



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA  
DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS



KARINE CAMARGO BARONI

**USO DE CORANTE NATURAL EM EMBALAGENS  
BIODEGRADÁVEIS: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE EM  
DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO E  
POTENCIAL DE MERCADO.**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2023

**KARINE CAMARGO BARONI**

**USO DE CORANTE NATURAL EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS:  
AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE  
ARMAZENAMENTO E POTENCIAL DE MERCADO.**

**NATURAL COLOR IN BIODEGRADABLE PACKAGING: EVALUATION OF  
STABILITY AT DIFFERENT STORAGE TEMPERATURES AND MARKET  
POTENTIAL.**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marina Leite Mitterer Daltoé.

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Bilck.

**PATO BRANCO**

**2023**



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

Atribuição – Uso Não Comercial (CC BY-NC) - Permite que outros remixem, adaptem e criem obras derivadas sobre a obra licenciada, sendo vedado o uso com fins comerciais. As novas obras devem conter menção ao autor nos créditos e também não podem ser usadas com fins comerciais. Porém as obras derivadas não precisam ser licenciadas sob os mesmos termos desta licença.



KARINE CAMARGO BARONI

**USO DE CORANTE NATURAL EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO E POTENCIAL DE MERCADO.**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos.

Data de aprovação: 12 de Dezembro de 2023

Dra. Marina Leite Mitterer Daltoe, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Juliana Machado Latorres, Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande (Furg)

Dra. Tatiane Luiza Cadorin Oldoni, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/03/2024.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus fonte de toda a sabedoria inesgotável, aquele que me deu a vida, e forças para permanecer em pé diante das provações.

À minha família, minha mãe Clair Camargo Kaminski e meu pai Itamar Baroni, por todo o carinho e apoio não somente durante o mestrado mas por toda a vida.

Aos meus amigos que sempre me estenderam a mão quando eu precisei

Agradeço também a professora Dr.<sup>a</sup> Marina Leite Mitterer Daltoé, pela oportunidade e orientação.

À professora Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Bilck pela orientação durante a elaboração dos filmes biodegradáveis e pela paciência ao repassar seu conhecimento

À professora Dr.<sup>a</sup> Elen Cristina Perin que foi a primeira professora do programa que tive contato ainda como aluna externa, sua didática e amor pelo que faz é inspirador.

Agradeço ao professor Dr. Vanderlei pelo auxílio na estatística e elaboração dos gráficos, e também à professora Tatiane pelos ensinamentos na parte dos antioxidantes.

Agradeço aos professores e funcionários do laboratório da UEL, UNIDEP e UTFPR *campus* Francisco Beltrão e Pato Branco e também a Fundação Araucária (projeto número FA 127/2022, PBA 3793-1 13.481-3), pelo apoio técnico prestado.

Agradeço à Central de análises do campus de Pato Branco e ao LabaAna de Francisco Beltrão pelo auxílio na elaboração dos testes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Enfim, agradeço a todos que contribuíram para a realização dessa pesquisa. Muito obrigada.

## RESUMO

A demanda por práticas sustentáveis impulsionam alternativas ecologicamente corretas na produção de materiais de embalagem, tanto na composição da embalagem como dos corantes utilizados na mesma. É estratégico também conhecer a percepção positiva mercadista das embalagens nessa abordagem inovadora. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi explorar a viabilidade técnica e o potencial de mercado de filmes biodegradáveis de amido de mandioca aprimorados pela adição do extrato liofilizado da casca de pinhão como corante. O pinhão foi escolhido por ser parte da economia local e seu resíduo (casca) ser um subproduto da área agroindustrial. O estudo foi dividido em duas etapas. A primeira se concentra na produção do extrato da casca de pinhão, e incorporação de 4% em filme biodegradável de amido de mandioca extrusado por sopro em balão. Os filmes foram avaliados quanto as propriedades mecânicas, microscopia eletrônica de varredura, FTIR-ATR (Infravermelho com Transformada de Fourier - Refletância Total Atenuada), colorimetria, RGB - Red Green Blue, potencial antioxidante FRAP (Poder Antioxidante Redutor Férrico), DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) e antimicrobiano desde sua fabricação e durante 150 dias em diferentes condições de armazenamento ambiente (25°C), refrigerado (4°C) e congelado (-18°C) a cada 30 dias. Na segunda etapa três filmes cashing foram confeccionados com os extratos de casca de pinhão, bagaço da uva e folhas da ora pro nóbis. Foram investigadas as percepções do consumidor em relação a essas embalagens sustentáveis e analisado o potencial de mercado através do questionário de escolha alimentar e associação de palavras. Os resultados do primeiro estudo revelaram efeito da temperatura e do tempo na conservação dos filmes biodegradáveis. Os filmes com extrato liofilizado de casca de pinhão em relação ao controle, apresentaram melhor alongação e menor força de ruptura, ação antioxidante e coloração escura. O segundo estudo mostrou que as preocupações éticas e de saúde tiveram efeitos positivos significativamente baixos/fracos no conteúdo natural, enquanto o controle de peso teve efeito médio/positivo no conteúdo natural. Por outro lado, descobriu-se que o Humor teve um efeito negativo/médio significativo no Conteúdo Natural. O conteúdo natural tem um grande efeito na importância dada pelos consumidores aos alimentos embalados de forma ecológica.

A Associação de Palavras revelou uma percepção positiva relativamente à apresentação de embalagens biodegradáveis coloridas e uma percepção mais positiva, definida pela felicidade, ao saber que se trata de embalagens biodegradáveis coloridas com corantes naturais.

Palavras-chave: amido, propriedades mecânicas, extratos coloridos, casca de pinhão, potencial de mercado.

## ABSTRACT

The demand for sustainable practices drives ecologically correct alternatives in the production of packaging materials, both in the composition of the packaging and the dyes used in it. It is also strategic to know the positive market perception of packaging in this innovative approach. In this context, the objective of this study was to explore the technical feasibility and market potential of biodegradable cassava starch films improved by the addition of freeze-dried pine nut shell extract as a dye. The pine nut was chosen because it is part of the local economy and its extinction (shell) is a byproduct of the agro-industrial area. The study was divided into two stages. The first focuses on the production of pine nut shell extract, and the incorporation of 4% of cassava starch into a biodegradable film extruded by balloon blowing. The films were evaluated for mechanical properties, scanning electron microscopy, FTIR-ATR (Fourier Transform Infrared - Attenuated Total Reflectance), colorimetry, RGB - Red Green Blue, antioxidant potential FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and antimicrobial since its manufacture and for 150 days in different ambient (25°C), refrigerated (4°C) and frozen (-18°C) storage conditions every 30 days. In the second stage, three cashing films were made with extracts of pine nut shell, grape pomace and ora-pro-nobis leaves. Consumer perceptions regarding sustainable packaging were investigated and market potential was analyzed through the food choice and word association questionnaire. The results of the first study revealed the effect of temperature and time on the conservation of

Biodegradable. The films with freeze-dried pine nut shell extract, compared to the control, showed better elongation and lower breaking strength, antioxidant action, dark coloring. The second study showed that health and ethical concerns had significantly low/weak positive effects on natural content, while weight control had a medium/positive effect on natural content. On the other hand, Humor was found to have a significant negative/medium effect on Natural Content. Natural content has a big effect on the importance consumers give to environmentally packaged foods

The Word Association revealed a positive perception regarding the presentation of colored biodegradable packaging and a more positive perception, defined by happiness, when knowing that it is biodegradable packaging colored with natural dyes.

Keywords: starch, mechanical properties, colored extracts, pine nut shell, market potential..



## LISTA DE FÍGURAS

Figura 01 – Extrusão sopro balão do filme controle.....	24
Figura 02 – Embalagem biodegradável na extrusora sopro balão contendo corante natural da casca do pinhão .....	33
Figura 03 – Propriedade mecânica de alongação dos filmes biodegradáveis de amido de mandioca incorporados com extrato da casca do pinhão e filme biodegradável controle em temperaturas ambiente, refrigerado e congelado em diferentes tempos de armazenamento.....	37
Figura 04 – Propriedades mecânicas de força de ruptura dos filmes biodegradáveis de amido de mandioca incorporados com extrato de casca do pinhão e filme biodegradável controle em temperaturas ambiente, refrigerado e congelado nos diferentes tempos de armazenamento.....	38
Figura 05 – A: Espectros FTIR ATR para o filme controle temperatura ambiente B: Espectros FTIR ATR para o filme controle temperatura refrigerada C: Espectros FTIR ATR para o filme controle temperatura congelada D: filme adicionado do corante oriundo do pinhão em temperatura ambiente, E: filme adicionado do corante oriundo do pinhão em temperatura refrigerada e F: filme adicionado do corante oriundo do pinhão em temperatura congelada.....	41
Figura 06 - FTIR ATR da casca do pinhão, fécula de mandioca, (ambos são matéria prima dos filmes) Filme contendo corante oriundo da casca do pinhão e Filme controle.....	44
Figura 07 - A) FTIR ATR do filme controle e da fécula de mandioca B) FTIR ATR do extrato da casca do pinhão utilizado como corante e fécula de mandioca.....	46
Figura 08 - A) FTIR ATR da casca do pinhão e filme contendo a casca do pinhão como corante B) FTIR ATR da fécula de mandioca, e do pinhão e filme controle.....	47
Figura 09 – A) Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura ambiente (25°C) no tempo zero (a), 90 (b) e 150 dias (c) (Ampliação 300x).....	48

Figura 10 - A) Imagens Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes controle armazenados a temperatura de ambiente (25°C) no tempo zero (a), 90 (b) e 150 dias (c) (Ampliação 300x).....	49
Figura 10 - B) Filmes controle armazenados a temperatura de refrigeração (4°C) no tempo zero (d), 90 (e) e 150 dias (f) (Ampliação 300x).....	49
Figura 10 - C) Filmes controle armazenados a temperatura de congelamento (-18°C) no tempo zero (g), 90 (h) e 150 dias (i) (Ampliação 300x).....	49
Figura 11 – A: Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura ambiente (25°C) no tempo zero (a), 90 (b) e 150 dias (c) (Ampliação 300x).....	50
Figura 11 - B) Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura de refrigeração (4°C) no tempo zero (d), 90 (e) e 150 dias (f) (Ampliação 300x).....	50
Figura 11 – C: Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura de congelamento (-18°C) no tempo zero (g), 90 (h) e 150 dias (i) (Ampliação 300x).....	51
Figura 12 – Fotos dos filmes pinhão e controle respectivamente.....	52
Figura 13 - Resultados da colorimetria L* dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	54
Figura 14 - Resultados da colorimetria a* dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	55
Figura 15 - Resultados da colorimetria b* dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	56
Figura 16 - Resultados da colorimetria c* dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	58
Figura 17 - Resultados da colorimetria h* dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	59
Figura 18 - Resultados do padrão RGB R dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	63

Figura 19 - Resultados do padrão RGB G dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	64
Figura 20 - Resultados do padrão RGB B dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	65
Figura 21 - Resultados do padrão RGB H dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	66
Figura 22 - Resultados parâmetro s do padrão RGB s dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	67
Figura 23 - Resultados do padrão RGB v dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	68
Figura 24 - Resultados do padrão RGB L dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	69
Figura 25 - Resultados do padrão RGB I dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	70
Figura 26 - Resultados DPPH dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	71
Figura 27 - Resultados FC dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.....	74
Figura 28 - Diagrama PLS-PM.....	82

## LISTA DE SIGLAS

FTIR-ATR	Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier - Refletância Total Atenuada
MANOVA	Análise de Variância Multivariada
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
RGB	Red Green Blue
EH	Extrato Hidroalcoólico
PBAT	Poli Butileno de Adipato co-tereftalato
UR	Umidade Relativa
FRAP	Poder Antioxidante Redutor Férrico
DPPH	(2,2-difenil-1-picril-hidrazil)
ASTM	American Society for Testing e Material
AP	Associação de Palavras
PLS-PM	Modelagem de Mínimos Quadrados Parciais
QEA	Questionário de Escolha Alimentar
BHA	Butil Hidroxianisol
BHT	Butil Hidroxitolueno
T1	Tempo 1
T2	Tempo 2
T3	Tempo 3
T4	Tempo 4
T5	Tempo 5
$\Delta E$	Diferença total de cor

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
<b>3.REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL</b> .....	<b>11</b>
3.2 CORANTES NATURAIS .....	14
3.3 EMBALAGENS ATIVAS ANTIMICROBIANAS .....	17
3.4 ANTIOXIDANTES NATURAIS .....	17
3.5 DESAFIOS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ...	18
3.6 POTENCIAL DE MERCADO.....	20
<b>4.MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
4.1 Estudo 1 - EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL COLORIDA COM EXTRATO DA CASCA DO PINHÃO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE SOB CONGELAMENTO, REFRIGERAÇÃO E TEMPERATURA AMBIENTE.....	23
4.1.1 PRODUÇÃO DO EXTRATO DE CORANTE NATURAL DE PINHÃO.....	23
4.1.2 PRODUÇÃO DAS EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS.....	24
4.1.3 Avaliação da estabilidade das embalagens sob congelamento, refrigeração e temperatura ambiente durante cinco meses de armazenamento .....	25
4.1.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS.....	25
4.1.4.1. Propriedade mecânica.....	25
4.1.4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	26
4.1.4.3. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER COM MÓDULO DE REFLETÂNCIA TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)...	27
4.1.4.4 COLORIMETRIA.....	28
4.1.5. PROPRIEDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA DAS EMBALAGENS.....	29
4.1.5.1. POTENCIAL ANTIOXIDANTE DAS EMBALAGENS.....	29
4.1.5.1.1. Fenólicos Totais: Método Folin-Ciocalteu (ensaio F-C).....	29
4.1.5.1.2. Atividade Antioxidante pelo método de Captura de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil).....	29
4.1.5.2. POTENCIAL ANTIMICROBIANO DAS EMBALAGENS.....	30

4.1.6. PADRÃO RGB DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS NATURALMENTE COLORIDOS.....	27
4.1.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	28
4.2 ESTUDO 2 - POTENCIALIZAÇÃO NO CONSUMO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PELA ADIÇÃO DE CORANTES NATURAIS .....	28
4.2.1 Participantes .....	28
4.2.2 Questionário de Escolha Alimentar .....	29
4.2.3 Associação de Palavras .....	30
4.2.3.1 Amostras de embalagens biodegradáveis de cor natural (estímulos).....	30
4.2.3.2 Aplicação de Associação de palavras.....	30
4.2.4 Análise de dados.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1 ESTUDO 1 - EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL COLORIDA COM EXTRATO DA CASCA DO PINHÃO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE SOB CONGELAMENTO, REFRIGERAÇÃO E TEMPERATURA AMBIENTE.....	33
5.1.1. Propriedades físicas das embalagens biodegradáveis .....	34
5.1.1.1 Propriedades Mecânicas de alongação.....	35
5.1.1.2 Propriedade Mecânica de Força de ruptura.....	37
5.1.1.3 Espectroscopia De Infravermelho Com Transformada de Fourier por Reflexão Total Atenuada (FTIR-ATR).....	40
5.1.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	45
5.1.1.5 Colorimetria.....	48
5.1.1.6 PADRÃO DE CORES RGB.....	67
5.1.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS EMBALAGENS .....	75
5.1.7.1 Potencial antioxidante das embalagens.....	75
5.1.7.2 Atividade Antioxidante pelo método de Captura de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil).....	75
5.1.7.3 Fenólicos Totais: Método Folin-Ciocalteu (ensaio F-C).....	78
5.1.8 Análises Microbiológicas.....	80
5.1.9 Discussão final estudo 1 .....	82
5.2 Estudo 2 - POTENCIALIZAÇÃO NO CONSUMO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PELA ADIÇÃO DE CORANTES NATURAIS .....	83

5.2.1 Questionário de escolha alimentar e modelagem PLS-path para entender o interesse em embalagens ecológicas.....	83
5.2.1.1 Modelo de Medição e análise descritiva.....	83
5.1.2.2. Modelo estrutural.....	84
5.1.2.3 Associação de palavras (AP) para explorar a percepção holística de embalagens biodegradáveis coloridas.....	86
6. Conclusão .....	91
Referências .....	92
Apêndice 01.....	107
Apêndice 02.....	108
Apêndice 03 .....	109
Apêndice 04.....	110

## 1 INTRODUÇÃO

Embalagens plásticas estão muito presentes em nosso cotidiano, uma vez que possuem como função a preservação da qualidade e segurança dos alimentos, garantindo vida útil adequada e contribuindo para reduzir o desperdício de alimentos (RIVERA *et al.*, 2019). Plásticos sintéticos derivados de petróleo são largamente utilizados na produção de embalagens, devido a sua durabilidade, que lhe confere resistência à degradação (fotodegradação, quimiodegradação, biodegradação). Se a durabilidade dos plásticos é uma vantagem, por outro lado, gera sérios problemas ecológicos, para sociedade. Quando descartados incorretamente após utilização acumulam-se na natureza, provocando poluição (ZANELA *et al.*, 2021).

Como resposta a este cenário, diversas pesquisas têm se concentrado no uso de materiais biodegradáveis para o desenvolvimento de embalagens (SANTOS *et al.*, 2023; JAMROZ *et al.*, 2022; ADHIKARY *et al.*, 2023). Silva *et al.* 2019 abordam o desenvolvimento de filmes biodegradáveis contendo PBAT com extrato de Pinhão e demonstraram potencial para serem aplicados como materiais de embalagem ativa, oferecendo propriedades antioxidantes e biodegradabilidade.

Além da biodegradabilidade os polímeros naturais estão em evidência, pois são macromoléculas encontradas na natureza. Portanto, as embalagens que contêm polímeros de origem natural oferecem uma abordagem mais sustentável para o armazenamento e transporte de produtos. Isso ajuda a reduzir o impacto ambiental associado aos resíduos plásticos oferecendo uma solução mais amigável ao meio ambiente em comparação com as embalagens convencionais (SINGH *et al.*, 2023).

As embalagens biodegradáveis se degradam naturalmente, através de processos orgânicos (ASTM, 2002). As embalagens podem ser fabricadas a partir de polímeros naturais, de diversas fontes, dentre as quais plantas ricas em amido como, por exemplo, batata, milho e mandioca. O amido é promissor por possuir bom preço, abundância, propriedade termoplástica, além da biodegradabilidade (VESPUCCI *et al.*, 2022).

O amido é formado por amilose e amilopectina. A amilose e amilopectina possuem capacidade de formar ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes, conferindo resistência aos filmes. Entretanto, as interações entre



amilose e amilopectina tornam-se rígidas e quebradiças. Portanto, para confecção da embalagem é adicionado plastificante para melhorar as propriedades mecânicas, tornando o filme mais flexível. Os plastificantes mais indicados para serem empregados com o amido são os polióis, como o glicerol e o sorbitol (VESPUCCI *et al.*, 2022).

Além das características mecânicas, a cor é também de grande importância em embalagem de alimentos, pois desempenha um papel essencial para a aceitação e percepção dos consumidores (MUNIZ *et al.* 2023). A cor dos alimentos pode influenciar os consumidores a decidir sobre a compra e o consumo de um produto, pois estão relacionadas à sua percepção de frescor, qualidade e sabor (STEINER FLORACK., 2023). Além disso, a cor das embalagens pode ser oriunda de corantes naturais que podem conter antioxidantes. É importante também a compreensão da estabilidade dessa cor ao longo do tempo para determinar a viabilidade e aplicação na indústria de alimentos (BORDIM *et al.*, 2023).

Além do apelo ecológico, a demanda por alimentos seguros também trouxe inovações na tecnologia de embalagens (HAN *et al.*, 2018). Os consumidores do setor alimentício estão exigindo corantes alimentares naturais, em vez de corantes sintéticos (ALIZADEH-SANI *et al.*, 2020). Os corantes sintéticos mais consumidos são Azorrubina, Eritrosina, Indigotina, Ponceau Vermelho Allura e Azul Brilhante. Quando os corantes sintéticos são consumidos com certa frequência, podem causar danos neurológicos, metabólicos, alergias e irritação estomacal, entre outras complicações, além de não serem produzidos de forma sustentável (GALLO *et al.*, 2020). Para tanto, o uso de corantes naturais é uma alternativa aos corantes sintéticos, pois possuem baixa toxicidade, são sustentáveis e tem propriedades renováveis (ALIZADEH-SANI *et al.*, 2020). Porém na sua maioria, os corantes naturais não apresentam estabilidade sob variação de pH, oxidação, hidratação, tratamento térmico e, não menos importante, exposição à luz (GUIDOUCHE *et al.*, 2013).

O pinhão é conhecido por sua coloração marrom devido à presença de compostos naturais. Resultante do consumo do pinhão para fins alimentares, surge como resíduo a casca do pinhão, além de ser um subproduto regional é rica em compostos fenólicos, o que a torna um potencial corante com ação antioxidante.

Portanto, o extrato de Pinhão demonstrou ser uma fonte promissora de compostos fenólicos com potencial aplicação em materiais de embalagem biodegradáveis (SILVA *et al.*, 2019; NUGENT *et al* 2022).

Além dos fatores técnicos que englobam a produção de uma embalagem biodegradável colorida com extrato vegetal outro fator importante é o potencial de mercado. É necessário compreender a percepção que os consumidores terão do novo produto e investigar a influência da cor e da conscientização da presença de corantes naturais em embalagens biodegradáveis. O questionário de escolha alimentar e a associação de palavras são ferramentas que podem ajudar a entender a percepção alimentar dos consumidores. (NGUYEN *et al.*, 2020; NYGAARD *et al.*, 2021)

Estudos trazendo informações mais detalhadas sobre as propriedades físicas e químicas na estabilidade de embalagens biodegradáveis naturalmente coloridas em diferentes temperaturas de conservação ao longo do tempo de armazenamento são ainda escassos na literatura. Também não é de grande conhecimento sobre o potencial de mercado desse tipo de embalagem. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi realizar a avaliação da estabilidade de embalagens biodegradáveis naturalmente coloridas com extrato de pinhão em diferentes condições de armazenamento, esse trabalho também busca compreender o efeito do conteúdo natural na importância dada pelos consumidores aos alimentos embalados de forma ecologicamente correta, e investigar as influências da cor e da conscientização da presença de corantes naturais em embalagens biodegradáveis. O presente estudo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira com enfoque na avaliação da estabilidade e a segunda no potencial de mercado das embalagens.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a estabilidade física e o potencial antioxidante e antimicrobiano de embalagens biodegradáveis naturalmente coloridas com extrato da casca do pinhão em diferentes condições de armazenamento e o estudo de potencial de mercado.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

✓ **ESTUDO 1 - EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL COLORIDA COM EXTRATO DA CASCA DO PINHÃO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE AO LONGO DO TEMPO SOB CONGELAMENTO, REFRIGERAÇÃO E TEMPERATURA AMBIENTE.**

- Obter extratos coloridos da casca de pinhão e avaliar as propriedades antioxidantes e antimicrobianas;
- Elaborar os filmes biodegradáveis com fécula de mandioca (adquirida em mercado local) adicionado do extrato da casca de pinhão pelo processo de extrusão-sopro em balão;
- Acompanhar a estabilidade da embalagem biodegradável acrescida de corantes naturais durante o armazenamento congelado (-18°C), refrigerado (4°C), e temperatura ambiente (25°C) por meio das análises de propriedades físicas-mecânicas, Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR-ATR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Acompanhar a estabilidade quanto às atividades antioxidante e antimicrobiana (*Staphylococcus aureus* ATCC, *Salmonella* ATCC, *Escherichia coli* ATCC) dos filmes biodegradáveis durante o armazenamento congelado (-18 °C), refrigerado (4°C), e temperatura ambiente (25°C);

- Acompanhar a estabilidade de cor dos filmes biodegradáveis durante o armazenamento congelado ( $-18^{\circ}\text{C}$ ), refrigerado ( $4^{\circ}\text{C}$ ), e temperatura ambiente por meio de colorímetro instrumental ao longo de 150 dias (30, 60, 90, 120, 150 dias);

✓ **POTENCIALIZAÇÃO NO CONSUMO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PELA ADIÇÃO DE CORANTES NATURAIS**

- Desenvolver de um modelo usando modelagem de mínimos quadrados parciais (PLS-PM) para explicar todo o conjunto de relações entre os *construtos* do Questionário de Escolha Alimentar (QEA) e o interesse em embalagens ecológicas sendo mediadas pelo construto do conteúdo natural.
- Utilizar a técnica de associação de palavras sob duas condições: condição cega (inconsciência) e condição informada (consciência) para explorar a percepção holística de embalagens biodegradáveis coloridas.
- Compreender a melhoria na percepção positiva das embalagens biodegradáveis com corante natural por parte do consumidor

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

Durante muitos anos, os plásticos convencionais são fabricados e utilizados para aplicações de embalagens em diversos setores. À procura por materiais de embalagem aumenta de acordo com o crescimento da indústria (SHARMA, JAFARI, SHARMA., 2023). Na indústria alimentícia as embalagens além de armazenar o produto, são importantes na conservação, mantendo qualidade e segurança, atuando como barreira contra fatores responsáveis pela deterioração química, física e microbiológica. As embalagens de produtos alimentícios podem ser de metal, plástico, vidro, papel, madeira, têxteis e cortiça. Sendo a embalagem plástica a mais utilizada (NUNES *et al.*, 2023).

