <sup>d</sup> ±0,38	-0,95 <sup>a</sup> ±0,07	6,53 <sup>bcde</sup> ±0,33	4,03 <sup>abcde</sup> ±0,08	37,92 <sup>cdef</sup> ±3,05
Filme controle -20 °C: Dia 75	86,28 <sup>d</sup> ±0,69	-0,62 <sup>a</sup> ±0,06	5,99 <sup>abcde</sup> ±0,69	3,76 <sup>abcde</sup> ±0,27	23,07 <sup>efghi</sup> ±1,22
Filme controle -20 °C: Dia 90	86,65 <sup>d</sup> ±0,81	-0,60 <sup>a</sup> ±0,02	7,29 <sup>e</sup> ±0,21	3,18 <sup>abcde</sup> ±0,80	17,62 <sup>ghi</sup> ±1,87
Filme controle -40 °C: Dia 15	87,53 <sup>d</sup> ±0,08	-0,91 <sup>a</sup> ±0,05	5,61 <sup>abc</sup> ±0,36	3,85 <sup>abcde</sup> ±0,27	15,26 <sup>hi</sup> ±2,09



Filme controle -40 °C: Dia 30	87,59 <sup>d</sup> ±0,06	-0,43 <sup>a</sup> ±0,05	5,25 <sup>ab</sup> ±0,42	2,65 <sup>ab</sup> ±0,50	15,53 <sup>j</sup> ±1,89
Filme controle -40 °C: Dia 45	87,26 <sup>d</sup> ±0,15	-0,61 <sup>a</sup> ±0,03	5,04 <sup>a</sup> ±0,12	3,85 <sup>abcde</sup> ±0,22	25,53 <sup>efghij</sup> ±1,11
Filme controle -40 °C: Dia 60	87,41 <sup>d</sup> ±0,13	-0,87 <sup>a</sup> ±0,07	4,99 <sup>a</sup> ±0,33	2,65 <sup>ab</sup> ±0,51	21,06 <sup>fghi</sup> ±0,60
Filme controle -40 °C: Dia 75	87,41 <sup>d</sup> ±0,25	-0,56 <sup>a</sup> ±0,05	5,27 <sup>abc</sup> ±0,63	3,21 <sup>abcde</sup> ±0,60	15,01 <sup>hi</sup> ±0,58
Filme controle -40 °C: Dia 90	87,22 <sup>d</sup> ±0,22	-0,48 <sup>a</sup> ±0,06	5,77 <sup>abcd</sup> ±0,08	3,34 <sup>abcde</sup> ±0,40	23,06 <sup>efghi</sup> ±1,87

<sup>a,b</sup> médias com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

**Fonte: Autoria própria, 2024.**