Plásticos são polímeros orgânicos ou inorgânicos obtidos por processos de polimerização de unidades monoméricas contendo basicamente os elementos químicos: carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, cloro e flúor (MENNA, 2022). Os polímeros mais usados são: polietileno (pet), polipropileno (pp) entre outros (NATH *et al.*, 2023).

Polímeros tradicionais são produzidos a partir de recursos de origem fóssil e o uso de plásticos em embalagens de alimentos está relacionado ao custo relativamente baixo e boa barreira contra umidade (KAMARUDIN *et al.*, 2022). Apesar dessas vantagens, o descarte de plásticos nos oceanos aumenta exponencialmente, desencadeando preocupações com o meio ambiente (NYGAARD *et al.*, 2021), pois, essas embalagens podem permanecer na natureza por centenas, senão milhares de anos, contribuindo com a poluição (JOSHI *et al* 2023).

Bishop *et al.* (2021) relataram que, serão produzidos até 2030, aproximadamente 105,7 quilos de toneladas de resíduos plásticos provenientes das embalagens de alimentos. Portanto, o aumento da procura de alimentos não implica apenas maiores necessidades de utilização e degradação do solo, perda de biodiversidade, escassez de água doce, e alterações climáticas globais pela indústria agroalimentar, mas também mais poluição por resíduos plásticos provenientes da agricultura e de embalagens de alimentos. Além disso, uma grande

parte das embalagens de alimentos é descartada junto com as sobras alimentares, tornando o processo de gerenciamento de resíduos um dos maiores desafios para a sociedade (VERSINO *et al.*, 2023).

Os principais produtores de embalagens plásticas possuem a meta de elevar a quantidade de plásticos reciclados, biodegradáveis ou reutilizáveis até 2025. A substituição de plásticos contendo petróleo por alternativas de base biológica é um caminho sustentável, pois emite menos carbono devido à extração e refinamento de petróleo (MAZHANDU *et al.*, 2020).

Sendo o gerenciamento de resíduos plásticos uma necessidade urgente, a mudança para plásticos biodegradáveis pode ajudar a atenuar essa problemática. Embalagens sustentáveis reduzem os impactos ambientais por meio do uso de materiais biodegradáveis e extratos vegetais (HAN *et al.*, 2018).

Para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, este se dá por meio de biopolímeros. Os biopolímeros por sua vez, são macromoléculas naturais produzidas por plantas, animais ou microrganismos. Os biopolímeros naturais incluem polissacarídeos como alginato, celulose, quitina e quitosana, pectina, amido e xantana e proteínas como colágeno, gelatina, zeína, proteínas de soja e proteínas de soro de leite (PRIYADARSHI *et al.*, 2022; DIRPAN, FADIAH, DJALAL., 2023) que permitem que os materiais de embalagem sejam sustentáveis, e completamente compostáveis. Portanto, os biopolímeros são aptos para a substituição dos polímeros sintéticos. As principais vantagens dos biopolímeros são a biocompatibilidade e a biodegradabilidade (KOLA, CARVALHO, 2023).

Os polímeros biodegradáveis, de acordo com sua estrutura química, podem ser compostos de proteínas, polissacarídeos, lipídeos e poliésteres. Entre os biopolímeros mais promissores para este fim estão os amidos de diversas fontes botânicas, como a batata, milho e mandioca, que são biodegradáveis, têm custo baixo e estão disponíveis em todo o mundo. Propriedades mecânicas, e umidade têm um papel decisivo na aplicação de filmes biodegradáveis. A permeabilidade ao vapor de água, retenção de oxigênio para prevenir reações oxidativas e propriedades mecânicas são fatores importantes para proteger os alimentos contra tensões mecânicas e reações químicas (ASARDI; PIRSA, 2019).

Outro fator importante a ser ressaltado sobre as embalagens em geral, se diz respeito a garantia de segurança e a saúde dos consumidores pela ausência de substâncias nocivas, que muitas vezes são originadas no processamento de plásticos e nos alimentos embalados, pela possibilidade de migração de algumas substâncias tóxicas da embalagem para o alimento em si (MASEK; BROZIO, 2020).

A exemplo de substâncias nocivas é possível citar: bisfenol A, bisfenol A diglicidil éter, ftalatos e aminas aromáticas primárias que são encontrados em alimentos como resultado da penetração da embalagem gerando um impacto negativo na saúde humana, por ocasionar alergias, irritação gástrica e até mesmo aumentar a possibilidade de câncer (MASEK; BROZIO, 2020). Desse modo, a migração dessas substâncias para os alimentos é controlada pela Resolução RDC N° 88, de 29 de junho de 2016, não podendo exceder os limites estabelecidos de 8 mg/dm<sup>2</sup>.

A ausência dos compostos químicos tóxicos que realizam migração do plástico para o alimento é uma vantagem dos filmes biodegradáveis em comparação com fontes não renováveis. Além disso, é existente a possibilidade da adição de substâncias antioxidantes, corantes e antimicrobianos de fonte natural. Desse modo, essas propriedades podem aumentar a vida útil dos alimentos, reduzindo custos e poluição ambiental quando comparada a embalagens convencionais não biodegradáveis (BARIZÃO *et al.*, 2020). Adicionalmente ao uso de embalagens biodegradáveis com intuito de redução dos impactos ambientais, as tecnologias de embalagens ativas, inteligentes e verdes podem trabalhar sinergicamente para produzir embalagens de alimentos multifuncionais sem interações negativas entre os componentes (HAN *et al.*, 2018).

Embalagens ativas ou embalagens inteligentes são dois novos conceitos. De acordo com a Comissão Europeia (Regulamento da Comissão (UE) 1935/2004; Regulamento da Comissão (UE) 450/2009), os materiais de embalagem ativa são um sistema no qual a embalagem interage com o alimento ou com o espaço vazio dentro da embalagem, com a finalidade de manter ou modificar diferentes aspectos sensoriais, de segurança e de qualidade do alimento que está sendo embalado. Extratos naturais de plantas, fontes alimentares, óleos essenciais e nanomateriais, podem ser utilizados no desenvolvimento de embalagens ativas.

Logo, materiais de embalagem inteligentes são embalagens que incorporam indicadores químicos ou biológicos dentro e fora do material de embalagem, com o objetivo de fornecer informações sobre a segurança dos alimentos embalados. Sistemas inteligentes podem ser incorporados como rótulos, impressos ou como parte integrante da própria matriz de embalagens de alimentos, atuando como detectores de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, indicadores sensíveis ao pH e sensores tempo-temperatura através da presença de corantes ou enzimas (MASEK; BROZIO, 2020).

Em paralelo as embalagens ativas e inteligentes, vêm se dando enfoque na literatura no desenvolvimento de embalagens coloridas naturalmente (BORDIM *et al.*, 2023). Uma vez que, o uso de corante em embalagens propicia a utilização como indicadores de frescor, dano, temperatura, tempo e umidade em tempo real (BECERRIL, NERÍN, SILVA *et al.* 2021). Além disso, os corantes naturais, como a antocianina, possuem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anti-carcinogênicas, prevenção de doenças cardiovasculares, obesidade e diabetes, o que pode ser benéfico para a saúde dos consumidores (ROY; RHIM, 2020).

A cor pode atrair a atenção dos consumidores e destacar o produto nas prateleiras, aumentando a visibilidade e a atratividade. Além disso, a cor pode transmitir informações sobre o produto, como sua marca, sabor, frescor ou características especiais. Além disso, embalagens coloridas podem ser usadas como indicadores de pH, permitindo que os consumidores identifiquem facilmente a deterioração dos alimentos como citado anteriormente. Em resumo, embalagens coloridas podem melhorar a experiência do consumidor, fornecer informações visuais e ajudar a diferenciar um produto dos concorrentes, sendo assim embalagens inteligentes (GOKILA *et al.*, 2023). ; BECERRIL, NERÍN , SILVA, *et al.*, 2021).

Considerando o exposto nesse tópico, as próximas seções apresentam de forma mais aprofundada sobre aspectos relacionados ao uso de corantes naturais em embalagens, bem como propriedades antimicrobianas e antioxidantes em embalagens ativas e inteligentes.

### 3.2 CORANTES NATURAIS



Os corantes sintéticos são conhecidos por causarem efeitos colaterais e malefícios a saúde humana (ONG; SANSUNDIM; VALDEZ, 2022; MUNCKE, 2021). Atualmente o uso de embalagens com corantes naturais têm se tornado cada vez mais popular entre os consumidores. Essas embalagens/filmes incorporadas com corantes naturais, além de proteger os alimentos dos perigos, estendem a vida útil, e aumentam a segurança e qualidade dos alimentos embalados (ALIZADEH-SANI *et al.*, 2020).

Um corante natural pode ser encontrado em recursos naturais, como plantas, animais e minerais. O corante natural consiste em um componente ativo ou cromóforo que exibe cor na luz visível. Apesar de todas as vantagens, o corante natural ainda apresenta falhas que precisam ser superadas. Os corantes naturais têm uma gama de cores limitada e são suscetíveis ao pH. Assim, obter e manter uma cor específica não é um processo fácil (WITONO *et al.*, 2022).

Os corantes naturais são normalmente classificados com base em sua estrutura química (taninos, betalaínas, flavonoides, quinonoides, indigoides, carotenoides, à base de piridina, à base de diidropirano e clorofilas), origem (plantas/legumes/frutas, animais/insetos/microbianos e à base de minerais). Além disso, podem ser categorizados quanto à estrutura química; e sistemas conjugados como antocianinas, betaninas, carotenoides; porfirinas e clorofilas. Embora existam outros grupos como compostos fenólicos, mioglobina e hemoglobina, riboflavina, carmim, ácido carmínico, monascorubrina e curcumina (ALIZADEH-SANI *et al.*, 2020).

Os benefícios na utilização de corantes naturais em embalagens condizem com estudos da literatura, em que são obtidos a partir de fontes naturais, como frutas, vegetais e plantas, o que os torna uma opção mais saudável e segura para consumo humano. Os corantes naturais geralmente contêm compostos bioativos, como polifenóis, e a exemplo destes, as antocianinas, que possuem propriedades antioxidantes e podem oferecer benefícios à saúde. Os corantes naturais têm cores vibrantes e variadas, tornando-os visualmente atraentes. Além disso, possui capacidade de indicar mudanças de pH em embalagens inteligentes (GOKILA *et al.*, 2023).

Entre as possíveis fontes de corantes naturais, o extrato da casca do pinhão mostra-se como uma fonte promissora, pois o extrato é rico em compostos fenólicos,

como a catequina que além de corante é uma promissora fonte de antioxidantes para a preparação de embalagens de alimentos (SILVA *et al.*, 2019). Segundo Zhang *et al.*, (2020) o conteúdo de fenólicos totais e flavonoides foram relacionados com a atividade antioxidante da casca de pinhão.

Ainda sobre a composição do pinhão, de acordo com Queirós *et al.*, (2020), além dos metabólitos já citados, a casca do pinhão também contém compostos como quercetinas, apigeninas, catequinas, epicatequinas, 4-vinilguaiacol, trans-coniferyl alcohol, trans-coniferaldehyde, 4-methylguaiacol, vanilina, guaiacol, trans-isoeugenol, homovanilina, acetoguaiacona e dihydroconiferyl alcohol, que são derivados da lignina presente na casca. Esses metabólitos especializados podem ter potenciais aplicações em diferentes indústrias, como alimentos, cosméticas e farmacêuticas.

Além disso, a utilização de extratos obtidos de subprodutos agroindustriais tem se mostrado cada vez mais eficazes. Outra vantagem é que os compostos bioativos encontrados no pinhão possuem propriedades farmacológicas como a inibição da  $\alpha$ -amilase salivar (SILVA *et al.*, 2014), lipase pancreática (OLIVEIRA *et al.*, 2015) e até células cancerígenas (SILVA *et al.* 2019)

Contudo, utilizar a casca de pinhão como fonte de corante natural a ser adicionado em uma embalagem biodegradável além de promover a coloração pode ser uma potencial fonte de antioxidantes, promovendo também a utilização de um subproduto, levando a agregação e aproveitamento das cascas.

Subprodutos agroindustriais são uma fonte emergente de pesquisas que visam o aprimoramento de características técnicas de materiais que anteriormente, seriam descartados. Engel *et al.* 2020 estudaram o aproveitamento de resíduos agroindustriais da casca de pinhão e casca de noz-pecã incorporados em espumas de amido de mandioca e avaliaram as propriedades do compósito formado. O compósito foi desenvolvido pelo processo de termocompressão e, os resultados foram promissores. As aplicações sugeridas foram: embalagens de uso único, embalagens para produtos alimentícios com baixo teor de umidade e como placas utilizadas para evitar impactos durante o transporte de mercadorias.

### 3.3 EMBALAGENS ATIVAS ANTIMICROBIANAS

Conforme supracitado sobre a demanda de plásticos biodegradáveis, e soluções saudáveis em substituição de antioxidantes químicos, embalagens ativas que interagem com o alimento melhorando alguns atributos promovendo a sua segurança e a qualidade tem sido estudadas (KAMARUDIN *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de embalagens antimicrobianas vem crescendo rapidamente devido ao aumento da conscientização por embalagens ativas sustentáveis pois une dois pontos importantes, embalagens biodegradáveis e maior vida útil dos alimentos embalados. A adição de nanopartículas antibacterianas altamente eficientes, antifúngicos, antioxidantes, polímeros verdes biodegradáveis e ecologicamente corretos tornou-se uma tendência de avanço significativo para a evolução das embalagens (KAMARUDIN *et al.*, 2022).

Os antimicrobianos podem migrar da embalagem para o alimento, aumentando a vida de prateleira e diminuindo a ação de oxidação lipídica, degradação de produtos ricos em gordura, como a carne, inibindo o crescimento de fungos fitopatológicos e bactérias patogênicas de interesse alimentar (NOR ADILAH *et al.*, 2018; SHARMA *et al.*, 2020).

Esses compostos podem ser classificados em sintéticos e naturais com base em suas fontes e fisiologias. Os agentes antimicrobianos sintéticos podem ainda ser categorizados como orgânicos e inorgânicos. O tipo de agente antimicrobiano selecionado pode variar de acordo com o material da embalagem utilizado. Compostos orgânicos sintéticos contendo ácido etileno diamina tetra acético (EDTA), parabenos, fungicidas e outros produtos químicos são os principais compostos antimicrobianos usados na indústria de embalagens de alimentos (KAMARUDIN *et al.*, 2022).

### 3.4 ANTIOXIDANTES NATURAIS

Além do uso de substâncias antimicrobianas, compostos bioativos podem ser incorporados na embalagem, a fim de obter uma vida útil prolongada do alimento (MIHALCA *et al.*, 2021). Esses compostos bioativos em alimentos *in natura* mantem

a estabilidade oxidativa, estabilizando variáveis de cor, diminuindo a formação de metamioglobina, lipídios e oxidação de proteínas e a geração de compostos voláteis derivados de lipídios, sem afetar os atributos sensoriais (NORIEGA *et al.*, 2021).

A oxidação lipídica é o principal fator que contribui para a deterioração durante o armazenamento de alimentos, reduzindo a qualidade e aceitabilidade devido ao desenvolvimento de sabor e ranço indesejáveis, podendo ser controlada pelo uso de antioxidantes. No entanto, majoritariamente são utilizados na indústria de alimentos, antioxidantes sintéticos, os quais apresentam risco potencial à saúde, como butil hidroxianisol (BHA) ou butil hidroxitolueno (BHT), sendo, portanto, desejável realizar a substituição desses antioxidantes sintéticos por naturais (ORIA *et al.*, 2018).

Nesse sentido, as plantas são ricas em compostos bioativos, principalmente polifenóis, que são ótimas alternativas para substituição dos antioxidantes sintéticos em produtos alimentícios. Esses antioxidantes naturais de plantas, na forma de extratos e óleos essenciais, podem ser obtidos de diferentes fontes, como frutas, vegetais, ervas e especiarias por diversos processos de extração. Tais compostos bioativos permitem manter a qualidade dos alimentos, exibindo propriedades antioxidantes semelhantes ou melhores em relação aos sintéticos (NORIEGA *et al.*, 2021).

Por sua vez, a casca do pinhão conforme mencionado anteriormente pode ser considerada uma fonte desses compostos, destacando seu potencial de uso além da cor, mas também com esse intuito como antioxidante (ADELINA, 2021).

As conveniências desta prática são dadas pelo fato de que antioxidantes adicionados ao filme ou revestimento, não influenciam o produto testado, possuem liberação controlada e podem garantir que menos aditivos sejam inseridos (antioxidantes, conservantes) no produto (MIHALCA *et al.*, 2021).

### 3.5 DESAFIOS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

Materiais de base biológica e biodegradáveis normalmente têm propriedades pobres no que diz respeito a barreira ao vapor de água, propriedades mecânicas, estabilidade ao calor e propriedades de processamento em comparação com os de

base fóssil. Assim, os desafios para alcançar propriedades mecânicas e de barreira adequadas sem comprometer a biodegradabilidade limitam sua ampla aceitação e uso (HELANTO *et al.*, 2019).

Por esse motivo, normalmente seu uso é limitado a produtos com vida útil relativamente curta ou produtos perecíveis, por exemplo, frutas e vegetais que requerem respiração e umidade ou produtos de longa vida útil como massas secas. Para embalagem de carnes os desafios são inúmeros (suas propriedades são menos adequadas). Porém, técnicas como modificação de polímeros, revestimento, mistura e uso de nano compostos provavelmente contribuirão para utilização desta embalagem nesses produtos (HELANTO *et al.*, 2019).

Nesse sentido, em um estudo recente Cossa *et al.* (2022) provou ser possível a utilização de embalagens biodegradáveis para peixes congelados (-18 °C) durante 360 dias. As embalagens biodegradáveis com peixes armazenados congelados por um período de 360 dias apresentaram estabilidade na estrutura química e mecânica. Além da comprovação das propriedades mecânicas houve também a manutenção da qualidade do pescado.

Outro fator, é sobre a migração de monômeros para alimentos, que é uma questão altamente preocupante em materiais de embalagem convencionais, a mesma questão também deve ser considerada para a nova tecnologia de embalagens biodegradáveis. A presença de nanopartículas, especialmente metálicas, e sua migração para alimentos podem causar contaminação e outros problemas de saúde e segurança que a ciência ainda não tem conhecimento. Portanto, é essencial estudar, avaliar e compreender as propriedades, estruturas e comportamentos de materiais para futuras aplicações de embalagens de alimentos (TAJEDDIN; ARKHEDRI., 2020).

Sistemas de embalagens inteligentes baseados em corantes naturais de alimentos foram revisados e descritos por Alizadeh-Sani *et al.* (2020). Corantes naturais foram usados como marcadores em sensores/indicadores colorimétricos, para informar os consumidores sobre o estado do produto embalado em tempo real, incluindo frescor, crescimento microbiano e alterações químicas no produto, por meio de alterações visuais e quantificação de alterações de pH nos alimentos. Fornecendo uma avaliação rápida e confiável da qualidade da segurança alimentar.

No entanto, deve ser considerado como desafio a aceitação e confiança do consumidor e custo.

Em busca de qualidade alimentar e estabilidade de corantes naturais Etxabid, Kilmartin, Maté (2021) avaliaram sob diferentes condições de armazenamento corantes alimentares contendo curcumina, betanina e antocianina. A curcumina forneceu variações foi particularmente fotossensível, pois uma perda de cor de 67% foi observada após um dia de armazenamento. Os corantes betanina e antocianina, no entanto, foram termossensíveis apresentando perda de cor de 30% após 28 dias de armazenamento. Contudo, os resultados do trabalho mostram que a fotossensibilidade e a termossensibilidade são desafios para algumas classes de corantes naturais principalmente as antocianinas.

Os mecanismos químicos por trás do desbotamento da cor em pigmentos naturais são múltiplos e dependem da natureza do pigmento. Por exemplo, a oxidação ocorre muito rapidamente em carotenoides, enquanto uma combinação de mecanismos como hidratação e oxidação pode ocorrer em antocianinas, ou perda de íons metálicos e oxidação em clorofilas. Portanto, diferentes formas de armazenamento (temperatura, umidade, pH) podem elevar ou diminuir a estabilidade de corantes naturais. (GUIDOUCHE *et al.*, 2013; AMORIN *et al.*, 2022). Portanto, o desafio não é apenas entregar uma cor atrativa, mas também garantir sua estabilidade ao longo do tempo.

Para prever essa estabilidade almejada testes precisam ser feitos a fim de monitorar e comparar os filmes ao longo do tempo (COSSA *et al.*, 2022). A representação RGB é muito comum em imagens digitais, e a combinação desses três componentes de cor permite uma ampla gama de cores. Podendo ser usados em diferentes contextos, dependendo das necessidades da aplicação (FAY, WU., 2024).

### 3.6 POTENCIAL DE MERCADO

Além dos desafios nas embalagens, outro fator importante é a análise do seu potencial de mercado a fim de entender o comportamento do consumidor mediante aos filmes biodegradáveis naturalmente coloridos. NGUYEN *et al.*, (2020) avaliaram

a percepção dos consumidores sobre as embalagens ecológicas para produtos alimentares. O estudo mostra que as embalagens devem ser visualmente apelativas e, satisfazer as expectativas ambientais dos consumidores.

Em 2019 o mercado de embalagens plásticas biodegradáveis foi valorizado em 4,65 mil milhões de dólares e, até ao final de 2025, espera-se que cresça a um ritmo de 17,04% atingindo valor de mercado de até 12,06 milhões. Esse aumento é devido às crescentes preocupações ambientais e várias iniciativas governamentais para reduzir o desperdício de plástico (SHAIKH; YAQUOOB; AGGARWAL, 2021).

A embalagem é o maior campo de aplicação mais de 53% (1,14 milhões de toneladas) do total de bioplásticos produzidos em 2019 (MANGARAJ *et al.*, 2018). As embalagens alimentares biodegradáveis foram o primeiro produto bioplástico comercializado com sucesso. Desde então, há um aumento na demanda por bioplásticos como embalagens de alimentos (SHAIKH., YAQOOB., AGGARWAL., 2021).

Além da demanda de bioplásticos, o uso de alternativas naturais para corantes de polímeros é de interesse crescente (MABUZA *et al.* 2023). Contudo, são necessários mais estudos científicos para uma futura introdução bem-sucedida no mercado. Embalagens com conteúdo ecológico e natural em produtos alimentícios têm se mostrado necessárias tanto pelo apelo ambiental quanto pela saúde do consumidor.

A comunidade científica está consciente de que a aparência dos alimentos é importante para os consumidores e que a cor é um atributo significativo tanto na aparência dos produtos alimentares quanto nas embalagens de alimentos (BORDIM *et al.*, 2021; CÖMERT, EZGI DOĞAN *et al.*, 2020). De acordo com Spence e Velasco (2018) a cor define expectativas sensoriais, que podem influenciar as experiências com o produto. Portanto, a cor com apelo natural em uma embalagem biodegradável é uma estratégia promissora para o mercado.

Para a avaliação desse tipo de estudo existem métodos modernos para a realização a exemplo do de associação de palavras que pode ajudar a compreender a percepção alimentar dos consumidores (STEINBACH *et al.*, 2021). Apoiado no conceito de que o respondente recebe um estímulo e é solicitado a associá-lo livremente a qualquer ideia que lhe venha à mente quanto as mais diversas

categorias: atributos sensoriais, sentimentos hedônicos, positivos e negativos, termos técnicos, segurança alimentar, saúde, etc., que provocam discussão de questões antes não consideradas pelos pesquisadores (BORDIM *et al.*, 2021; MAZON *et al.*, 2020; MITTERER-DALTOÉ *et al.*, 2021; OHTAKI *et al.*, 2023)



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Estudo 1 - EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL COLORIDA COM EXTRATO DA CASCA DO PINHÃO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE SOB CONGELAMENTO, REFRIGERAÇÃO E TEMPERATURA AMBIENTE

Para realização do primeiro estudo, as produções das embalagens biodegradáveis foram realizadas nos laboratórios da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Já a obtenção do extrato do corante natural da casca do pinhão, e as análises do presente estudo foram realizados nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, *campus* Pato Branco enquanto a análise de textura foi realizada no *campus* Francisco Beltrão. A microbiologia foi realizada em parceria com o Centro Universitário de Pato Branco (UNIDEP).

#### 4.1.1 PRODUÇÃO DO EXTRATO DE CORANTE NATURAL DE PINHÃO

Os pinhões foram obtidos no mês de julho de 2022, na cidade de Pato Branco. Foram descascados crus e suas cascas foram devidamente levadas à estufa em temperatura de 40°C durante três dias. Posteriormente, foram moídas em moinho tipo wille TE-650.

O material vegetal (1 kg) da casca de pinhão seco, foi extraído com 2L de etanol:água (80:20 v/v) sob agitação ocasional, utilizando a mesa agitadora shaker por 24 h em condições ambientes de temperatura (22-25 °C) e luz. O extrato foi filtrado à vácuo e armazenado sob refrigeração e este procedimento foi repetido três vezes para garantir a extração completa de compostos. Após misturar os três filtrados, foram concentrados em rota-evaporador, a 40 °C e liofilizados e, portanto, resultou no extrato hidroalcoólico (EH): EH da casca do pinhão utilizado para todos os ensaios descritos (OLDONI *et al.*, 2021). O extrato foi caracterizado quanto às propriedades antioxidantes e antimicrobianas conforme o item 4.1.5.

#### 4.1.2 PRODUÇÃO DAS EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

Os filmes foram produzidos a partir da mistura (p/p) de 51% amido de mandioca polvilho azedo de uma marca comercial, 30% de PBAT poli (butileno de adipato co-tereftalato), com nome comercial Ecoflex ® F Blend C1200 (BASF, Alemanha) e 19% de glicerol para o filme controle e 46% amido de mandioca, 30% de PBAT poli (butileno de adipato co-tereftalato), com nome comercial Ecoflex ® F Blend C1200 (BASF, Alemanha) e 19% de glicerol e 4% do corante natural obtido do extrato hidroalcolico da casca do pinhão pelo processo de extrusão-sopro em balão, em extrusora de laboratório da marca BGM e modelo EL-25 de acordo com a Figura 01.

**Figura 01 - Extrusão sopro balão do filme controle**



**Fonte: Própria autora**

Inicialmente foram produzidos os pellets ou macarrões para a homogeneização dos componentes da formulação (PBAT, amido de mandioca e glicerol). As formulações foram processadas utilizando-se o perfil de temperatura de 95/120/120/120 °C com velocidade do parafuso de 35 rpm. A saída dos “macarrões” para formação dos pellets foi feita em uma matriz circular com seis furos de 2 mm de diâmetro cada. Após o preparo dos pellets, os mesmos foram utilizados para a produção dos filmes pelo processo de extrusão em sopro balão em uma matriz

circular de 50 mm de diâmetro com fluxo interno de ar interno para a formação dos filmes. O perfil de temperatura foi de 90/120/120/125/125°C com velocidade do parafuso de 35 rpm (COSSA *et al.*, 2021).

#### 4.1.3 Avaliação da estabilidade das embalagens sob congelamento, refrigeração e temperatura ambiente durante cinco meses de armazenamento

As embalagens foram estocadas sob temperatura de congelamento (-18 °C), temperatura de refrigeração (4°C) e temperatura ambiente (25°C) durante o período de cinco meses. Foram conduzidas análises a cada 30 dias (30, 60, 90, 120, 150). As análises nos filmes envolveram propriedades físicas (mecânicas, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier com módulo de refletância total atenuada (FTIR-ATR), colorimetria e RGB (Red, Blue, Green) vermelho verde e azul, e químicas (atividade antioxidante e antimicrobiana).

#### 4.1.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

##### 4.1.4.1. Propriedade mecânica e espessura

A determinação da resistência à tração máxima e alongamento na ruptura (%) foi de acordo com a American Society for Testing e Material - (ASTM, 2002) usando um analisador de textura (Stable Micro System, Modelo TA.TX2i, Inglaterra). As amostras foram previamente condicionadas em umidade relativa (UR) de 53%  $Mg(NO_3)_2$  solução saturada de nitrato de magnésio a 25°C durante 48 horas.

Foi necessário manter todas as amostras com a mesma UR devido a hidrofobicidade dos filmes. Foram cortados longitudinalmente em um comprimento de 0,05 m e uma largura de 0,02 m. A velocidade foi fixada em 0,0008 m/s (célula de carga de 25 kg), e a distância entre as garras foi de 0,03 m. Os parâmetros determinados foram resistência à tração (MPa) e alongamento à ruptura (%). Nove amostras de cada filme foram analisadas. A espessura do filme foi medida usando um micrômetro digital (Digimess, Brasil). O valor final representa uma média de 5

medições aleatórias feitas em diferentes partes do filme, incluindo o centro e partes das bordas. Medição essa realizada logo após a fabricação (COSSA *et al.*, 2021).

#### 4.1.4.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As análises foram realizadas de acordo com Campos *et al.* (2019), com modificações. Para a avaliação das características microestruturais do filme, as amostras de embalagens foram armazenadas em dessecador por 1 semana com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) para remover a umidade adsorvida. Em seguida, foram depositadas em uma câmara para 70 mm de diâmetro e 50 mm preparados com carbono e cobre fita. As superfícies dos filmes foram analisadas por MEV (modelo TM 3000, Hitachi) operando a uma tensão de aceleração de 5 kV. As imagens foram coletadas em uma ampliação de 300× e 800× e, em seguida, foram feitas as correções de foco, brilho e contraste. Um filme para cada formulação controle e pinhão foi analisado desde a sua fabricação (tempo 0) em 30 dias (tempo 1) 60 dias (tempo 2) 90 dias (tempo 3) 120 dias (tempo 4) e 150 dias (tempo 5). Ou seja, as análises foram conduzidas mensalmente desde a fabricação até 150 dias.

#### 4.1.4.3. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER COM MÓDULO DE REFLETÂNCIA TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)

Os espectros FT-IR dos filmes foram avaliados para determinar se houve alguma modificação na estrutura química dos filmes durante o armazenamento. Para remover umidade, as amostras foram secas em dessecador contendo cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) por 10 dias. Em seguida, os espectros foram realizados em FT-IR fornecido com um módulo de leitura de refletância total atenuada (Perkin Elmer Frontier). A sonda com feixe foi colocada diretamente em contato com a superfície dos filmes, para cada espectro. A resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  foi usado em 16 exames na faixa de  $4.000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ . Foram analisados os filmes biodegradáveis controle e pinhão por até 150 dias (CAMPOS *et al.*, 2019; COSSA *et al.*, 2021).

#### 4.1.4.4 COLORIMETRIA

A medição de cor da embalagem foi realizada utilizando um espectrofotômetro (CR-400 Chroma Meter Minolta®) com D65 iluminante, foi realizada a leitura em triplicata. Os resultados foram baseados na cor L\*a\*b\* sistema onde L\* é brilho, (de 0 a 100), a\* de - 100 (verde) a + 100 (vermelho) e b\* de - 100 (azul) a +100 (amarelo) (n=3). O valor de croma C\* representa a saturação é no valor 0 no centro e aumenta conforme a distância deste. O ângulo de tonalidade h inicia-se no eixo +a\* e é dado em graus; 0 seria +a\* (vermelho), 90 seria +b\* (amarelo), 180 seria -a\* (verde) e 270 seria -b\* (azul) (LISE *et al.*, 2021).

Foram avaliados quanto as variáveis colorimétricas L\*, a\* e b\* e os resultados foram apresentados por diferença total de cor ( $\Delta E$ ) obtidos pela seguinte equação:

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

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.

#### 4.1.5. PROPRIEDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA DAS EMBALAGENS

##### 4.1.5.1. POTENCIAL ANTIOXIDANTE DAS EMBALAGENS

###### 4.1.5.1.1. Fenólicos Totais: Método Folin-Ciocalteu (ensaio F-C)

A metodologia sugerida por Singleton *et al* (1999) foi usada para quantificar compostos fenólicos. Em tubos de ensaio foram adicionados reagentes em ordem: 0,5 mL de HE (300 mg/L), 2,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu (10%); e 2,0 mL de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 4%). Após 2 h à temperatura ambiente e no escuro, as absorvâncias foram medidas em um espectrofotômetro (modelo UV-VIS Lambda 25, Perkin Elmer) a 740 nm. O branco analítico foi realizado com 0,5 mL de água ultrapura com Folin-Ciocalteu e reagentes de carbonato de sódio. Os resultados foram expressos em ácido gálico equivalentes (GAE, mg/g), com base na curva de calibração plotada usando absorvância versus concentração (5 a 100 mg/L) de ácido gálico (OLDONI *et al.*, 2021).

#### 4.1.5.1.2. Atividade Antioxidante pelo método de Captura de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

Para avaliar a atividade antioxidante foi baseado na metodologia descrita por Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) para captura de radicais DPPH.

Inicialmente foi construída uma curva padrão de 5 pontos com um antioxidante sintético Trolox nas concentrações de 15, 25, 50, 75 e 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . O procedimento consistiu em reagir 0,5 mL de trolox de cada diluição com 3 mL de etanol P.A. e 0,3 mL de DPPH 0,5  $\text{mmol.L}^{-1}$  em etanol. O branco foi realizado com 0,5 mL de trolox com 3,3 mL de etanol PA e um controle com 3,5 mL etanol PA e 0,3 mL de DPPH 0,5  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Essas misturas permaneceram em temperatura ambiente e protegidas da luz por 45 minutos, e então, foi feita a leitura em espectrofotômetro a 517 nm.

Feito a curva padrão, foi realizado a reação do DPPH com a amostra devidamente diluída. O procedimento consistiu em adicionar em tubo de ensaio 0,5mL da amostra com 3 mL de etanol PA e 0,3 mL de DPPH 0,5  $\text{mmol.L}^{-1}$ . Aguardou-se 45 minutos nas mesmas condições descritas acima e realizar leitura em 517 nm. Todo o procedimento foi realizado em triplicata. O resultado obtido foi expresso em  $\mu\text{mol}$  de Trolox por grama de amostra.

#### 4.1.5.2. POTENCIAL ANTIMICROBIANO DAS EMBALAGENS

A atividade antimicrobiana disco-difusão idealizado por Bauer *et al.* (1966) com adaptações foi utilizada para determinar a suscetibilidade dos filmes produzidos como antimicrobianos. O princípio deste método baseia-se na difusão, através do ágar, de um antimicrobiano impregnado em um disco de papel-filtro. As bactérias utilizadas nesse estudo foram *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* ATCC 43895 e *Staphylococcus aureus* ATCC 10232. As cepas alvo foram mantidas em ágar Mueller-Hinton e reativada posteriormente ao seu uso. Em um tubo de ensaio, contendo solução salina 0, 85% preparou-se suspensões das cepas de teste padronizadas de acordo com a escala de Mac Farland 0.5,

correspondendo aproximadamente à concentração de 108 Unidades Formadoras de Colônias (UFC / mL).

Em placas de *petry* contendo as culturas semeadas em Agar Mueller Hinton, foram espalhados discos do controle negativo, controle positivo, extrato liofilizado da casca do pinhão, filme controle e filme contendo o extrato. Os extratos foram obtidos em condições ótimas de extração para ser concentrado em evaporador rotativo e liofilizado; então, foi obtido diluições com concentrações finais variando de 25 a 1400  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . O potencial antimicrobiano do extrato foi testado contra as bactérias *Salmonella bongori* (Gram negativo) e *Staphylococcus aureus* (Gram positivo) e *E. coli* (Gram negativo). Como controle positivo (1000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ), norfloxacin e tetraciclina para bactérias. Solução salina 0,9% (p v<sup>-1</sup>) foi usada como controle negativo (SAVI *et al.*,2020).

As placas foram incubadas por 24 horas a 37°C. Resultados positivos para atividade bactericida foram avaliados pelos diâmetros das zonas de inibição que foram medidos em milímetros com o auxílio de um paquímetro.

#### 4.1.6. PADRÃO RGB DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS NATURALMENTE COLORIDOS

Complementarmente às determinações físicas e químicas das embalagens desenvolvidas, foi realizado também um estudo do padrão RGB de imagens digitais dos filmes biodegradáveis naturalmente coloridos.

A aquisição das imagens digitais foi obtida utilizando o celular Samsung Note 10 em condições controladas, realizada em um mini estúdio. Inicialmente, foram registradas as imagens das amostras correspondentes à temperatura ambiente, congelada e refrigerada a cada tempo desde a fabricação (tempo 0) até o final dos 150 dias (tempo 5) as fotos foram feitas a cada 30 dias. As imagens digitais foram editadas no programa GIMP versão 2.10.34. Todas as imagens digitais foram cortadas no programa GIMP com uma dimensão de 100 × 100. Os tons de cinza das imagens RGB (Vermelho - Verde - Azul), dos três acondicionamentos (refrigerado ambiente e congelado) foram extraídos para compor a matriz de dados. Para a elaboração desta etapa, as imagens (extração de tons de cinza dos canais RGB

(Vermelho - Verde - Azul), foram realizadas com o software Chemostat® V. Os gráficos previstos versus observados foram desenvolvidos com o software OriginPro versão 8.0.

#### 4.1.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O conjunto de dados de todas as respostas foram analisados por Análise variância multivariada (MANOVA), ao nível de significância de 5%. Três fatores foram utilizados nessa análise, temperatura de acondicionamento, com três níveis: temperatura ambiente, temperatura a 4°C e temperatura -18°C e em relação ao tempo, que tempo foi o segundo fator utilizado no delineamento experimental, com cinco níveis (T1 a T5) e o tipo de filme controle e contendo extrato de pinhão. Os dados foram avaliados quanto a Análise Multivariada de Variância (MANOVA) e posteriormente submetidos ao teste de comparação de médias – Teste de Tukey. Além disso, o tempo T0 foi analisado comparativamente com o tempo 1 pelo também pelo teste de Tukey. Os dados foram analisados no software STATISTICA versão 10.0.

#### 4.2 ESTUDO 2 - POTENCIALIZAÇÃO NO USO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PELA ADIÇÃO DE CORANTES NATURAIS

O estudo 2, foi conduzido por meio de avaliação de consumidores e ferramentas como questionários (Questionário de Escolha Alimentar), técnica moderna de análise sensorial (Associação de Palavras) e a análise de dados propriamente dita, conforme descrito a seguir.

##### 4.2.1 Participantes

No presente estudo um total de 349 consumidores da Região Sudoeste do Paraná, sul do Brasil, responderam ao Questionário de Escolha Alimentar (QEA),



dos quais 214 também responderam ao teste de Associação de Palavras. Apenas adultos brasileiros (idade  $\geq 18$  anos) que tomam decisões independentes na escolha alimentar foram autorizados a participar. Dos participantes 56,2% eram do sexo feminino e 43,8% do sexo masculino; 44,9% têm entre 18 e 30 anos e 55,1% têm mais de 31 anos. A maioria tem pelo menos ensino superior (75,7%), trabalha em empresa (51,6%), recebe mais de 4 salários mínimos (37%) e não possui crianças (67,3%) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo das informações demográficas e socioeconômicas.

Características		N	Percentage
Idade (anos)	18-30	157	44.9
	31-45	109	31.2
	46 ou mais	83	24.0
Gênero	Feminino	196	56.2
	Masculino	153	43.8
Escolaridade	Ensino fundamental	14	4.04
	Ensino médio	71	20.3
	Ensino superior	122	35.0
	Pós graduação	142	40.7
Profissão	Trabalha em empresa	180	51.6
	Autônomo	63	18.0
	Estudante	78	22.3
	Dono (a) de casa	21	6.02
	Outros	7	2.00
Renda (R\$)	1 Salário mínimo	63	18.0
	1 à 2 Salários mínimos	74	21.2
	2 à 4 Salários mínimos	83	23.8
	Mais de 4 Salários mínimos	129	37.0
Tem filhos	Sim	114	32.7
	Não	235	67.3

Os consumidores foram recrutados por e-mail a partir de um banco de dados. Os participantes receberam um termo de consentimento informado no início do questionário. O Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade

Tecnológica Federal do Paraná aprovou o estudo (CAAE número 64573922.3.0000.0177).

#### 4.2.2 Questionário de Escolha Alimentar

O QEA utilizado foi desenvolvido por Steptoe *et al.* (1995). Para o presente estudo o item é embalado de forma ecologicamente correta sendo concebido como construto e o Conteúdo Natural foi o mediador para a compreensão de todo o conjunto de relações entre os *construtos* do QEA do interesse em embalagens ecologicamente corretas.

A escolha do conteúdo Natural como mediador foi feita para testar a hipótese principal do trabalho: a oferta de embalagens biodegradáveis com adição de corante natural melhorou a percepção positiva das embalagens biodegradáveis pelo consumidor. Em outras palavras, as pessoas que são consumidores pró-ambientais tendem a ser consumidores pró-naturais.

Os dez *construtos* foram embalados de forma ecologicamente correta (Saúde, Humor, Conveniência, Apelo sensorial, Conteúdo natural, Preço, Controle de peso, Familiaridade e Preocupação ética) e seus respectivos itens foram avaliados respondendo à questão: “É importante para mim que a comida que como num dia normal...” As respostas foram dadas utilizando uma escala de sete pontos, variando de “nada importante” a “muito importante”. O estudo foi baseado em Heitor *et al.* (2015) que buscou avaliar a aplicabilidade do QEA no Brasil.

#### 4.2.3 Associação de Palavras

##### 4.2.3.1 Amostras de embalagens biodegradáveis de cor natural (estímulos)

As embalagens biodegradáveis coloridas foram produzidas da seguinte forma: 4% (m/m) de fécula de mandioca e 1% de corante natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze coat, bagaço de uva vermelha, ou folha de *Pereskia aculeata* Miller foram misturadas com água e aquecidas até completa gelatinização (70 °C).

Imediatamente foi adicionado glicerol ao amido/água/corante natural, e a proporção de glicerol atingiu 25% com base na quantidade de amido. As bandejas com solução de moldagem foram levadas à estufa a 35 °C por 24 h; em seguida, os filmes foram recortados no formato de embalagens de chá.

#### 4.2.3.2 Aplicação de Associação de palavras

A AP foi aplicada de acordo com Bordim *et al.* (2021), adaptado de Antmann *et al.* (2011). AP é guiado pela teoria de que dar um estímulo a um respondente e pedir para associar livremente a ideia que lhe vem à mente proporciona acesso irrestrito para o delineamento mental do estímulo (ARES *et al.*, 2008). Os estímulos utilizados foram duas figuras idênticas de embalagens biodegradáveis de saquinhos de chá de cor natural (Figura 02). Para o primeiro estímulo, denominado condição cega, a instrução foi: “Escreva as quatro primeiras palavras, sensações ou sentimentos que lhe vêm à mente ao ver esta imagem de embalagem biodegradável”. Para o segundo estímulo, denominado condição informada a instrução era: “Escreva as primeiras quatro palavras, sensações ou sentimentos que vêm à mente ao ver esta imagem de embalagem biodegradável com adição de corante natural”.

Figura 02 – Embalagens biodegradáveis de saquinhos de chá coloridas naturalmente por extrato de uva, ora-pró-nóbis e pinhão respectivamente.



Fonte: Própria autora

#### 4.2.4 Análise de dados

Para estudar os efeitos dos *construtos* independentes nos *construtos* dependentes *Conteúdo natural e embalado de forma ecologicamente correta*, foi utilizada a modelagem de Equações Estruturais usando o pacote PLS-PM do SmartPLS. Além de fornecer o diagrama PLS-PM, o pacote também forneceu estatísticas descritivas (média  $\pm$  desvio padrão), verificação de unidimensionalidade, correlações e validade convergente dos *construtos* e das correlações.

Considerando as relações exploradas, foram formuladas nove hipóteses:

- H1: Existe um efeito significativo da Conveniência no Conteúdo Natural
- H2: Existe um efeito significativo da Saúde no Conteúdo Natural
- H3: Existe um efeito significativo do Controle de Peso no Conteúdo Natural
- H4: Existe um efeito significativo do Apelo Sensorial no Conteúdo Natural
- H5: Existe um efeito significativo do Preço no Conteúdo Natural
- H6: Existe um efeito significativo do Humor no Conteúdo Natural
- H7: Existe um efeito significativo da Familiaridade no Conteúdo Natural
- H8: Existe um efeito significativo das Preocupações Éticas no Conteúdo Natural
- H9: Existe efeito significativo do Conteúdo Natural na Embalagem

A análise dos dados de Associação de Palavras foi baseada em Antmann *et al.* (2011). As associações foram agrupadas em diferentes categorias. Três pesquisadores realizaram o agrupamento de forma independente. As categorias finais e seus nomes foram determinados por consenso entre os pesquisadores. Categorias mencionadas por mais de 5% dos participantes foram incluídas na análise. O teste do qui-quadrado foi realizado para estudar as diferenças entre as associações para as condições cego e informado.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ESTUDO 1 - EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL COLORIDA COM EXTRATO DA CASCA DO PINHÃO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE SOB CONGELAMENTO, REFRIGERAÇÃO E TEMPERATURA AMBIENTE

Visando a verificação da influência das variáveis independentes estudadas – tipo de filme, condições de estocagem e tempo, bem como as interações entre as variáveis, a tabela 02 apresenta os resultados da Manova. Verifica-se que todas as variáveis individualmente e suas interações apresentaram valores de  $p \leq 0,05$ , portanto, todas as variáveis independentes apresentaram efeito significativo nas variáveis dependentes estudadas.

Esse método estatístico facilita a interpretação dos resultados multifacetados da pesquisa, ao mesmo tempo em que fornece uma visualização abrangente da variação observada em um período de meses, com filme controle e com adição de pinhão e em diferentes temperaturas de armazenamento.

Tabela 02 – Resultados estatísticos Manova considerando tipo de filme (controle e filme com adição de extrato da casca do pinhão; condições de estocagem (à temperatura ambiente, refrigerada e congelada) e tempo (30, 60, 90 e 150 dias).

	Valor do teste de Wilks	F	Efeito	Resíduo	P
Intercepto	0,000076	172460,3	17	224,000	<0,01
Tipo de filme	0,000161	81900,8	17	224,000	<0,01
Condições de estocagem	0,008343	131,1	34	448,000	<0,01
Tempo	0,000143	110,7	68	881,358	<0,01
Tipo de filme*Condições de estocagem	0,004474	183,8	34	448,000	<0,01
Tipo de filme*Tempo	0,000126	114,8	68	881,358	<0,01
Condições de estocagem*Tempo	0,000238	25,9	136	1646,051	<0,01
Tipo de filme*Condições de estocagem*Tempo	0,000145	28,6	136	1646,051	<0,01

Fonte: Própria autora

### 5.1.1. Propriedades físicas das embalagens biodegradáveis

A espessura média dos filmes biodegradáveis controle foi de 0,15 mm ( $\pm 0,001$ ) e para o filme contendo extrato da casca do pinhão foram de 0,17 mm ( $\pm 0,001$ ). Sendo essas medidas únicas do resultado da média de 5 medidas aleatórias das bordas e centro das embalagens para o filme controle e pinhão. Para Silva *et al.*, (2019) a espessura encontrada para filmes de amido de mandioca foi de 0,11mm. No entanto, Santos *et al.*, (2023) relataram valores mais elevados para filmes contendo amido de mandioca acrescidos de óleo de Tucumã, variando de 1,4 a 1,7 mm; isso corrobora que a mistura de componentes resulta em filmes mais espessos.

Os extratos vegetais podem alterar as propriedades físicas e mecânicas dos filmes e revestimentos biodegradáveis. A adição de extratos vegetais geralmente aumenta a espessura, pois houve o aumento do teor de sólidos (KOLA, CARVALHO, 2023; ZAVAREZE *et al.*, 2012). Por exemplo, o filme de quitosana com a adição de extratos de casca de pinhão, aumentou significativamente a espessura de 65  $\mu\text{m}$  (0,065mm) para 138  $\mu\text{m}$  (0,138m). O aumento da espessura por sua vez, é desejável em filmes ao considerar o equilíbrio entre durabilidade, proteção, custo e impacto ambiental (WANG, *et al.* 2019). Porém, filmes de grande espessura nos trazem problemas quanto ao fato de possuir tempo maior para a biodegradação no meio ambiente (ZAVAREZE *et al.*, 2012).

A processabilidade dos filmes biodegradáveis contendo extrato liofilizado da casca de pinhão extrusados por sopro balão foi satisfatória tanto quanto a do filme controle, pois em ambos o balão não resultou em danos como furos. Indicando assim, que o corante oriundo do pinhão como uma matriz vegetal não prejudicou essa característica física ao ser incorporada em filme biodegradável. A Imagem da embalagem biodegradável na extrusora sopro balão contendo corante natural da casca do pinhão pode ser observada na Figura 03.

Figura 03 – Embalagem biodegradável na extrusora sopra balão contendo corante natural da casca do pinhão

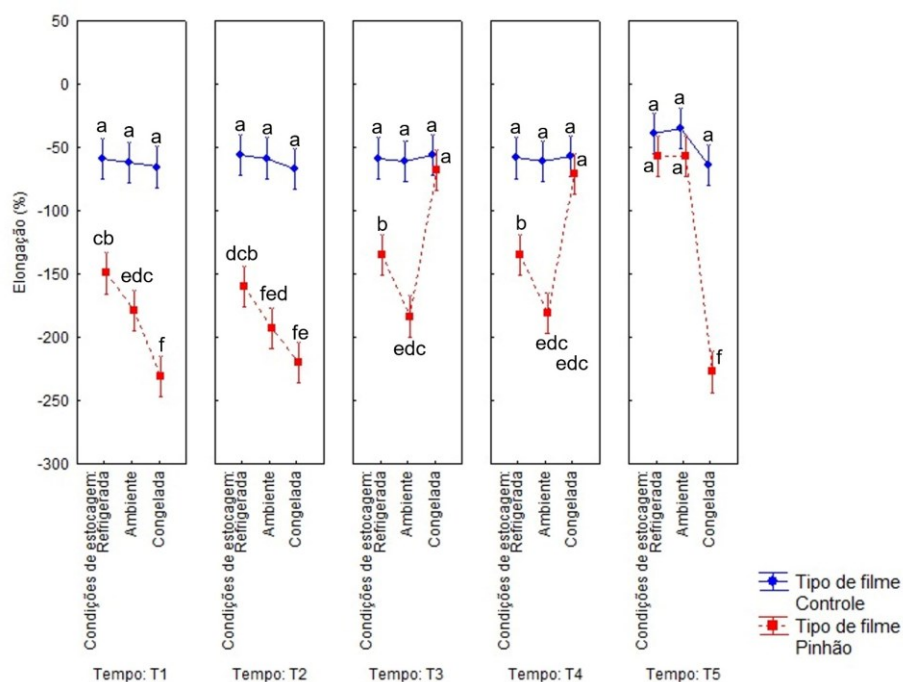


Fonte: A própria autora

#### 5.1.1.1 Propriedade mecânica de alongação

A propriedade mecânica de alongação dos filmes biodegradáveis acrescido do extrato do pinhão apresentou comportamento diferente estatisticamente quando comparado ao comportamento da embalagem controle (Figura 04). A resistência por sua vez, é desejável em filmes quando utilizado como embalagens de alimentos sensíveis à manipulação (ZHANG *et al* 2022). Porém, devem ser flexíveis, a fim de proteger os alimentos, e devem se adaptar às possíveis deformações sem ocorrer o rompimento (CAO, MEZZENGA, 2020).

Figura 04 – Propriedade mecânica de alongação dos filmes biodegradáveis de amido de mandioca incorporados com extrato da casca do pinhão e filme biodegradável controle em temperaturas ambiente, refrigerado e congelado em diferentes tempos de armazenamento.



Assim que as embalagens foram produzidas a alongação apresentou o valor de 73,31% para o controle e 282,05% para o filme pinhão esse tempo é denominado como tempo 0. O tempo 0 do filme controle foi igual estatisticamente ao tempo um do filme controle acondicionado sob temperatura ambiente, refrigerado e congelado. Por outro lado, o filme contendo extrato liofilizado da casca de pinhão foi estatisticamente diferente dos filmes pinhão congelado, refrigerados e ambiente para o tempo 1.

Para os dados de alongação ao longo do tempo (150 dias), os valores para as amostras controle apresentaram variação entre 66,60% e 34,91%, enquanto para pinhão, independente do tempo e condição de armazenamento, variou entre 231,08% e 68,06%. Contudo, quanto maior o valor de alongação para as embalagens significa que o material é mais flexível e pode se deformar mais antes de se romper. Por outro lado, quando a alongação na ruptura é menor, significa que o material é mais rígido e quebradiço, e tem menos capacidade de se deformar antes de se romper (KOLA, CARVALHO, 2023). Logo, as embalagens contendo extrato do pinhão apresentaram resultados mais eficientes para essa variável



resposta podendo ter relação com o possível efeito plastificante do extrato adicionado.

Para a propriedade mecânica de alongação, todas as amostras do filme pinhão, independente do tempo e condição de temperatura de armazenamento, foram superiores ao controle, ou seja, mostraram se mais flexíveis. Principalmente as amostras do filme com extrato da casca do pinhão no tempo 1, 2 e 5, amostras acondicionadas à temperatura congeladas, que foram superiores as demais. Os filmes contendo extrato da casca do pinhão armazenados sob temperatura ambiente entre o tempo 1 ao 4 foram iguais estatisticamente exceto no tempo 5 que obteve um baixo desempenho para o alongamento. O mesmo ocorreu com os filmes contendo extrato de pinhão submetidos à refrigeração do tempo 1 ao 4 iguais estatisticamente e no tempo 5 houve uma queda do desempenho da alongação. Já os filmes congelados o tempo 1, 2 e 5 foram iguais estatisticamente enquanto o tempo 4 e 3 apresentaram valores menores e iguais estatisticamente entre si. O estudo de Silva *et al* (2019) encontrou valores semelhantes para alongação do filme contendo extrato de pinhão à 0,75% (280.18) e 0,5% (205.15).

Os materiais usados nas formulações devem ser resistentes à ruptura e à abrasão. Porém, devem ser flexíveis, a fim de proteger e reforçar a estrutura dos alimentos. Há também a necessidade da compatibilidade entre os polímeros e os aditivos (ANDREW, DHAKAL., 2022; KOLA, CARVALHO., 2023). Contudo, os filmes contendo a presença do corante natural oriundo do extrato da casca de pinhão promoveram melhorias das propriedades mecânicas em relação ao filme controle com o aumento da alongação do filme (SILVA *et al.*, 2019).

Sugere-se que o fato do pinhão melhorar a propriedade mecânica de alongação esteja possivelmente associado à alteração da umidade (OTACHE *et al* 2021), causando efeito plastificante. Outra possibilidade seria o aumento das ligações de hidrogênio entre as moléculas do filme e moléculas presentes no extrato de pinhão que gera um a ligação intermolecular mais intensa (KOLA, CARVALHO., 2023). Silva *et al* 2019 também obteve a melhora do alongamento para filmes com adição de 0,75% de extrato do pinhão.

Na presença de extratos vegetais, as propriedades do filme podem mudar devido às interações entre biopolímero e compostos fenólicos devido às interações

químicas (STAROSZCZYK *et al.*, 2020). Além disso, a extensão das mudanças nas propriedades dos filmes depende do tipo e da concentração de extrato que foi utilizado (MIR *et al.*, 2018). O extrato vegetal das cascas do pinhão segundo Zhang *et al* (2020) alteram propriedades como espessura 0.138 mm, 12.34 mPa 6.50%.

Os materiais de embalagem devem suportar esforços mecânicos devido ao transporte, armazenamento e aos próprios consumidores (KOLA, CARVALHO., 2023). Os estudos publicados sobre o efeito dos extratos vegetais nas propriedades mecânicas dos filmes revelaram efeitos diversos. Muitos trabalhos relataram um aumento na resistência à tração e na ruptura do alongamento com a adição de extratos naturais (LIU *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2019; KOLA; CARVALHO, 2023) em consonância com o presente estudo.

#### 5.1.1.2 Propriedade mecânica de força de ruptura

A propriedade mecânica de força de ruptura dos filmes biodegradáveis apresentou comportamento diferente quando comparado ao comportamento da embalagem controle. Sendo o filme controle mais rígido e a embalagem contendo extrato liofilizado da casca do pinhão menos rígida, ou seja quanto maior a concentração de extrato menor a força de ruptura. Segundo Zhang e colaboradores (2022), a resistência é desejável em filmes quando utilizado como embalagens de alimentos sensíveis à manipulação.

Assim que as embalagens foram produzidas (tempo 0) a força de ruptura apresentou o valor de 6,02 MPa para o controle. O tempo 0 foi estatisticamente igual ao tempo 1 refrigerado e congelado, porém estatisticamente diferente do tempo 1 ambiente. Para a embalagem contendo extrato liofilizado da casca de pinhão a força de ruptura no tempo 0 apresentou o valor de 5,79 Mpa. O tempo 0 para o filme pinhão foi estatisticamente igual aos valores do pinhão ambiente e congelado tempo 1 e estatisticamente diferente do refrigerado tempo 1.

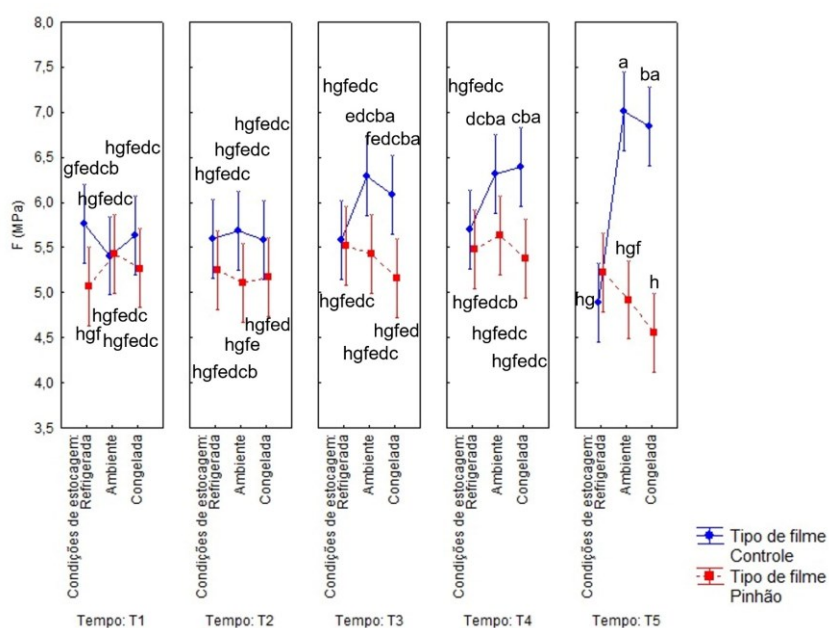
Para as propriedades mecânicas quanto ao parâmetro de força de ruptura ao longo do tempo (150 dias) para os filmes controle obteve-se a maior média para o controle ambiente tempo 5 - 7,00 Mpa e menor média para controle refrigerado tempo 5 com 4,88 Mpa (Figura 05). Apesar de ocorrer variação entre alguns filmes

com variação de tempo e temperatura de estocagem, em geral, as amostras controle na temperatura ambiente, congelada e refrigerada apresentaram maiores valores, principalmente para os tempos 4 e 5, sendo o restante similar na sua maioria. Portanto, para os filmes controles o melhor armazenamento o qual apresentou mais estabilidade desde a fabricação (tempo 0) até os 150 dias (tempo 5) foi a temperatura refrigerada.

O filme contendo extrato de pinhão obteve valores para força de ruptura entre 4,55 e 5,63 Mpa sendo o maior valor para o filme ambiente tempo 4 e o menor para o filme congelado tempo 5. Os filmes pinhão foram todos estatisticamente iguais entre si. Contudo, para o filme contendo pinhão a temperatura ambiente e congelada mostraram-se estáveis desde a sua fabricação (tempo 0) até a última análise em 150 dias (tempo5).

Em resumo o filme controle mostrou estabilidade durante os 5 tempos analisados quando armazenado em temperatura refrigerada. Resultados opostos foram obtidos para o filme contendo extrato liofilizado da casca do pinhão o qual foi estável em temperatura ambiente e congelada. Para esse parâmetro podemos sugerir que o filme pinhão é melhor que o filme controle, pois possuiu estabilidade sob duas temperaturas de acondicionamento (ambiente e congelado).

Figura 05 – Propriedades mecânicas de força de ruptura dos filmes biodegradáveis de amido de mandioca incorporados com extrato de casca do pinhão e filme biodegradável controle em temperaturas ambiente, refrigerado e congelado nos diferentes tempos de armazenamento.



Por exemplo, com a incorporação de extrato de bagas de *haskap* em filmes de gelatina de peixe, a resistência à tração e a ruptura do alongamento dos filmes aumentou à medida que a concentração do extrato aumentou (LIU *et al.*, 2019). Os filmes ficaram mais compactos e resistentes à aplicação de tração força devido às ligações de hidrogênio intermoleculares formadas entre o extrato e o biopolímero. Além disso, os polifenóis podem atuar como plastificantes e aumentar a flexibilidade dos filmes ativos (KOLA, CARVALHO, 2023). Dados esses corroborando com o presente estudo, em que o corante natural extraído da casca do pinhão aumentou o alongamento dos filmes. Porém diferentes no que diz respeito a força de ruptura o qual o extrato da casca do pinhão tornou o filme menos rígido em relação ao filme controle.

A melhoria das propriedades mecânicas ocorreu também quando o extrato de *Centella asiatica* foi adicionado ao filme de gelatina de base bovina. Os compostos fenólicos sofreram interações hidrofóbicas com a região hidrofóbica da gelatina. Isso pode ocorrer porque os compostos fenólicos contêm muitos grupos hidrofílicos (RASID *et al.*, 2018). SHAN *et al.* (2023) estudaram os efeitos de extrato de chá verde em filmes de gelatina. Os resultados mostraram que a adição do extrato de chá verde aumentou significativamente a resistência à tração e quebra de alongamento, isso se deve principalmente a compostos polifenólicos no extrato de chá verde que apresentavam uma estrutura com anel pentacíclico e hexacíclico estável, o que dificultou a livre rotação das ligações nos filmes.

Por outro lado, alguns trabalhos relataram resultados adversos nas propriedades mecânicas com a adição de extratos naturais. A adição de extrato de casca de banana contribuiu para as alterações na mecânica propriedades dos filmes de quitosana. Vale ressaltar que à medida que a concentração de extrato de casca de banana aumentou, ocorreu o contrário, com a resistência à tração pois, mostraram-se significativamente menor e ruptura de alongamento em 8% e 12% de extrato de casca de banana (ZHANG *et al.*, 2019).

Um estudo de Ju e Song (2019) relataram que a resistência à tração de filmes com extrato de casca de cebola amarela diminuíra à medida que a concentração do extrato aumentava. Os valores de alongamento do filme contendo extrato de cebola com casca amarela apresentaram valores maiores do controle filme 27,43%

entretanto, diminuiu conforme a concentração do extrato aumentou. Esses resultados sugerem que a incorporação do extrato ao filme de biopolímero resulta em mudanças estruturais condizendo com os dados obtidos nesse estudo.

Em paralelo, Cossa *et al* (2022), armazenaram peixes congelados com filmes biodegradáveis por um período de 360 dias apresentando estabilidade na estrutura química e mecânica. A resistência à tração final registrado foi de 5,93 MPa e o alongamento na ruptura foi de 1,02%. O tipo de embalagem não teve efeito registrado na qualidade dos filés de peixe ( $p \geq 0,05$ ). Tempo de armazenamento variável mostrou efeito na qualidade do peixe ( $p \leq 0,05$ ). Apresentou estabilidade dos filmes, pois não foi registrado o aparecimento de novas bandas e o desaparecimento das já existentes.

De acordo com Zhang, *et al.* (2020) o filme de quitosana com a adição de extrato de casca de pinhão apresentou uma resistência à tração de 24,37 MPa e um alongamento na ruptura de 12,34%, enquanto o filme de quitosana sem adição de extrato de pinhão apresentou uma resistência à tração de 37,54 MPa e um alongamento na ruptura de 8,16%. Portanto, a adição de extrato de casca de pinhão resultou em uma redução na resistência à tração e no alongamento na ruptura do filme de quitosana.

Em geral, os filmes apresentaram boas propriedades mecânicas para serem utilizados como embalagens de alimentos uma vez que apresentaram boas propriedades mecânicas quanto à alongação e força de ruptura características, consideradas ideias para tal, pois conferem resistência e maleabilidade (Zhang *et al.*, 2020). Tendo o filme pinhão como resultado uma menor rigidez e resistência (força de ruptura), porém maior flexibilidade (alongação) sendo o armazenamento congelado o qual apresentou a maior flexibilidade. Já o filme controle foi mais rígido e conseqüentemente menos flexível sendo o armazenamento congelado e à temperatura ambiente os mais rígidos, essa rigidez aumentou ao longo do tempo.

#### 5.1.1.3 Espectroscopia De Infravermelho Com Transformada de Fourier por Reflexão Total Atenuada (FTIR-ATR)

Os espectros de FTIR dos filmes foram realizados a fim de observar a estrutura química dos materiais e possíveis interações nas blendas. Os gráficos apresentaram picos semelhantes, mas com amplitudes diferentes, sendo elas aumentadas ao decorrer do tempo de análise. Os filmes apresentaram estabilidade química, pois não foi registrado o aparecimento de novas bandas e o desaparecimento das já existentes de acordo com a diferença de temperatura exposta para armazenamento: ambiente, refrigerada e congelada conforme apresentado na Figura 06.

Figura 06 – A: Espectros FTIR ATR para o filme controle temperatura ambiente B: Espectros FTIR ATR para o filme controle temperatura refrigerada

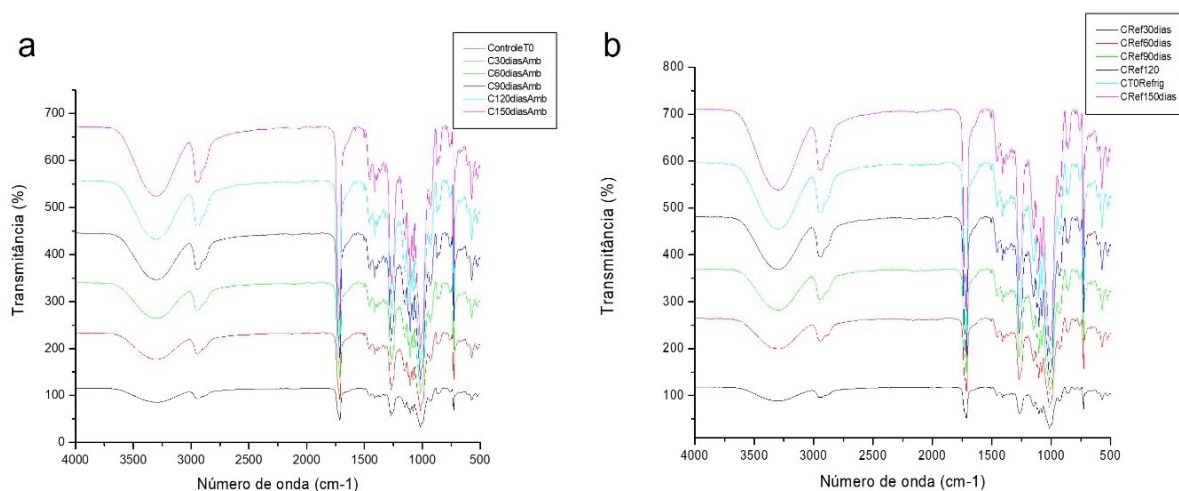


Figura 06 – C: Espectros FTIR ATR para o filme controle temperatura congelada D: filme adicionado do corante oriundo do pinhão em temperatura ambiente

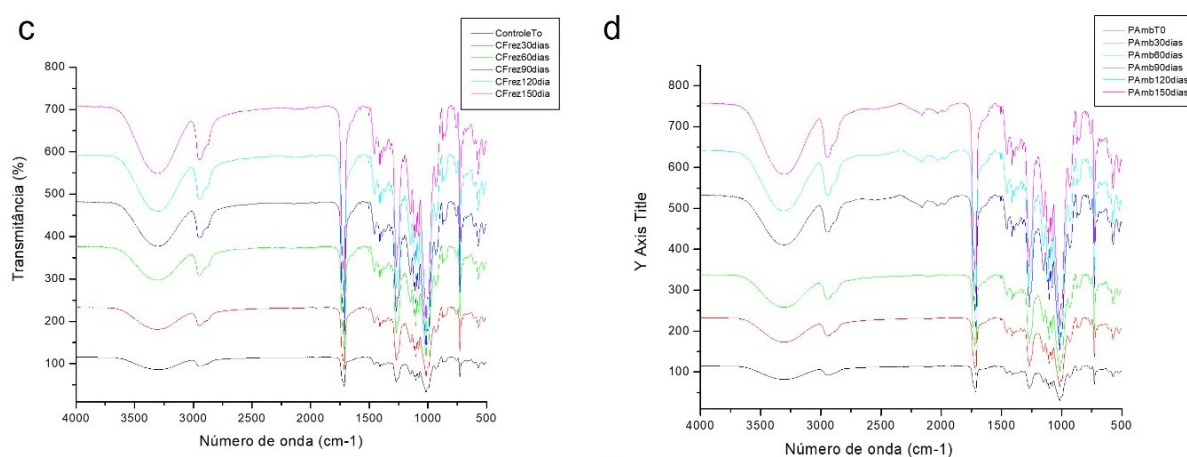
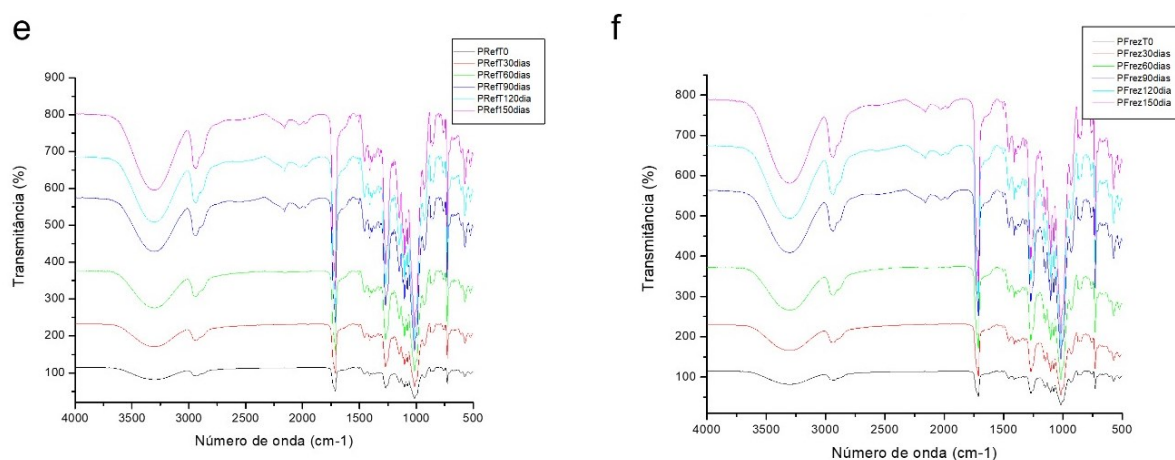


Figura 06 – E: filme adicionado do corante oriundo do pinhão em temperatura refrigerada e F: filme adicionado do corante oriundo do pinhão em temperatura congelada.



Na banda de  $1.270\text{ cm}^{-1}$  foi possível observar o estiramento vibracional do C–O. Em  $728\text{ cm}^{-1}$  as vibrações do metileno grupo ( $\text{CH}_2$ ) em relação à estrutura do polímero PBAT foram verificadas. A banda de  $1,017\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao alongamento do C–O–C ligação no anel glicêmico do amido (BARRETO *et al.*, 2021; CARDOSO *et al.*, 2022).

As bandas, a de  $1.712\text{ cm}^{-1}$  que se referem à carbonila destacam-se as ligações éster do grupo C=O. Essa banda, que foi a mais intensa, é característica da formação da estrutura química do PBAT (BARRETO *et al.*, 2021).

A banda de  $900\text{-}600\text{ cm}^{-1}$  é conhecida como região de estiramento de ligações C–C e C–H. Ela é usada para identificar grupos aromáticos (C=C) e alquil (C–H) em compostos orgânicos (MARKOWICZ, PULIKOWSKA., 2021). Portanto, em  $728\text{ cm}^{-1}$  observou-se as vibrações do grupo metileno ( $\text{CH}_2$ ) em relação à estrutura do polímero PBAT. Com faixas características de sua estrutura e, como esperado. Já a banda aguda em  $726\text{ cm}^{-1}$ , é referente às vibrações dos quatro ou mais grupos metileno adjacentes ( $-\text{CH}_2-$ ) da estrutura do polímero (SGANZERLA, *et al.*, 2019).

Contudo, uma banda na região de  $1266\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento C–O das ligações éster. Ela é usada para identificar grupos hidroxila (OH) e éter (C–O–C) em compostos orgânicos (MARKOWICZ, PULIKOWSKA., 2021).

Na banda de  $1708\text{ cm}^{-1}$  é associada ao estiramento do grupo carbonila, e verifica-se ainda, um estiramento entre  $1020\text{ e }880\text{ cm}^{-1}$  associado à presença do

anel benzênico substituído. Porém, uma banda na região de  $3000\text{ cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento C-H das frações aromáticas e alifáticas.

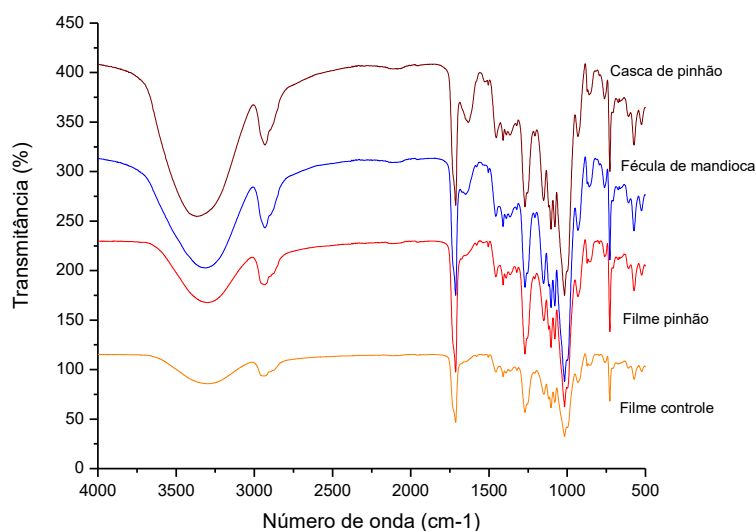
As bandas entre  $3300$  e  $3400\text{ cm}^{-1}$  foram devidos aos grupos hidroxila, que estão presentes em grande número nas cadeias de amido. Zhang *et al.*, (2020) também encontraram frequências de absorção infravermelha semelhantes para filmes biodegradáveis.

Loewe *et al.* (2017) relataram que picos de absorção observados em 1200, 1500, 1720, 1760, 1940 e 2350 nm nos espectros de pinhões mediterrâneos cultivados no Chile corresponderam às bandas de ondas mais importantes.

Comparando os filmes controle e pinhão e suas respectivas matérias-primas nota-se bandas semelhantes com amplitudes distintas (Figura 07), sendo o corante da casca de pinhão o detentor da maior amplitude para a banda na região de  $3000\text{ cm}^{-1}$  seguido da fécula de mandioca que como já mencionado representa o estiramento C-H das frações aromáticas e alifáticas. Esses resultados possivelmente correspondem aos compostos fenólicos, catequinas e epicatequinas, presentes no pinhão (SGANZERLA *et al.*, 2019). Desse modo, o filme com adição de extrato de casca de pinhão possui essa banda maior em relação ao controle pela presença desses compostos.

Sganzerla, *et al* (2019), relataram que não houve diferença significativa entre os espectros de FTIR das embalagens produzidas e das matérias primas, assim como o presente estudo.

Figura 07 - FTIR ATR da casca do pinhão, fécula de mandioca, (ambos são matéria prima dos filmes) Filme contendo corante oriundo da casca do pinhão e Filme controle

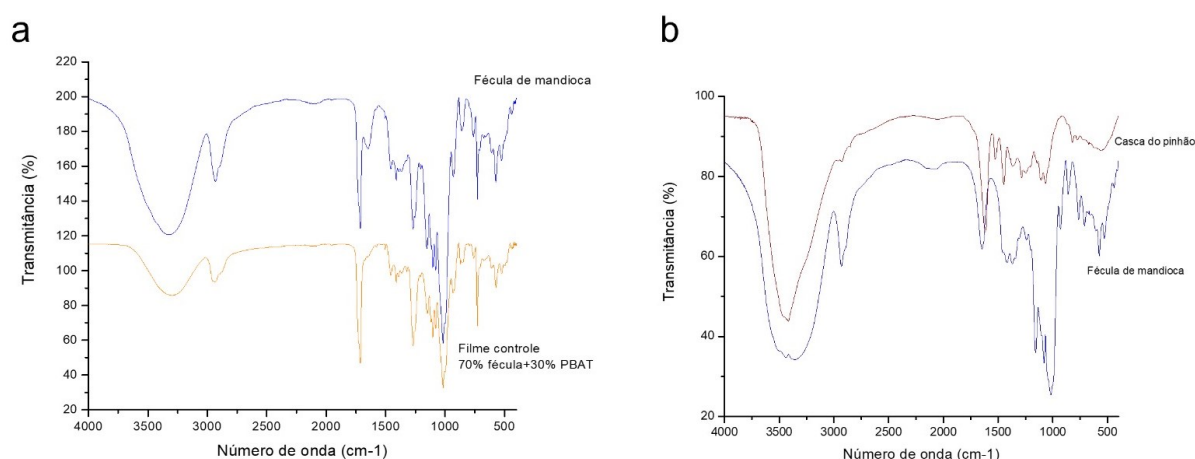




A banda na região de  $1.266\text{ cm}^{-1}$  (Fígura 08 B) é observada para a casca do pinhão como uma banda única e para a fécula de mandioca como uma banda dupla, ela é atribuída ao estiramento C-O das ligações éster (LOEWE *et al.* 2017). Para a figura 8 A nota-se absorvâncias semelhantes com intensidades para o filme controle em relação à fécula de mandioca.

Estudos semelhantes de caracterização estrutural por FTIR foram realizados por Palsikowski *et al.*, (2018) e Barreto, (2021), que também não detectaram alterações significativas nas bandas.

Figura 08 - A) FTIR ATR do filme controle e da fécula de mandioca B) FTIR ATR do extrato da casca do pinhão utilizado como corante e fécula de mandioca



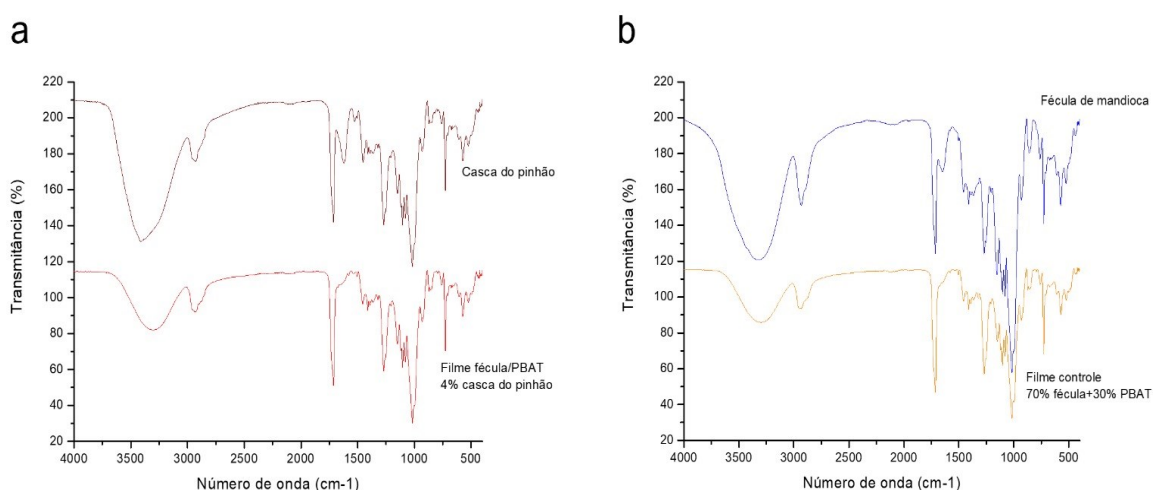
Segundo Zulfqar *et al* 2019, o FTIR do extrato metanólico do pinhão mostrou a presença de diferentes grupos funcionais e tipos de ligações químicas. Foram detectados grupos funcionais como alqueno monossubstituído, alqueno conjugado, alcanos e álcoois.

Verificando a estrutura química do PBAT é identificada a presença de várias carbonilas. Analisando a evolução do índice de carbonila nos espectros do FTIR ATR, nota-se que não houve alteração significativa no material. Geralmente a mudança estrutural ocorre pelo monitoramento dos grupos carboxílicos terminais, porém esta medida pode ser difícil identificar se essas novas estruturas se reorganizam, mascarando as alterações químicas no polímero. Como o PBAT possui carbonila em sua cadeia principal, se o ataque microbiológico hidrolisar as ligações

do tipo éster, o número total de carbonila não mudará, entretanto o álcool será produzido por hidrólise. Mas se ocorrer hidrólise em outra ligação, novas carbonilas se formarão. Além disso, pode haver formação de ácidos carboxílicos durante a hidrólise, que podem ser assimilados pelos microrganismos, resultando na diminuição do índice de carbonila (Barreto, 2021). Portanto, o aumento ou diminuição do índice de carbonila está relacionado ao estágio de degradação do material.

A Figura 09 A mostra as bandas para o extrato liofilizado da casca do pinhão e do filme com o extrato incorporado. Observa-se muitas bandas semelhantes significando que o extrato foi bem incorporado ao filme.

Figura 09 - A) FTIR ATR da casca do pinhão e filme contendo a casca do pinhão como corante B) FTIR ATR da fécula de mandioca, e do pinhão e filme controle



#### 5.1.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos filmes nas três temperaturas estudadas (ambiente, refrigerada e congelada) pelo período de armazenamento no tempo 0, 2 e 5 (0, 90 e 150 dias) pode ser observada na Figura 10.

As imagens da superfície dos filmes mantiveram-se estáveis ao longo do tempo de análise em relação às diferentes temperaturas. As imagens microestruturais da área de superfície dos filmes controle e pinhão estão presentes na Figura 10 (a, d, g). No T 0, foi observada uma distribuição, lisa pela ausência de grânulos de amido insolúveis mostrando a eficácia da homogeneização durante o

processo de fabricação dos filmes. Não houve rachaduras em toda a área da superfície, sugerindo uma estrutura compacta.

Figura 10 - A) Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes controle armazenados a temperatura ambiente (25°C) no tempo zero (a), 90(b) e 150 dias (c) (Ampliação 300x)

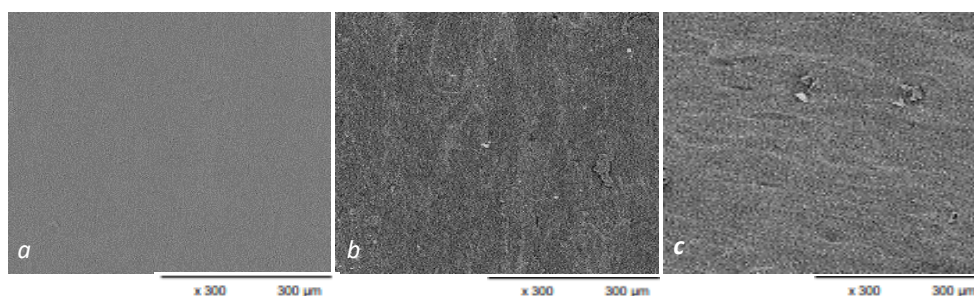


Figura 10 – B) Filmes controle armazenados a temperatura de refrigeração (4°C) no tempo zero (d), 90 (e) e 150 dias (f) (Ampliação 300x)

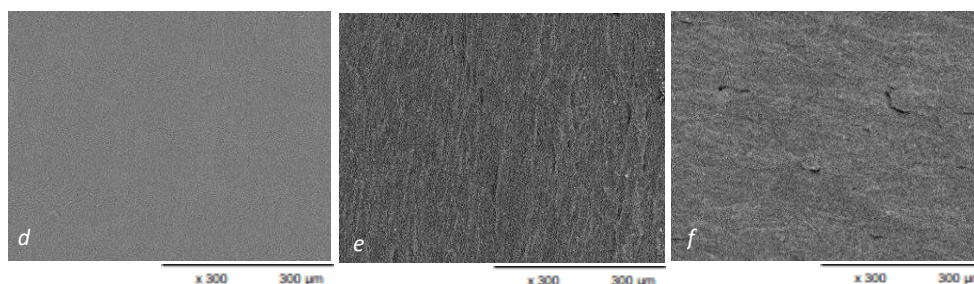
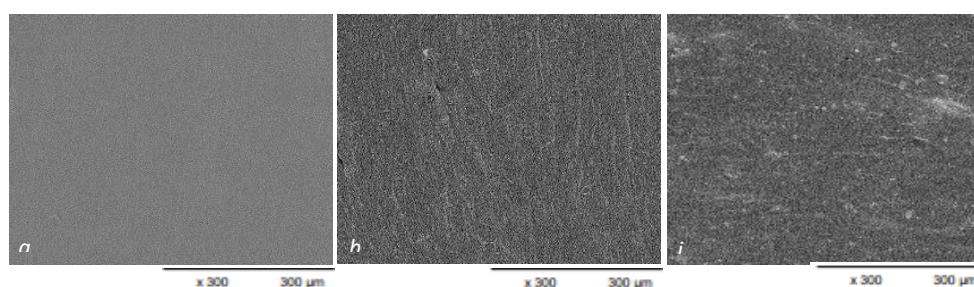


Figura 10 C - Filmes controle armazenados a temperatura de congelamento (-18°C) no tempo zero (g), 90 (h) e 150 dias (i) (Ampliação 300x)



Os filmes permaneceram homogêneos, compactos e estruturados, mantendo a estabilidade durante os 150 dias de armazenamento nas temperaturas avaliadas. Esse resultado vem confirmar a propriedade mecânica de alongação, que foi elevada para filme contendo extrato de pinhão, pois como o filme encontra-se homogêneo e sem rasgos consegue maior flexibilidade até

romper-se, mas apesar de homogêneos e elásticos a força de ruptura foi menor em comparação com o filme controle.

Alguns grânulos de amido podem ser observados na superfície dos filmes, entretanto não houveram rasgos e nem fissuras que pudessem comprometer a utilização dos filmes como embalagens para alimentos, principalmente no congelamento que é a condição mais extrema de conservação (Figura 11). Cossa *et al.* (2022) avaliaram a estabilidade dos filmes de PBAT/amido na conservação de peixe pacu congelado por 360 dias e os resultados foram semelhantes, os filmes permaneceram homogêneos e sem rachaduras, somente houve pequenos furos em 360 dias, devido a perda de massa e o contato direto com o peixe na condição de congelamento.

Figura 11 - A) Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura ambiente (25°C) no tempo zero (a), 90 (b) e 150 dias (c) (Ampliação 300x)

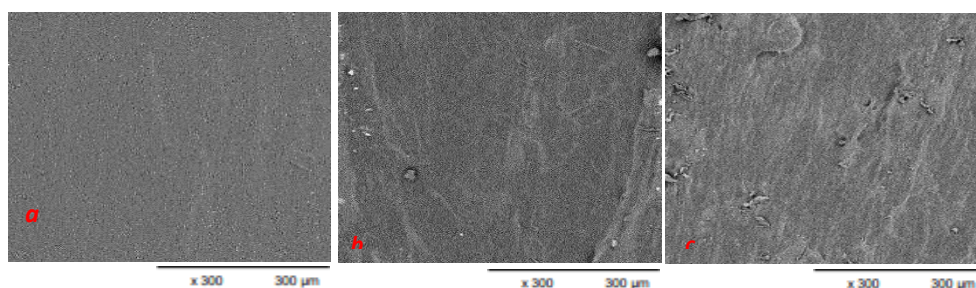


Figura 11 - B) Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura de refrigeração (4°C) no tempo zero (a), 90 (b) e 150 dias (c) (Ampliação 300x)

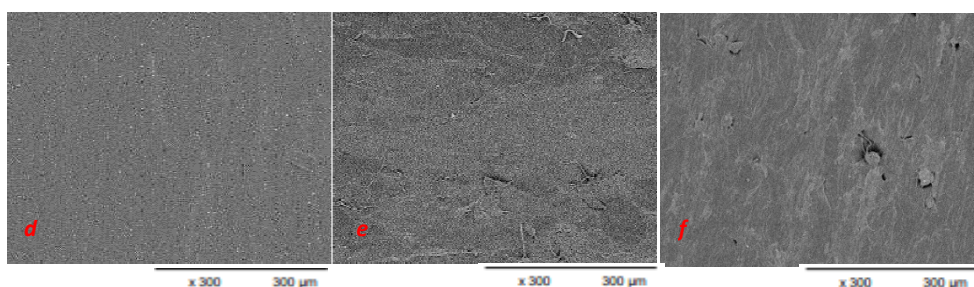
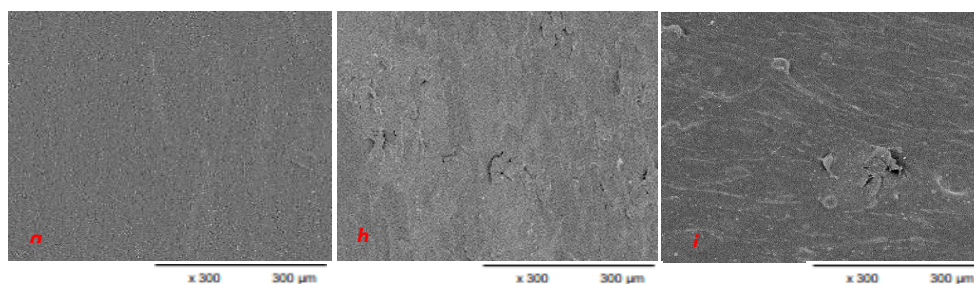


Figura 11 - C) Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos filmes coloridos com extrato de pinhão armazenados a temperatura de congelamento (-18°C) no tempo zero (g), 90 (h) e 150 dias (i) (Ampliação 300x).



Os filmes biodegradáveis coloridos com o extrato de pinhão, apresentaram superfície homogênea, apenas com alguns grânulos de amido não gelatinizados nos filmes que foram mantidos sob congelamento, sugestivo da retrogradação do amido, entretanto sem imperfeições, poros ou fissuras. A presença de grânulos de amido foi relatada por Olivato *et al.* (2013) em filmes de PBAT de fécula de mandioca.

Lopes e colaboradores (2011) relatam aparência mais heterogênea dos filmes de amido com adição de extrato em relação ao filme controle. Este mesmo estudo notou aparecimento de pequenos poros, que não promoveram alterações mecânicas. Já outro estudo realizado por Padilha (2019) mostrou que filmes incorporados com extratos de açaí apresentaram na microscopia eletrônica rugosidades nas amostras devido a quantidade de compostos fenólicos presentes nos extratos, agregados aos biopolímeros na matriz. Contudo, Florez, Cazon, Vazquez (2023) observaram que a adição de extrato de urtiga não afetou a morfologia dos filmes de quitosana, semelhante aos achados do presente estudo.

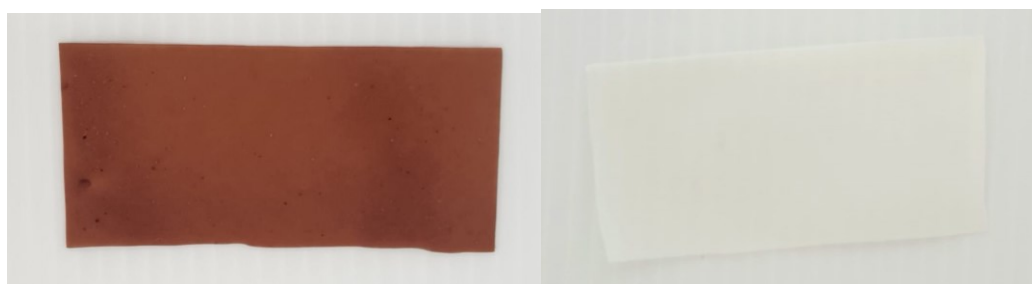
Kuuttia, *et al* (1998) exploram os efeitos do envelhecimento nas propriedades estruturais dos filmes termoplásticos de amido durante 5 semanas. Os resultados indicam que a superfície dos filmes se torna mais áspera e heterogênea à medida que envelhecem.

Silva *et al* (2019) relataram aumento da rugosidade da superfície dos filmes, com uma estrutura mais compacta para a amostra com 0,75% de extrato de pinhão. Não foram observadas mudanças na microestrutura entre o filme de controle e a amostra com 0,5% de extrato. Esses resultados indicam que a presença do extrato afeta a morfologia dos filmes, tornando-os mais rugosos e compactos. No entanto, é importante ressaltar que as imagens de MEV fornecem apenas informações visuais sobre a morfologia dos filmes, e análises mais detalhadas podem ser necessárias para uma compreensão completa das características microestruturais dos filmes.

#### 5.1.1.4 Colorimetria

As propriedades de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $c$ ) são parâmetros fundamentais para a aparência da embalagem, visto que influenciam diretamente na aceitabilidade do produto pelo consumidor. No decorrer dos 150 dias acompanhou-se a estabilidade da cor mensalmente. Além disso, os valores de  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  e  $\Delta b$  obtidos nas três temperaturas ao longo do tempo estão registrados na Tabela do apêndice 08. A fim de expressar melhor a diferença de coloração entre os diferentes filmes controle e pinhão observa-se a Figura 12.

Figura 12 – Imagens dos filmes pinhão e controle respectivamente



O valor de luminosidade varia de 0 a 100, onde 0 representa preto e 100 representa branco. Inicialmente assim que produzidas as embalagens controle e pinhão apresentaram valores de 90,20 e 52,71 para a variável  $L^*$  respectivamente esse primeiro tempo logo após a fabricação é o tempo 0. Para o controle o tempo 0 foi igual estatisticamente em relação ao tempo 1 ambiente e diferente em relação ao congelado e refrigerado. Para o filme pinhão resultados semelhantes quanto a estatística sendo igual ao tempo1 ambiente e diferente dos demais (pinhão refrigerado e congelado tempo1).

Em relação a variável luminosidade, a maior média para  $L^*$  foi para controle tempo 1 congelado 90,81. Todos os filmes controle em temperatura ambiente são iguais estatisticamente, entre si e entre os filmes controle congelados. E todos os controles refrigerados são semelhantes entre si e entre os demais controles. O controle refrigerado tempo 3 é uma exceção que apesar de se assemelhar apenas

com os controles refrigerados, ambiente tempo 5 e congelado tempo 4, ele diverge dos demais controles.

Essa diferença de média do filme controle tempo 4 congelado, para os demais pode se dar pelo fato da embalagem não possuir uma cor completamente homogênea, reduzindo assim o valor por uma possível leitura em uma mancha mais clara/transparente.

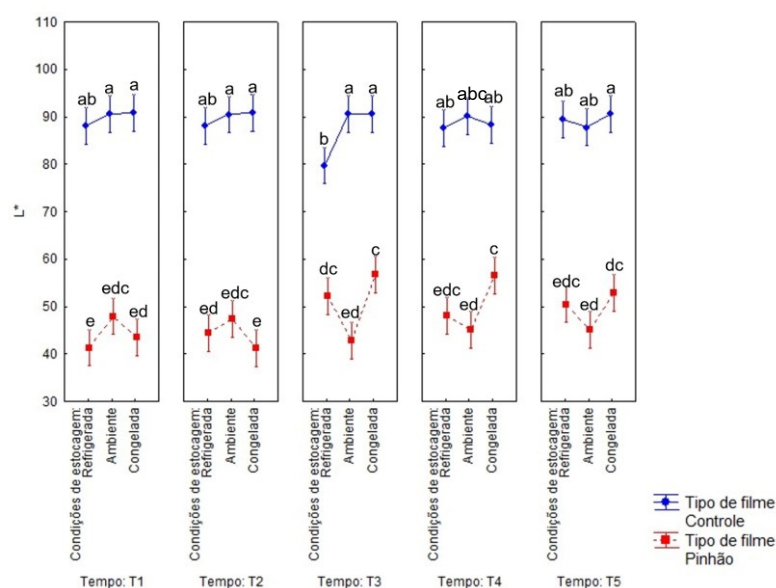
As embalagens biodegradáveis de pinhão armazenadas em temperatura ambiente foram estatisticamente iguais entre si, portanto o tempo para essa condição não teve influência. Contudo, o tempo e a temperatura influenciaram na luminosidade da embalagem biodegradável acrescida de corante natural do extrato da casca do pinhão para as condições congeladas e refrigeradas, havendo diferença significativa.

Os maiores valores de luminosidade para os filmes biodegradáveis contendo extrato da casca do pinhão foram para as amostras congeladas no tempo 3 obtendo o valor de 56,72; para o tempo 4 o valor de 56,59; não possuindo diferença significativa entre si; e para o tempo 5; 52,84 que teve diferença significativa estatisticamente em relação aos anteriores. Demonstrando assim que dos armazenamentos estudados para o filme contendo extrato da casca do pinhão é sugerido que o congelado induz uma redução da opacidade da embalagem ao longo do tempo, logo, ocorre o aumento do brilho. Porém, o menor valor de  $L^*$  também pertence ao pinhão congelado no tempo 1 obtendo o valor de 41,30.

Então, tanto os filmes controle (90,53 - 87,75) quanto os filmes contendo pinhão (47,95 - 42,78) ambos armazenados sob temperatura ambiente e também o controle congelado (90,81 - 90,61) foram estatisticamente semelhantes quanto ao variável  $L^*$ . O tempo, portanto, não influenciou essa variável. Pode-se sugerir então, uma estabilidade quanto à luminosidade à temperatura ambiente. Já o filme controle na temperatura refrigerada foi diferente estatisticamente assim como os filmes pinhão refrigerado e congelado. Portanto o tempo teve influência sobre esses filmes. Sugerindo menor estabilidade em comparação aos anteriores como é observado na figura 13. Silva *et al* (2019) encontrou valores semelhantes para a variável  $L^*$  entre 94.84 à 88.07 para filmes contendo entre 0,5 e 0,75% de extrato de pinhão (Figura 13).

O  $L^*$  representa também, o quanto os filmes são escuros. Portanto, o filme com extrato da casca de pinhão por possuir menor valor de  $L^*$  consequentemente, maior é sua opacidade ocasionando um maior bloqueio da passagem de UV e luz visível. O que se torna uma vantagem, considerando o armazenamento de alimentos que necessitam serem armazenados ao abrigo da luz (MENG *et al.*, 2020).

Figura 13 Resultados da colorimetria  $L^*$  dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



A variável  $a^*$  assim que as embalagens foram desenvolvidas apresentaram valores na ordem de 0,75 e 22,01 para os filmes controle e pinhão no tempo denominado 0. Sendo o filme controle tempo 0 estatisticamente diferente dos tempos 1 congelado, refrigerado e ambiente, com valor superior aos demais do controle. Por outro lado, para o filme pinhão tempo 0 a variável  $a^*$  foi estatisticamente igual ao tempo 1 ambiente, refrigerado e congelado.

O filme adicionado de extrato da casca do pinhão possui valores maiores para a variável  $a^*$ . Portanto, quanto maior o valor de  $a^*$  maior cromaticidade associada à coloração vermelha, presente no corante natural do pinhão. Os compostos fenólicos (como quercetina, ácido gálico, ácido vanílico, ácido benzóico, ácido siríngico, ácido m-cumárico e outros) estão associados a essa coloração avermelhada, proporcionando uma cor mais escura e uma maior opacidade aos filmes (ADELINA *et al.*, 2022).

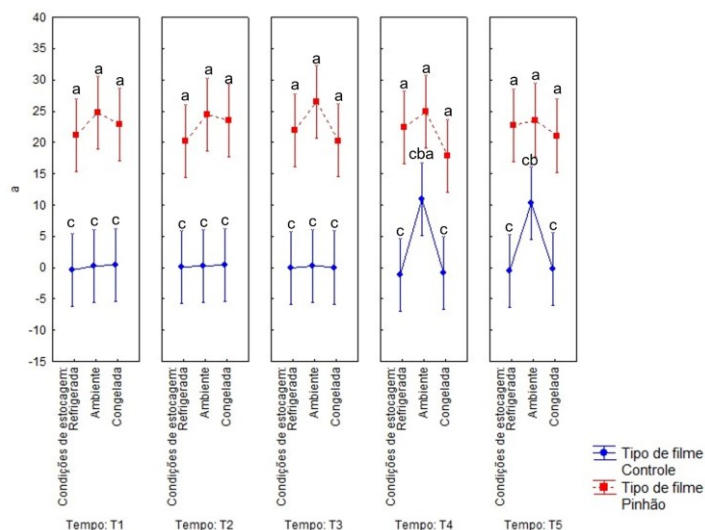


O filme controle ausente de corantes possui o valor de  $a^*$  negativo ou muito baixo. Os valores negativos para o parâmetro  $a^*$  apontam para a cor verde dos filmes. Assim sendo, o menor valor foi -1,19 para o controle congelado no tempo 4. De modo geral, a tendência do controle foi enquanto maior o tempo menor o valor.

Embora seja percebido um padrão para o filme controle, por sua vez o filme contendo pinhão não apresentou essa característica. O valor de  $a^*$  para os filmes contendo extrato da casca do pinhão oscilaram independente do tempo ou forma de armazenamento (Figura 14). É sugerido que a diferença da variável  $a^*$  para o filme pinhão variou de acordo com possíveis não homogeneidades no padrão de cor na embalagem e não necessariamente com o tempo de armazenamento.

Silva *et al* (2019) relataram valores entre 5,51 e 2,22 para a variável  $a^*$  encontrada no filme contendo extrato de pinhão à 0,5% e 0,75%. Já um estudo realizado por Costa *et al* (2022) mostra o comportamento relacionado aos valores de cor ( $L^*$  e  $a^*$ ), especificamente  $a^*$ , que indicou as menores perdas de cor nas amostras armazenadas em embalagem ativa refrigerada em comparação com o controle.

Figura 14 Resultados do chroma  $a^*$  dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



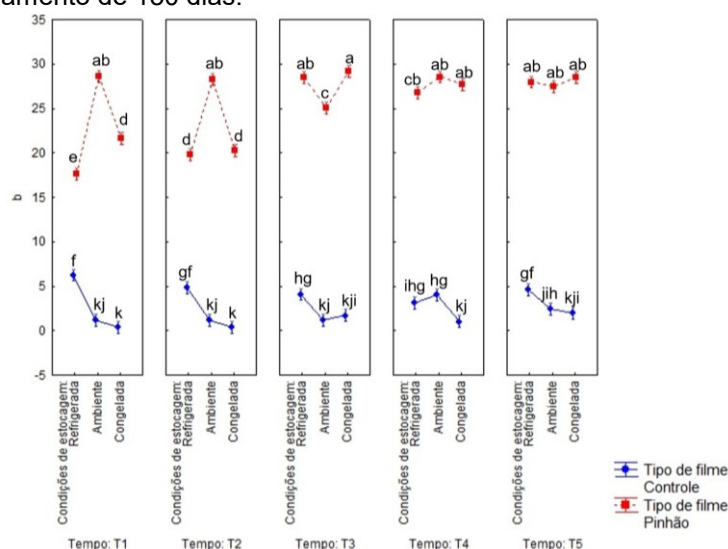
Inicialmente a variável  $b^*$  da colorimetria foi aferida logo após a produção dos filmes controle e pinhão, a esse tempo determinado como tempo 0 cujos valores foram de 1,24 e 28,87 para os filmes controle e pinhão respectivamente. O filme controle tempo 0 foi estatisticamente igual ao tempo 1 ambiente e diferente dos

demais. Já o filme pinhão tempo 0 foi estatisticamente diferente do filme pinhão tempo 1 refrigerado e igual aos filmes tempo 1 congelado e ambiente obtendo o mesmo comportamento que o filme controle.

Os filmes contendo extrato de pinhão apresentaram maiores valores de  $b^*$  sendo o maior valor de 29,22 para o tempo 3 armazenado sob congelamento e o menor valor de 17,67 para o tempo 1 refrigerado. Os maiores valores na análise de cor  $b^*$  indicam a incidência de cor amarela, possivelmente proveniente dos compostos fenólicos nos filmes contendo casca de pinhão (ADELINA *et al*, 2022). Estes valores elevados para a variável  $b^*$  do filme pinhão independem do tempo ou da condição de armazenamento. Os filmes contendo corante natural da casca do pinhão armazenados em temperatura ambiente possuem maior semelhança estatística entre si comparando aos demais armazenamentos. Portanto sugere-se maior estabilidade sob essa condição.

Quanto menor o valor para  $b^*$  maior associado a cromaticidade relacionada ao azul, sendo que os filmes controle possuem valores entre 6,27 para controle refrigerado no tempo 1 e 0,37 para controle congelado no tempo 1 e 2 (Figura 15). Para o filme controle avaliando o parâmetro  $b^*$  o armazenamento refrigerado mostrou valores mais elevados a partir de 3,08 à 6,27 enquanto os filmes congelados obtiveram menor valor de 1,97 à 0,37.

Figura 15 - Resultados do chroma  $b^*$  dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



Logo após a obtenção no tempo 0 foi medido a variável  $c^*$  encontrando o valor de 1,32 para o filme controle e 36,11 para o filme contendo extrato da casca do

pinhão. O filme controle foi estatisticamente igual ao filme tempo 1 ambiente e diferente do tempo 1 congelado e refrigerado. O filme contendo pinhão no tempo 0 foi estatisticamente diferente do tempo 1 nas três condições de armazenamento.

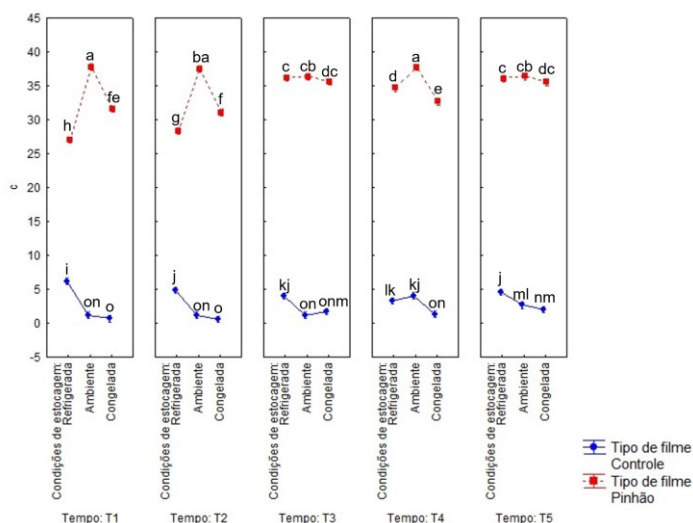
A variável  $c^*$  representa a saturação, valores mais altos indicam maior saturação, valores baixos menor saturação, que também indica a pureza da cor, em sua intensidade máxima, as cores são ditas puras, e intensidade é o que determina as cores mais claras ou escuras. Os filmes foram avaliados por 150 dias em três temperaturas diferentes, sendo que a temperatura ambiente para o controle obteve valores de saturação entre 1,22 à 4,08 já para o filme contendo extrato da casca do pinhão os valores foram entre 36,37 à 37,78.

A saturação elevada para o filme pinhão está ligada diretamente à concentração do corante natural da casca de pinhão, representando a intensidade da cor. A temperatura ambiente obteve a maior estabilidade entre os tipos de filmes pinhão e controle.

A condição de congelamento foi estável para o controle, pois os filmes submetidos ao congelamento foram aqueles com menor saturação global 0,58, valor esse que pertence ao controle tempo 2. Já o filme pinhão sob a mesma condição possui valores entre 31,09 e 35,61. Os filmes refrigerados controle e pinhão obtiveram valores entre 3,31 à 6,18 e 27,01 à 36,17 respectivamente sendo a temperatura refrigerada obtendo a maior saturação para os filmes controles consequentemente as temperaturas congelada e ambiente obtiveram os menores valores de saturação. Para o filme pinhão os maiores valores foram principalmente para temperatura ambiente, independente do tempo de acordo com a Figura 16.

Tendo em vista que a saturação mais elevada foi para os filmes contendo pinhão em condição de armazenamento sob temperatura ambiente, sugere-se que a umidade pode ter sido um fator que tenha diminuído a saturação dos filmes contendo extrato liofilizado da casca do pinhão.

Figura 16 - Resultados da colorimetria  $c^*$  dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



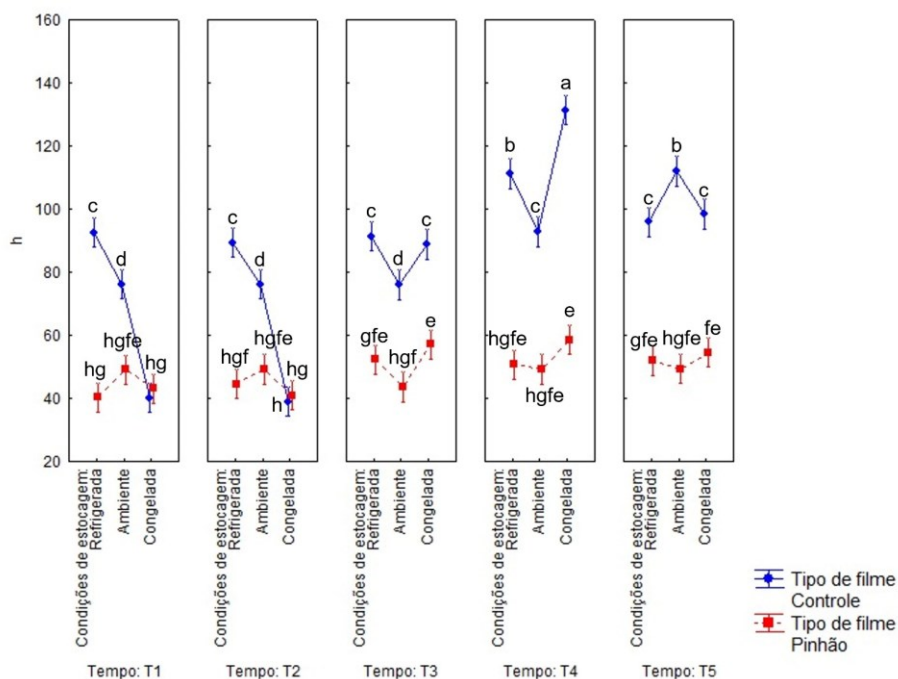
A variável h indica o ângulo da tonalidade (ângulo hue). Portanto, logo após a elaboração das embalagens no tempo 0, o ângulo da tonalidade para o filme controle foi de 52,45 e para o filme contendo extrato da casca do pinhão foi de 53,45. Esses valores indicam que o ângulo de cor está entre a coloração vermelha (ângulo 0°) e a coloração amarela (ângulo 90°). O filme controle foi estatisticamente igual ao filme tempo 1 armazenado sob congelamento e diferente do filme controle tempo 1 ambiente e refrigerado. O filme pinhão tempo 0 foi estatisticamente igual ao filme pinhão tempo 1 ambiente e diferente do filme pinhão tempo 1 congelado e refrigerado.

Essa variável foi aferida ao longo do tempo (150 dias) para três temperaturas de armazenamentos distintas: Temperatura ambiente, congelada e refrigerada. Os valores encontrados para o filme controle congelado foram entre 38,95 e 131,34, obtendo assim a maior diferença significativa entre os tempos. Os filmes controle refrigerado por sua vez foram iguais estatisticamente obtendo valores entre 89,37 e 111,19. Já os filmes controle armazenados sob temperatura ambiente o tempo 5 teve diferença significativa com os demais obtendo valor de 112,06, para os tempos 1, 2, 3 e 4 pode-se afirmar que foram iguais estatisticamente obtendo valores 76,16; 76,16; 76,06; 92,81 respectivamente.

Para os filmes contendo o extrato liofilizado da casca do pinhão armazenados sob temperatura ambiente com os valores entre 43,61 e 49,31 pode-se afirmar que os valores são iguais estatisticamente. Para os filmes pinhão refrigerados os valores do ângulo da tonalidade foram entre 40,27 e 52,33 o tempo 1

e 2 foram estatisticamente iguais entre si e obtiveram diferença significativa quanto ao tempo 3, 4 e 5 sendo esses últimos também estatisticamente semelhantes entre si. Para os filmes pinhão congelados os valores obtidos foram entre 40,90 e 58,59 observados na Figura 17.

Figura 17 - Resultados da colorimetria  $h^*$  dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



Silva *et al* (2019) ao adicionar o extrato de casca de amendoim em filmes biodegradáveis, levou a diminuição significativa do valor  $L^*$  (luminosidade), indicando uma coloração mais escura do filme. Além disso, o valor  $b^*$  (componente de cor amarelo/azul) e a opacidade aumentaram, resultando em um filme mais amarelo e menos translúcido. Resultados estes semelhantes ao presente estudo.

Delta E é uma medida da diferença de cor entre duas amostras. No presente estudo essa medida quantitativa da mudança de cor foi usada para avaliar a estabilidade de cor dos filmes durante o armazenamento. Não há um limite universalmente aceito para um valor aceitável de Delta E. Mas a partir de 3,0 essa diferença é visível ao olho humano. O valor aceitável de Delta E pode variar dependendo do produto e do objetivo da avaliação da cor. Em geral, quanto menor o valor de Delta E, menor a diferença de cor entre as amostras e, portanto, maior a estabilidade de cor (HENRIOT *et al.*, 2020).

Depois de padronizados os espaços de cores foi possível quantificar a diferença entre duas amostras de cores. Os valores de  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  e  $\Delta b$  (Apêndice 04) são significativamente distintos entre filmes controle e contendo pinhão.

Ao Avaliar e comparar as cores das embalagens biodegradáveis, utilizando o colorímetro, concluí-se que através dos resultados de  $L^* a^* b^*$  pode-se calcular precisamente as diferenças existentes entre as cores. Onde os valores de  $\Delta E$  para o filme controle no acondicionamento em temperatura ambiente não apresentou diferença de cor visível a olho nu comparando os tempos 1, 2 e 3 entre si. A partir do tempo 4 houve diferença de cor visível.

A menor diferença de cor para o tipo de filme controle foi o armazenamento congelado onde os valores de  $\Delta E$  foram inferiores à 3,0 portanto as diferenças entre os tempos 1 à 5 para essa condição não possuem diferença de cor visível, isso sugere uma estabilidade no sentido de baixa variação de cor durante 150 dias sob congelamento.

Os filmes contendo extrato de pinhão tiveram como menor valor a variação do tempo 0 e refrigerado tempo 3 sendo o valor 0,65 seguido do tempo 5 congelado com o tempo 3 refrigerado (1,12) e tempo 3 refrigerado com o tempo 5 refrigerado (1,92) o valor de 0,66 em temperatura ambiente e como maior valor de variação do filme refrigerado tempo 1 e congelado tempo 3 o valor de 19,26. Em comparação com o controle a variação foi menor entre as amostras. Diferente do controle o filme pinhão obteve variações elevadas no armazenamento congelado. O filme pinhão congelado tempo 4 obteve a maior quantidade de variação entre tempo 1 ambiente (11,07) tempo 3 ambiente (16,53) tempo 4 ambiente (13,56) tempo 5 ambiente (12,9) tempo 1 e tempo 2 congelado (15,31 e 17,72). Uma menor variação foi observada na temperatura ambiente.

Silva *et al* (2019) também observaram um aumento na variação de cor ( $\Delta E^*$ ) nos filmes contendo o extrato em comparação com o filme de controle. Isso resultou em um aumento na escuridão dos filmes, característica conferida pelo conteúdo de extrato de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Além disso, foi detectado um aumento na opacidade dos filmes, o que corrobora os resultados dos parâmetros de cor do presente estudo. Essas alterações na cor e opacidade dos filmes podem ser

vantajosas, pois filmes mais opacos têm a capacidade de proteger mais efetivamente os alimentos contra a luz, prevenindo a oxidação.

Apesar do presente estudo mostrar grandes mudanças de coloração com a incorporação do extrato ao filme, nem todos os extratos alteram esse parâmetro. Jamróz, Juszczak, e Kucharek, (2018) estudaram que a adição de óleo essencial de lavanda não afetou significativamente os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) do filme. Os valores calculados da diferença total de cor ( $\Delta E$ ) também indicam falta de efeito visual ( $\Delta E < 1$ ).

#### 5.1.1.5 PADRÃO DE CORES RGB

RGB é um modelo de cores aditivas usado para representar cores em dispositivos eletrônicos. Nesse modelo, as cores são criadas pela combinação de diferentes intensidades de luz vermelha, verde e azul. A combinação dessas três cores primárias pode criar uma ampla gama de cores visíveis. Esse sistema também considera que o preto é a ausência de cor e o branco representa os valores máximos dessas cores. Dessa forma, valores iguais correspondem a uma cor em escala de cinza. (FOCA *et al* 2011).

No presente estudo, as imagens RGB são usadas para quantificar propriedades relacionadas à cor das embalagens biodegradáveis que podem ser usadas para prever características sensoriais e composicionais das embalagens. O intuito do RGB é detectar diferenças mínimas de cores, detectando uma mudança na cor da escala de cinza desde a fabricação e ao longo do tempo de armazenamento 150 dias, nas diferentes condições de estocagem congelada ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) refrigerada ( $4^{\circ}\text{C}$ ) e temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ).

Além do vermelho (Red), verde (Green) e o azul (Blue), que formam o padrão de cor RGB. Em imagens digitais quando é citado a cor, ela também é definida como um intervalo de números do preto, branco ou tons de cinza. Além de representar as cores citadas vermelho, verde e azul também é possível medir a escala de cinzas onde, 0 significa preto, 255 significa branco. No intervalo, todos os outros números representam tom de cinza que variam do preto ao branco.

Após a elaboração das embalagens os valores para R foram aferidos obtendo resultado de 195,72 para o filme controle e 89,26 para o filme pinhão. O filme

controle no tempo 0 foi igual estatisticamente aos filmes tempo 1 nas três condições de armazenamento. O filme contendo pinhão no tempo 0 foi o menor valor comparando com todos os filmes no tempo 1, portanto, estatisticamente diferente de todos.

O R que representa a cor vermelha, e também a escala de cinzas obteve valor de 201,20 sendo esse o maior valor para controle congelado tempo 3 e o menor valor foi tempo 2 controle refrigerado 164,67. Uma vez que quanto mais próximo de 255 a cor se aproxima do branco puro, portanto, esses resultados indicam uma coloração clara dos filmes controles, considerando o fato de não serem adicionados de corantes. Os valores para embalagem contendo pinhão foram 130,54 para o maior valor enquanto o menor valor foi 77,12 para ambiente tempo 5. Portanto quando os valores de R são menores, estando próximo a zero mais escuro é a coloração, mais se aproxima do preto. No geral, amostras controle foram maiores, independente do tempo e da condição de armazenamento, quando comparadas as de pinhão (Figura 18).

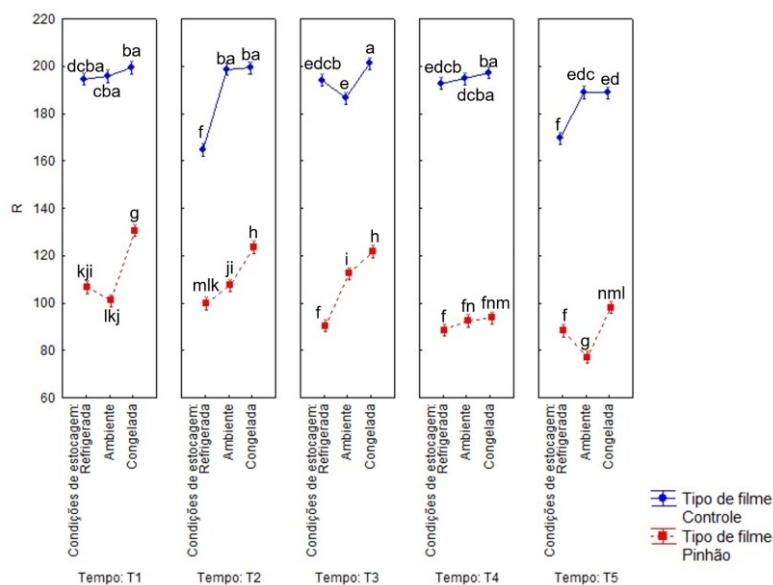
A cor vermelha foi diminuindo ao longo do tempo de armazenamento de 150 dias. Pois enquanto mais próximo de 255 mais próximo de branco e quanto mais próximo de 0 mais próximo do preto. Portanto, logo após a fabricação o valor para R foi 89,26 valor que representa o filme mais escuro comparando o valor após 30 dias e até 150 dias de fabricação onde os valores variaram de 88,62 à 106,74 sob condição refrigerada (4°C). O acondicionamento das embalagens sob condição de congelamento (-18°C) sugerindo a perda de cor das embalagens com maior intensidade obtendo valores entre 93,68 - 130,55 ao longo dos 150 dias de armazenamento. Por fim, sob condição ambiente à 25°C a coloração variou entre 77,12 à 101,02 ao longo dos 150 dias. Contudo, as condições refrigeradas e ambiente são sugestivas de menor degradação de cor em relação ao congelamento.

Corrêa *et al* (2023) desenvolveram filmes coloridos adicionados de corantes naturais comumente utilizados na indústria de alimentos. Os corantes páprica, urucum, mostarda e cúrcuma demonstraram capacidade em colorir o bioplástico nas diferentes concentrações testadas: 0,05g, 0,10, 0,15g, 0,20g, 0,25g. Para a variável R os corantes com resultados próximos ao resultado máximo do pinhão



foram: páprica R:219 (0,15g) o urucum R:223 (0,25g), mostarda R:229 (0,25g) cúrcuma R:200 (0,25g).

Figura 18 Resultados do padrão RGB R dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



Quanto a variável G (green) que além de representar o verde, mostra resultados da escala de cinzas, o filme controle logo após sua obtenção obteve valor de 192,7 estando mais próximo à 255 (próximo do branco puro). O filme controle do tempo 0 obteve valor estatisticamente igual ao tempo 1 nas diferentes temperaturas de estocagem: congelada, refrigerada e ambiente. Para o filme contendo extrato da casca de pinhão o valor para t0 foi de 54,0 sendo esse valor estatisticamente igual ao tempo 1 sob condição de armazenamento em temperatura ambiente e distinto dos controles refrigerado e congelado.

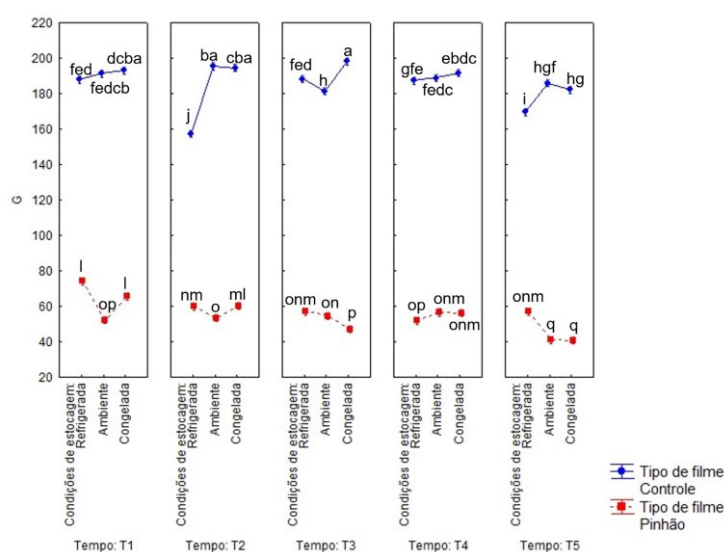
Para as embalagens de pinhão o maior e menor valor foram respectivamente 74,23; 40,71 para o filme refrigerado tempo 1 e congelado tempo 5. As amostras do filme pinhão nos tempos 5 congelada e ambiente foram as menores no geral. Sugerindo perda do tom verde ao longo do tempo.

Para embalagens controle, o armazenamento congelado tempo 3 e refrigerado tempo 2 que possuem valores maior e menor respectivamente foram: 198,17; 157,28 (Figura 19). As amostras controle independente do tempo e condição de armazenamento, obtiveram valores maiores da variável G do que as amostras do filme pinhão, esses resultados ocorreram devido a coloração do filme controle ser

mais próxima do branco puro na escala de cinzas do que o a coloração do filme pinhão.

Corrêa e colaboradores (2023), ao estudarem corantes naturais encontraram os seguintes valores para a variável G nas diferentes concentrações de corante: páprica 122 (0,05g), urucum 116 (0,10g) mostarda 209 para (0,25g) cúrcuma 122 (0,25g). Esses valores são superiores aos encontrados no filme contendo extrato de pinhão no presente estudo cujo valor máximo foi de 74,23.

Figura 19 Resultados do padrão RGB G dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



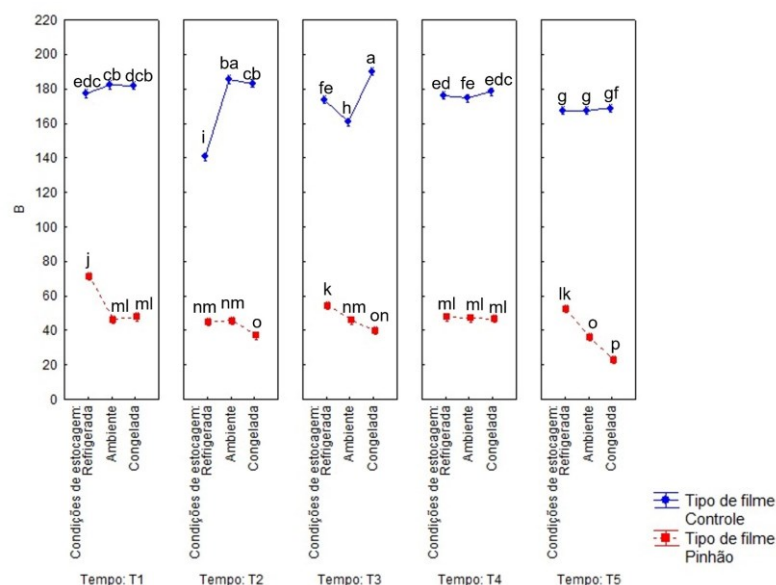
Para o tempo 0 do filme controle o valor obtido para a variável B foi de 184,90, sendo quanto mais próximo de 255 mais próximo do branco puro, esse valor por sua vez é estatisticamente igual ao tempo 1 congelado e diferente do tempo 1 ambiente e refrigerado. O tempo 0 do filme contendo pinhão foi estatisticamente igual o tempo 1 ambiente e diferente do tempo 1 refrigerado e congelado.

A variável B representa a posição da cor ao longo do eixo azul-amarelo. Valores próximos a zero indicam cores claras, enquanto valores intermediários indicam cores acinzentadas (FAY, WU, 2024). Para o parâmetro B, o qual refere-se à coloração azul as amostras de filme controle são maiores que as do filme contendo pinhão, com condições e tempos variáveis. Portanto, para o pinhão a amostra refrigerada tempo 1 foi o maior valor enquanto a congelada tempo 5 foi o menor valor global. Para o controle o maior e menor valor foram tempo 3 congelada 190,02 e tempo 2 refrigerada 71,41 (Figura 20). Contudo, o controle congelado

tempo 3 é o detentor da maior cromaticidade azul. Tendo em vista que enquanto mais próximo do branco os valores aproximam-se de 255.

Estudo sobre os corantes naturais incorporados nos filmes biodegradáveis realizado por Corrêa e colaboradores (2023), possuem resultados para variável B do corante de cúrcuma o valor de 66 (0,10g) para mostarda 156 (0,05g) e para urucum 78 (0,10g).

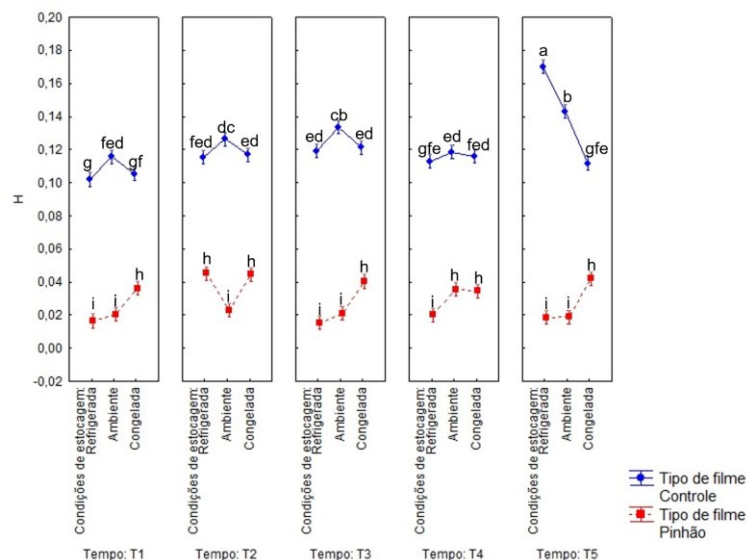
Figura 20 - Resultados do padrão RGB B dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



O comprimento de onda H define a tonalidade de uma área, por ser o comprimento de onda de uma cor, por exemplo: vermelho, azul, verde. Portanto, o tempo 0 para filme controle obteve o valor de 0,12 sendo estatisticamente igual ao filme controle tempo 1 ambiente e diferente estatisticamente do filme controle congelado e refrigerado. Por sua vez o filme contendo extrato liofilizado da casca do pinhão obteve o valor de 0,01 mostrando-se estatisticamente igual ao filme pinhão tempo 1 ambiente e refrigerado e diferente estatisticamente do filme pinhão congelado.

Em geral, os filmes controle, com tempo e condições variadas, são superiores aos do pinhão no parâmetro H. Característica essa que possui o controle refrigerado tempo 5 como o maior valor entre todos 0,17. Sendo o refrigerado tempo 1 o valor de 0,10 o menor entre os controles. Para as embalagens apresentando pinhão o maior valor foi o refrigerado tempo 20,04 já o menor foi o refrigerado 0,01 (Figura 21) que também foi o menor valor global.

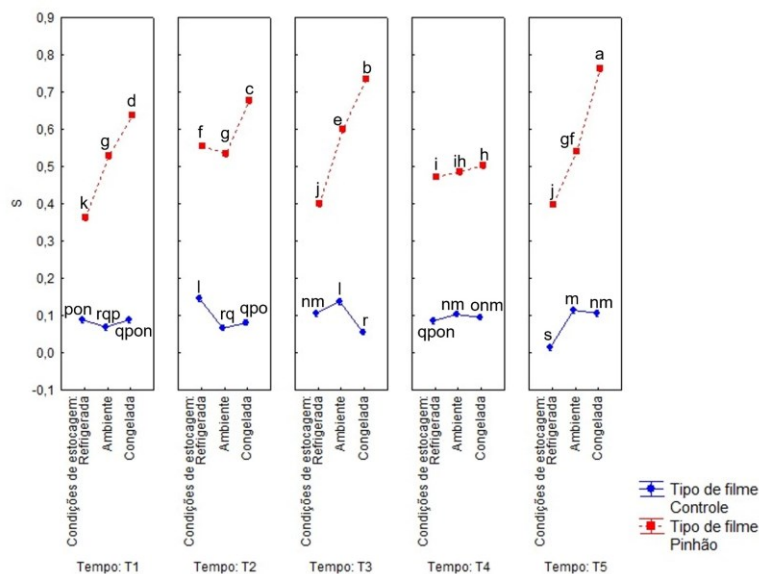
Figura 21 - Resultados do padrão RGB H dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



O parâmetro S (saturação) é a “pureza” da cor, no sentido da quantidade de luz branca misturada com a matriz. Portanto, o tempo 0 para filme controle obteve o valor para variável S de 0,05 sendo estatisticamente igual ao filme controle tempo 1 ambiente e diferente estatisticamente do filme controle congelado e refrigerado. Por sua vez o filme contendo extrato liofilizado da casca do pinhão obteve o valor de 0,01 mostrando-se estatisticamente igual ao filme pinhão tempo 1 ambiente e refrigerado e diferente estatisticamente do filme pinhão congelado.

As amostras do filme pinhão obtiveram valores significativos maiores do que as do controle, majoritariamente nas condições congeladas, independentes do tempo. Sendo o maior valor global o pinhão congelado no tempo 5 cujo valor foi 0,76. O menor valor para o pinhão foi de 0,36 para o tempo 1 congelado. O controle tempo 2 refrigerado atingiu valor de 0,14 que foi o maior para esse tipo de filme, enquanto o controle congelado tempo 5 foi o menor valor com 0,01 (Figura 22).

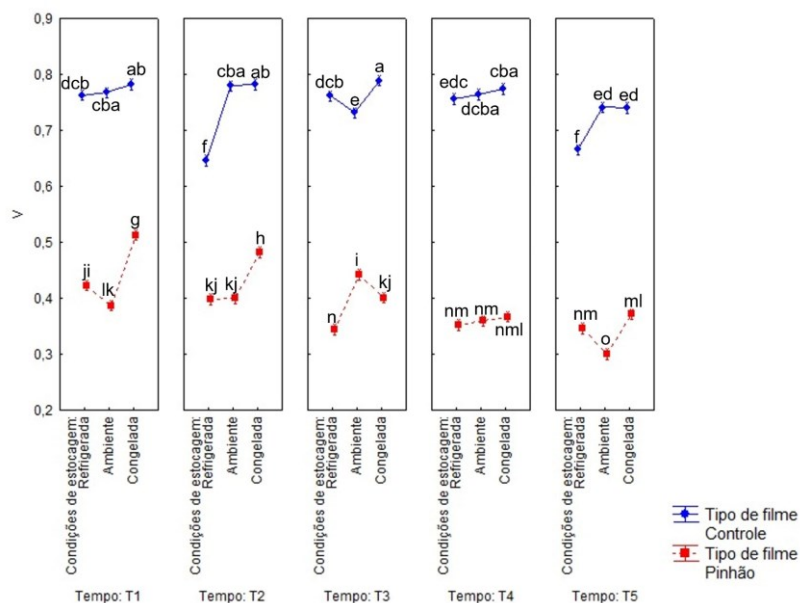
Figura 22 - Resultados parâmetro s do padrão RGB s dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



O parâmetro V (valor) é o brilho da cor, sendo que o tempo 0 para filme controle obteve o valor de 0,77 sendo estatisticamente igual a todos os filmes controle, o tempo 1 ambiente, congelado e refrigerado. De maneira oposta, o filme contendo extrato liofilizado da casca do pinhão obteve o valor de 0,35 mostrando-se estatisticamente diferente de todos os filmes pinhão no tempo 1, sendo eles congelado, refrigerado e temperatura ambiente.

As amostras dos filmes controle contêm valores significativos maiores que as de amostras do filme contendo pinhão, majoritariamente maiores para congelada e ambiente para controle, com variação em relação ao tempo. Logo, o controle congelado tempo 3 obteve o maior valor global de 0,78 já o menor valor para esse filme foi de 0,64 para tempo 2 congelado. O filme de pinhão congelado tempo 2 obteve o valor de 0,48 como maior valor e pinhão ambiente tempo 5 como menor valor 0,29 (Figura 23).

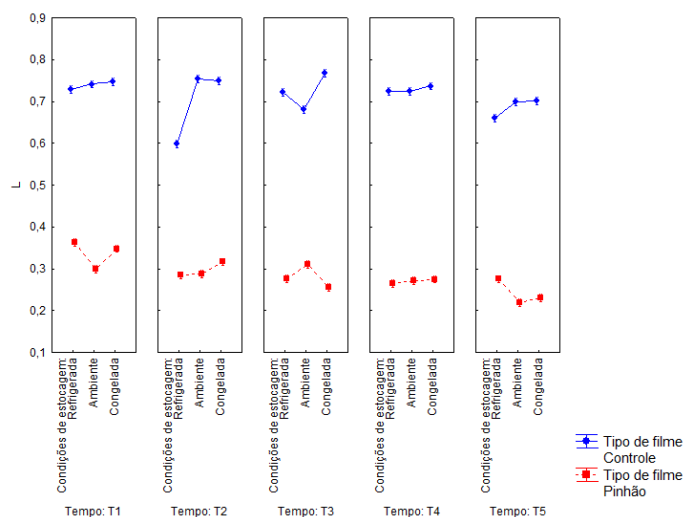
Figura 23 - Resultados do padrão RGB v dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



Logo após a fabricação dos filmes no tempo 0 o filme controle apresentou para a variável L o valor de 0,75 sendo estatisticamente igual o tempo 1 dos controles congelado, refrigerado e ambiente. Ao contrário os filmes contendo pinhão obtiveram valores de 0,26 sendo estatisticamente diferentes dos filmes no tempo 1 ambiente, refrigerado e congelado.

Para o parâmetro L do padrão RGB os maiores valores para o filme controle, são majoritariamente na condição de congelamento em relação as do pinhão. O valor inferior global foi 0,29 para o pinhão ambiente no tempo 5. Enquanto o maior valor para os filmes de pinhão foi o armazenamento congelado no tempo 1 obtendo o valor de 0,51. Para os filmes controle o maior valor pertenceu ao tempo 3 congelado o qual obteve valor de obteve valor de 0,78. Contudo, o filme controle detentor do menor valor é a embalagem refrigerada no tempo 2 obtendo valor de 0,64 (Figura 23).

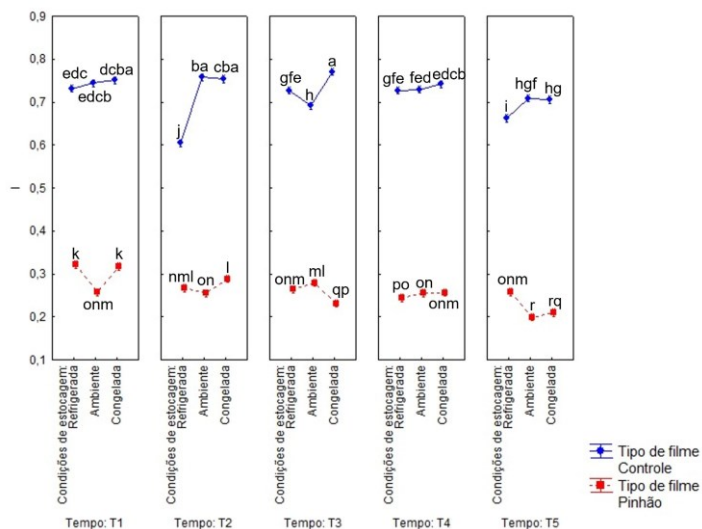
Figura 24 Resultados do padrão RGB L dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



Para o parâmetro I (escalas de cinzas) no tempo 0 o filme controle apresentou 0,75 sendo esse valor estatisticamente igual aos valores do tempo 1 congelado, refrigerado e ambiente. Para o filme contendo pinhão o valor foi de 0,25 sendo estatisticamente igual ao filme pinhão tempo 1 ambiente, e diferente dos filmes pinhão tempo 1 refrigerado e congelado.

As amostras do filme controle foram maiores significativamente em relação às do pinhão, majoritariamente na condição de congelamento, por possuir coloração mais clara. O maior valor global é de 0,77 para o controle congelado tempo 3. O menor valor foi obtido pelo controle tempo 2, refrigerado cujos valores apresentados foram de 0,60. Os resultados para o filme pinhão refrigerado tempo 1 foram os maiores 0,32 e os menores para tempo 5 ambiente 0,19 o que significa a coloração mais escura (Figura 25).

Figura 25 Resultados do padrão RGB I dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



## 5.1.7 PROPRIEDADES BIOATIVAS DAS EMBALAGENS

### 5.1.7.1 Potencial antioxidante das embalagens

#### 5.1.7.2 Atividade Antioxidante pelo método de Captura de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

Ao avaliar o potencial antioxidante dos filmes nas diferentes condições de armazenamento, é possível observar que o filme controle – sem a presença de extrato de casca de pinhão, não apresentou atividade antioxidante por meio da análise realizada nesse estudo. Já o corante derivado do extrato hidro alcoólico da farinha da casca do pinhão liofilizado apresentou maior teor de antioxidantes do que o corante na embalagem. A quantificação do teor de antioxidantes no corante da casca do pinhão obteve resultado de 237,60  $\mu\text{mol Trolox/g}$  para DPPH e para FC 396,54  $\mu\text{mol EAG/g}$  amostra demonstrando o alto potencial deste extrato como possível antioxidante natural para embalagens biodegradáveis.

De modo geral, os valores obtidos de atividade antioxidante nos filmes apresentaram variação entre 3804,49 à 1443,01  $\mu\text{mol EAG/g}$  para FC e entre 4,11 à 3,73  $\mu\text{mol Trolox/g}$  para DPPH, sendo, portanto, menores quando comparados aos valores do extrato não incorporado nos filmes.

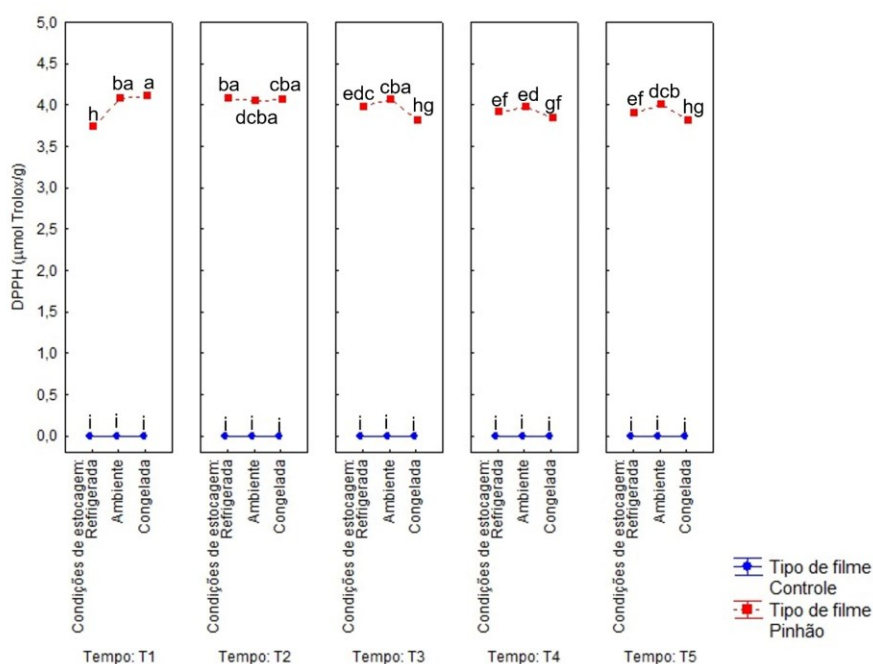
De fato, ao incorporar o extrato na embalagem ela é submetida a altas temperaturas de até 120°C. Isso pode ser um dos motivos da redução do valor de



antioxidantes ao ser quantificado nos filmes. Pois, Wanderley *et al* 2023 relatam volatilização de ingredientes ativos afetadas pela combinação tempo/temperatura (60°C) do processo para secagem de farinha da casca de romã. Para solucionar essa problemática Aliabbasi, Djomeh, Amighi (2021) sugerem que a nanoencapsulação de ingredientes em embalagens ativas podem proteger os ativos contra processamento e condições ambientais desfavoráveis, e sua liberação controlada pode ser alcançada ao longo do tempo.

A menor queda de valores de antioxidantes para a metodologia DPPH em relação ao tempo foi para o armazenamento à temperatura ambiente sendo a variação entre 4,08 e 4,00  $\mu\text{mol Trolox/g}$  para o tempo 1 e o tempo 5 respectivamente. Enquanto a maior variação quanto ao tempo foi para o armazenamento sob congelamento onde o tempo 1 apresentou 4,11 e tempo 5 3,80  $\mu\text{mol Trolox/g}$ . Percebendo assim, uma diminuição do potencial antioxidante ao longo do tempo. Os valores de DPPH para embalagens contendo pinhão estão demonstrados na Figura 25.

Figura 26 Resultados DPPH dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



O filme contendo extrato da casca do pinhão armazenado sob congelamento durante o tempo 1 foi o maior valor encontrado para DPPH 4,11  $\mu\text{mol Trolox/g}$ . O pinhão refrigerado tempo 1 foi o menor valor encontrado para o DPPH 3,73  $\mu\text{mol Trolox/g}$ .

O filme contendo extrato da casca do pinhão armazenado sob condição de temperatura ambiente durante o tempo 1 e o filme do pinhão refrigerado tempo 2 são similares estatisticamente com o filme pinhão congelado tempo 1 e 2 e o filme pinhão ambiente tempo 3. O filme contendo extrato da casca do pinhão em temperatura ambiente e congelado no tempo 3 e 2 respectivamente são semelhantes à todos os filmes de pinhão já citados e adicionalmente semelhante aos filmes pinhão refrigerado tempos 3, ambiente tempo 5 e ambiente tempo 2. O filme do extrato da casca de pinhão armazenado sob condição de temperatura ambiente no tempo dois é igual a todos os citados anteriormente e também similar ao filme pinhão ambiente tempo 4, 5 e ao filme pinhão refrigerado tempo 3. Já o filme pinhão ambiente tempo 4 é semelhante ao filme pinhão refrigerado tempo 3, tempo 4 e tempo 5.

Nota-se portanto, que não há um padrão quanto ao tempo ou o quanto a temperatura de armazenamento, porém nota-se que o filme pinhão armazenado em temperatura ambiente apresentou melhor desempenho médio com valores de DPPH entre 4,08  $\mu\text{mol Trolox/g}$  e 3,97  $\mu\text{mol Trolox/g}$ , apesar do maior valor global pertencer ao tempo 1 do controle congelado 4,11  $\mu\text{mol Trolox/g}$ . De modo geral as concentrações de antioxidantes tenderam a diminuir ao longo do tempo.

As condições de armazenamento podem influenciar na atividade antioxidante dos filmes. A eficácia do antioxidante pode ser afetada por fatores como temperatura, umidade, luz e oxigênio. Por exemplo, a exposição à luz e ao oxigênio pode levar à degradação do antioxidante e, conseqüentemente, à diminuição da atividade antioxidante. Além disso, a temperatura e a umidade podem afetar a estabilidade (SAHRAEE *et al.*, 2019; ; FLÓREZ, CZÓN, VÁZQUEZ., 2023)

Silva *et al* 2019 ao realizar o método DPPH encontrou 236,96  $\mu\text{mol}$  por 100 g de filme para o filme de pinhão (0,5% de extrato) e 331,87  $\mu\text{mol}$  por 100 g de filme para (0,75% de extrato).

### 5.1.7.3 Fenólicos Totais: Método Folin-Ciocalteu (ensaio F-C)

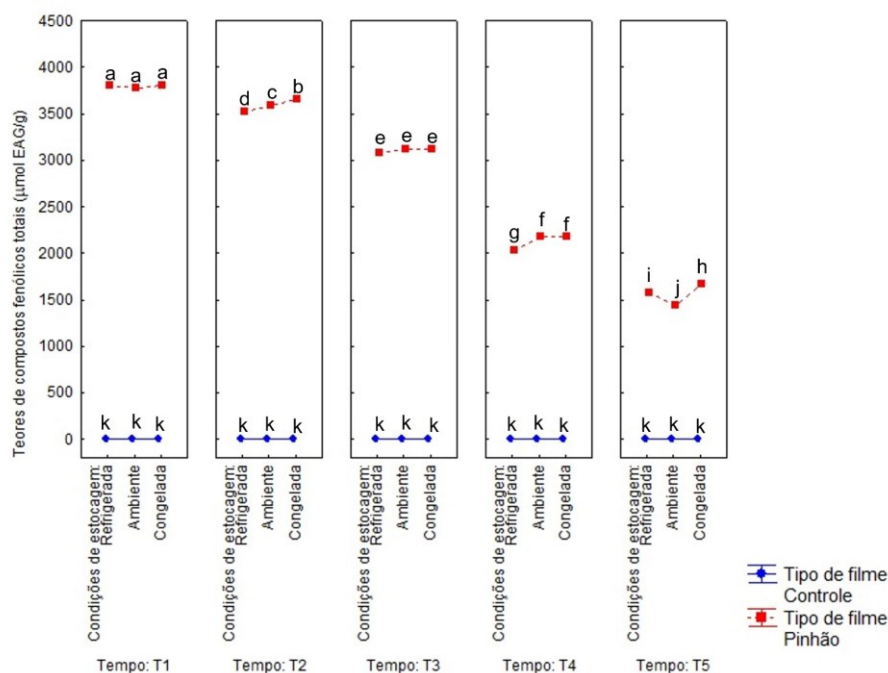
Os resultados de FC para o controle em suas variáveis de tempo e condições de estocagem foram também menores que todas as variáveis de tratamento do filme pinhão. O pinhão armazenado sob condição refrigerada obteve maiores valores possuindo o maior valor de 3804,50  $\mu\text{mol EAG/g}$ . Em geral, os valores apresentaram variação entre 3804,49 e 1443,01  $\mu\text{mol EAG/g}$ . Mostrando a redução dos compostos antioxidantes ao longo do tempo. É possível que a diminuição da atividade antioxidante ao longo do tempo possa estar relacionada a vários fatores, como a degradação do antioxidante, a interação com outros componentes do filme, a exposição à luz e ao oxigênio, entre outros (FLOREZ, CAZON, VAZQUEZ., 2023; FARHAN, HANI., 2020).

O filme com extrato da casca de pinhão armazenado sob temperatura congelada ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) obteve valores de FC entre 3800,75 e 1667,70  $\mu\text{mol EAG/g}$  para os tempos 1 e 5 respectivamente. Os menores valores foram para as embalagens submetidas à temperatura ambiente onde os valores de FC variaram de 3770,35 a 1443,01  $\mu\text{mol EAG/g}$  para os tempos 1 e 5 respectivamente.

As embalagens contendo extrato do pinhão sob as três temperaturas diferentes de armazenamentos no tempo 1 foram estatisticamente iguais sendo os três maiores valores: refrigerada 3804,49  $\mu\text{mol EAG/g}$ ; congelada 3800,70  $\mu\text{mol EAG/g}$ ; e ambiente 3770,35. Já no tempo 2 os filmes congelado 3652,36; ambiente 3585,43  $\mu\text{mol EAG/g}$ ; e refrigerado 3521,17  $\mu\text{mol EAG/g}$ , foram diferentes estatisticamente assim como no tempo 5. O tempo 3 por sua vez obteve valores estatisticamente iguais: congelado 3120,48  $\mu\text{mol EAG/g}$ ; ambiente 3114,16  $\mu\text{mol EAG/g}$ ; e refrigerado 3083,08  $\mu\text{mol EAG/g}$ . Por fim, no tempo 4 os valores das embalagens congelada 2184,34  $\mu\text{mol EAG/g}$  e ambiente 2181,38  $\mu\text{mol EAG/g}$  são estatisticamente iguais, enquanto o valor da embalagem refrigerada 2026,81  $\mu\text{mol EAG/g}$  no tempo 4 é diferente dos demais.

As embalagens contendo extrato da casca de pinhão submetidas ao congelamento obtiveram os maiores valores para o tempo 2, tempo 3, tempo 4 e tempo 5. Somente para o tempo 1 a embalagem refrigerada mostra valores superiores (Figura 27).

Figura 27 Resultados FC dos filmes contendo casca de pinhão e filme controle durante o armazenamento de 150 dias.



Portanto, o tempo pode afetar a concentração de compostos fenólicos (PRASNIEWSKIA *et al* 2021) e, conseqüentemente, a capacidade antioxidante das embalagens independente da temperatura de armazenamento. Apesar de a embalagem refrigerada possuir o maior valor global no tempo 1 nos demais tempos a embalagem congelada detém valores maiores de antioxidantes pelo método FC. Contudo, esses resultados demonstram que o extrato incorporado aos filmes biodegradáveis possui potencial antioxidante promissor.

De acordo com o Florez, Cazon, Vazquez (2023), a incorporação do extrato de urtiga permitiu obter filmes de quitosana com propriedades antioxidantes, incluindo um teor fenólico total de até 1,57 mg GAE/g de filme. Portanto, a adição de extrato de urtiga melhorou as propriedades antioxidantes dos filmes de quitosana. Assim como no presente estudo o pinhão melhorou essa propriedade.

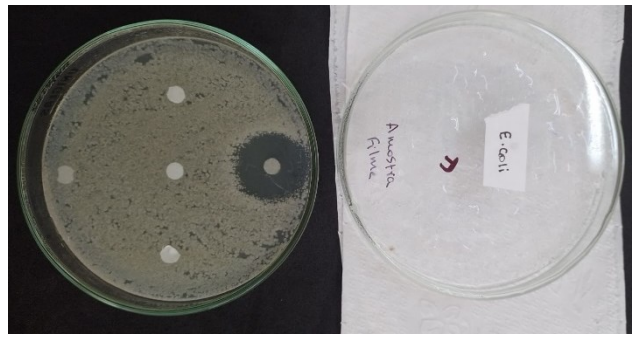
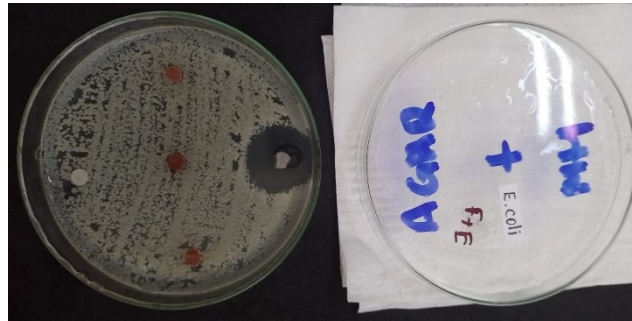
Silva *et al* 2019 estudaram o extrato de pele de amendoim que apresentou uma quantidade de fenólicos totais de 3,62 mg/g, enquanto o extrato de casca de amendoim apresentou uma quantidade de 30,71 mg/g.

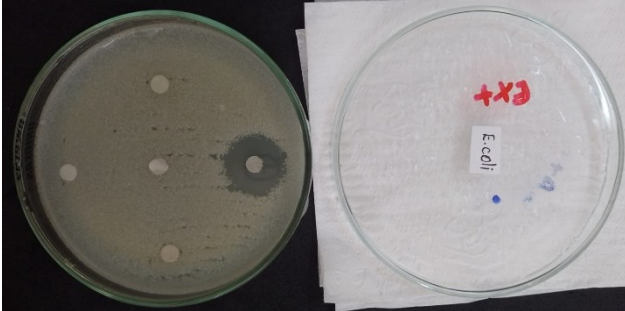
### 5.1.8 Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas de disco de difusão mostraram-se negativas para o extrato liofilizado de casca de pinhão, para o filme controle e também para o filme contendo extrato da casca do pinhão. Observou-se que as amostras do extrato liofilizado da casca do pinhão, do filme controle biodegradável e do filme biodegradável acrescido de corante da casca do pinhão não foram eficazes em relação à atividade antimicrobiana para *Escherichia coli* Quadro 01 | *Salmonella* ATCC (American Type Culture Collection) Quadro 02 *Staphylococcus aureus* ATCC Quadro 03 .

Para os microrganismos *Escherichia coli*, *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* o extrato da casca do pinhão não teve efetividade antimicrobiana. Então, as embalagens contendo o extrato conseqüentemente também não foram eficientes para esse uso, o que não significa que para outros microrganismos os resultados permaneceriam negativos quanto à inibição. Contudo, mais estudos com outros microrganismos são sugeridos.

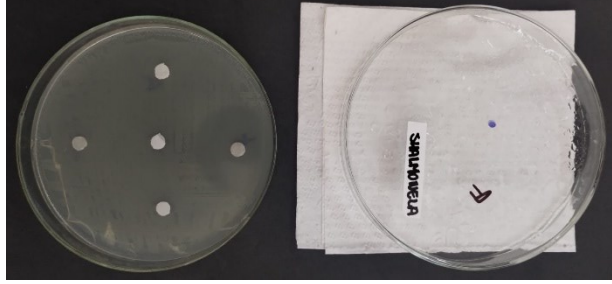
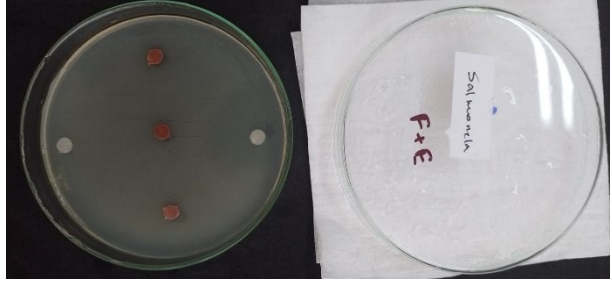

**Quadro 01** – Teste de difusão de disco com extrato da casca do pinhão, filme controle e filme contendo extrato da casca de pinhão frente à bactéria *Escherichia coli* ATCC

Amostra	Análise	Média	Desvio Padrão
Filme Controle sem extrato		(+): 26 mm (-): 0 mm (A): 0 mm	(+): 0
Filme com extrato da casca de pinhão		(+): 24,67 mm (-): 0 mm (A): 0 mm	(+): 2,62

<p>Extrato Liofilizado</p>		<p>(+): 21,67 mm (-): 0 mm (A): 0 mm</p>	<p>(+): 2,35</p>
----------------------------	--	--	------------------

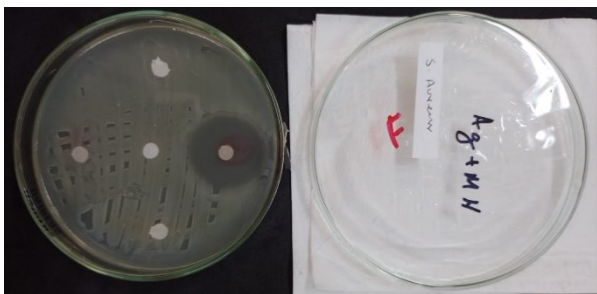
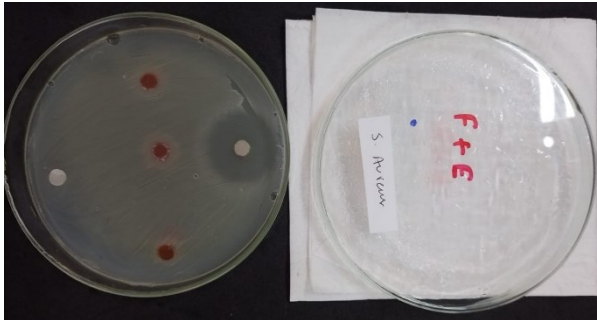
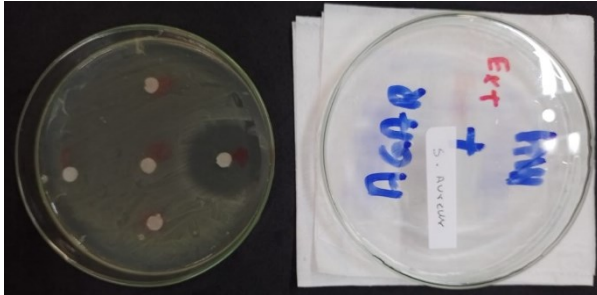
(+) = controle positivo (tetraciclina) / (-): controle negativo (água peptonada) / (A): amostra

**Quadro 02** – Teste de difusão de disco com extrato da casca do pinhão, filme controle e filme contendo extrato da casca de pinhão frente à bactéria *Salmonella* ATCC

Amostra	Análise	Média	Desvio Padrão
<p>Filme Controle sem extrato</p>		<p>(+): 35,33 mm (-): 0 mm (A): 0 mm</p>	<p>(+): 0,47</p>
<p>Filme com extrato da casca de pinhão</p>		<p>(+): 34,33 mm (-): 0 mm (A): 0 mm</p>	<p>(+): 0,94</p>
<p>Extrato Liofilizado</p>		<p>(+): 31,67 mm (-): 0 mm (A): 0 mm</p>	<p>(+): 2,35</p>

(+) = controle positivo (tetraciclina) / (-): controle negativo (água peptonada) / (A): amostra

**Quadro 03** – Teste de difusão de disco com extrato da casca do pinhão, filme controle e filme contendo extrato da casca de pinhão frente à bactéria *Staphylococcus aureus* ATCC.

Amostra	Análise	Média	Desvio Padrão
Filme Controle sem extrato		(+): 24,67 mm (-): 0 mm (A): 0 mm	(+): 0,47
Filme com extrato da casca de pinhão		(+): 23,67 mm (-): 0 mm (A): 0 mm	(+): 1,88
Extrato Liofilizado		(+): 25 mm (-): 0 mm (A): 0 mm	(+): 0

(+) = controle positivo (tetraciclina) / (-): controle negativo (água peptonada) / (A): amostra

### 5.1.9 Discussão Final

A partir da técnica extrusão sopra em balão foi possível produzir filmes contendo extrato liofilizado da casca de pinhão (4%) e compara-lo com o filme controle PBAT com fécula de mandioca ao longo do tempo 150 dias em acondicionamento congelado (-18°C) refrigerado (4°C) e temperatura ambiente (25°C). O filme contendo o corante natural obteve uma coloração intensa e escura que está relacionada com a ação antioxidante as quais foram quantificadas os

radicais DPPH (4,09 - 3,23  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) e o FC (3804,50 - 1443,01  $\mu\text{mol EAG/g}$ ) que independente do acondicionamento a embalagem foi descolorando e conseqüentemente perdendo a ação antioxidante, sendo que para os antioxidantes a maior perda aconteceu a partir de 120 dias de fabricação da embalagem nos três acondicionamentos. Porém no filme congelado foi sugestivo de perda de cor maior comparando com a temperatura ambiente e refrigerada. A temperatura congelada no que diz respeito às propriedades mecânicas mostrou-se mais flexível e menos rígida em relação aos demais acondicionamentos e sua flexibilidade foi afirmada ao longo dos 150 dias.

A cor foi mensurada através de colorímetro e do padrão RGB. Na colorimetria verificou-se a Luminosidade  $L^*$ , a qual o controle apresentou valores maiores por se tratar de uma coloração mais clara esbranquiçada com uma leve transparência, e o pinhão valor menor por ser uma coloração marrom, a cromaticidade associada à coloração vermelha  $a^*$  pode ser associada aos fenólicos que contem no filme com extrato de pinhão e a coloração verde mais associada ao controle, o  $b^*$  valores maiores encontrados para o pinhão que significa a coloração amarela e valor menor foi encontrado para o controle sendo o seu significado a cor azul,

Realizando o cálculo do Delta E pode-se afirmar que há diferença significativa de cor entre as amostras. O filme controle acondicionado sob condição ambiente e refrigerada teve diferença de cor significativa com valores a partir do tempo 2 acima de 3,0. Para o controle congelado não teve diferença de cor elevada ao longo do tempo de armazenamento, sendo os valores de  $\Delta E$  baixos mostrando estabilidade durante os 150 dias. Já para o filme contendo extrato de pinhão houve diferença significativa entre todas as condições de armazenamento, sendo a condição mais estável por possuir mais valores abaixo de 3,0 é o acondicionamento à temperatura ambiente.

A adição do corante aumentou a espessura dos filmes, pois é proporcional ao teor de sólidos acrescido pelo extrato, essa característica conferiu alongação do filme pinhão logo após produzido 282,05%. Não houve mudanças no MEV quanto à homogeneidade do filme pela adição do extrato e o FTIR ATR mostrou estabilidade entre as ligações químicas do polímero pois não houve surgimento de novas bandas quando comparados os espectros dos filmes e das matérias primas, apenas o



aumento das bandas já existentes sugestivos da degradação ao longo dos 150 dias. Mas a força de ruptura foi significativamente menor entre 4,55 e 5,63 Mpa com a adição do extrato liofilizado da casca do pinhão acrescido às embalagens. Porém, mais estudos devem ser realizados para confirmar se o aumento de espessura não comprometerá o tempo de degradação tendo em vista que a embalagem é biodegradável e é mais comum uma menor espessura a fim de não elevar o tempo de degradação do produto.

A atividade antimicrobiana mostrou-se negativa, sugerindo que o extrato pode ter perdido algumas propriedades durante a confecção dos filmes por ser submetidos a altas temperaturas tanto para a produção dos pellets quando para a extrusão em si.

## 5.2 Estudo 2 - POTENCIALIZAÇÃO NO CONSUMO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PELA ADIÇÃO DE CORANTES NATURAIS

### 5.2.1 Questionário de escolha alimentar e modelagem PLS-path para entender o interesse em embalagens ecológicas

#### 5.2.1.1 Modelo de Medição e análise descritiva

Modelo de Medição ou modelo Externo refere-se à relação de um construto com seus itens reflexivos. Vários índices do modelo de medição incluem alfa de Cronbach, variância média extraída (AVE), Jöreskog (1971) confiabilidade composta (CT) e Dijkstra and Henseler (2015) O alfa Rho. Cronbach de todos os itens atende à barra mínima de 0,7, garantindo assim sua consistência interna (NUNNALLY, 1978). A validade convergente é estabelecida pela variância média extraída, bem como pela Confiabilidade Composta. Os itens de Conveniência “Fácil de preparar” (média de  $3,79 \pm 1,26$ ); de Saúde “É nutritivo” (média de  $5,48 \pm 1,15$ ); e de Humor “Me anima” (média de  $4,21 \pm 0,97$ ) foram previamente retirados por apresentarem para o parâmetro AVE valor abaixo do limite 0,5. Os valores de todos os *construtos* exceto Apelo Sensorial seguem o nível mínimo de 0,5 e 0,7 respectivamente (HAIR *et al* 2019). Isto garante a validade convergente de todos os *construtos*, exceto o Apelo Sensorial, que é descartado da análise subsequente. Os resultados do modelo de mensuração são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** *Construtos* e variáveis utilizadas no modelo, escores médios (M), DP e validade convergente dos *construtos*.

<b>Construtos e variáveis</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Carregamento Fatorial</b>	<b>Alfa de Cronbach (Min 0.7)</b>	<b>CR (Min 0.7)</b>	<b>AVE (Min 0.5)</b>
É embalado de forma ambientalmente amigável (embalagem)	4.09	1.09				
Conveniência	4.10					

1. Está facilmente disponível em lojas e supermercados	4.32	0.76	0.502				
2. Pode ser cozinhado de forma muito simples	4.01	0.99	0.922				
3. Levo tempo para preparar				0.739	0.814	0.980	0.533
4. Pode ser comprado em lojas próximas de onde moro ou trabalho	3.87	1.10	0.726				
	4.21	0.86	0.709				
<hr/>							
Preocupações éticas	3.35						
<hr/>							
1. Vem de países que eu aprovo politicamente	3.46	1.33	0.896				
2. É simples para cozinhar	3.25	1.34	0.926	0.798	0.908	0.812	0.831
<hr/>							
Familiaridade	3.27						
<hr/>							
1. É familiar							
2. É igual a comida da minha infância	3.54	1.16	0.833				
	2.88	1.29	0.781	0.712	0.838	0.724	0.634
3. É o que eu costumo comer	3.40	1.15	0.772				
<hr/>							
Saúde	4.22						
<hr/>							
1. É rico em fibras e volumosos	3.88	1.03	0.724				
	4.31	0.91	0.842				
2. Contém muitas vitaminas e minerais	4.05	1.00	0.736				
3. É rico em proteínas	4.58	0.73	0.776	0.839	0.886	0.850	0.609
4. Me mantém saudável							
5. É bom para minha pele/dentes/cabelos/unhas, etc.	4.30	0.92	0.816				
<hr/>							
Humor	3.74						
<hr/>							
1. Ajuda contra o estresse	3.84	1.12	0.783				
2. Me mantém acordado/Alerta	3.29	1.17	0.625				
	3.54	1.15	0.824				
3. Me ajuda a relaxar	4.45	0.74	0.692	0.791	0.856	0.809	0.546
4. Me faz sentir bem							
5. Me ajuda a enfrentar a vida	3.62	1.14	0.755				
<hr/>							
Conteúdo Natural	4.08						
<hr/>							
1. Não contém aditivos	3.93	1.24	0.844				
2. Contém ingredientes naturais	4.30	0.93	0.88	0.845	0.906	0.858	0.762
3. Não contém ingrediente artificial	4.03	1.08	0.893				
	4.31						
<hr/>							
Preço							
<hr/>							
1. Não é caro	4.16	0.92	0.78	0.739	0.851	0.743	0.656

2. Tem uma boa relação custo-benefício	4.59	0.62	0.809				
3. É barato	4.18	0.91	0.841				
<hr/>							
Apelo sensorial	4.41						
<hr/>							
1. Gosto bom	4.57	0.75	-0.359				
2. Cheira bem	4.52	0.77	0.49				
3. Tem uma textura agradável	4.27	0.87	0.492	0.768	0.223	1.194	0.182
4. Aparência boa	4.29	0.89	0.345				
<hr/>							
Controle de peso	3.87						
<hr/>							
1. Tem baixas calorias	3.42	1.25	0.825				
2. Tem baixo teor de gordura	4.01	1.08	0.803	0.716	0.841	0.722	0.638
3 Me ajuda a controlar o peso	4.18	0.96	0.767				
<hr/>							

A validade discriminante de todos os *construtos* é verificada avaliando o Critério de Fornell e Larcker (FORNELL, LARCKER, 1981) bem como valores HTMT. Os valores diagonais (representados em vermelho) na Tabela 4 indicam a raiz quadrada dos valores AVE. Os valores abaixo da diagonal são valores HTMT e os valores acima da diagonal (representados em itálico) são as correlações entre os *construtos* latentes. A proporção heterotraço-monotraço (HTMT) das correlações serve como uma medida alternativa para determinar a validade discriminante. Todos os valores do HTMT são inferiores ao limite de 0,9, confirmando assim a validade discriminante de todos os *construtos* (Apêndice 01).

Embora o construto Apelo Sensorial tenha sido descartado para análise posterior, seus resultados da análise descritiva mostraram informações importantes. O Apelo Sensorial com pontuação média de 4,41 revelou ser o construto mais importante para os consumidores, seguido em importância por Preço, Saúde, Conveniência, Embalagem, Conteúdo natural, Controle de peso, Humor, Preocupações éticas e Familiaridade. Esta ordem no motivo da escolha alimentar foi a mesma relatada em estudo anterior com a mesma população demonstrando consistência em suas respostas (VEIGA *et al.*, 2021).

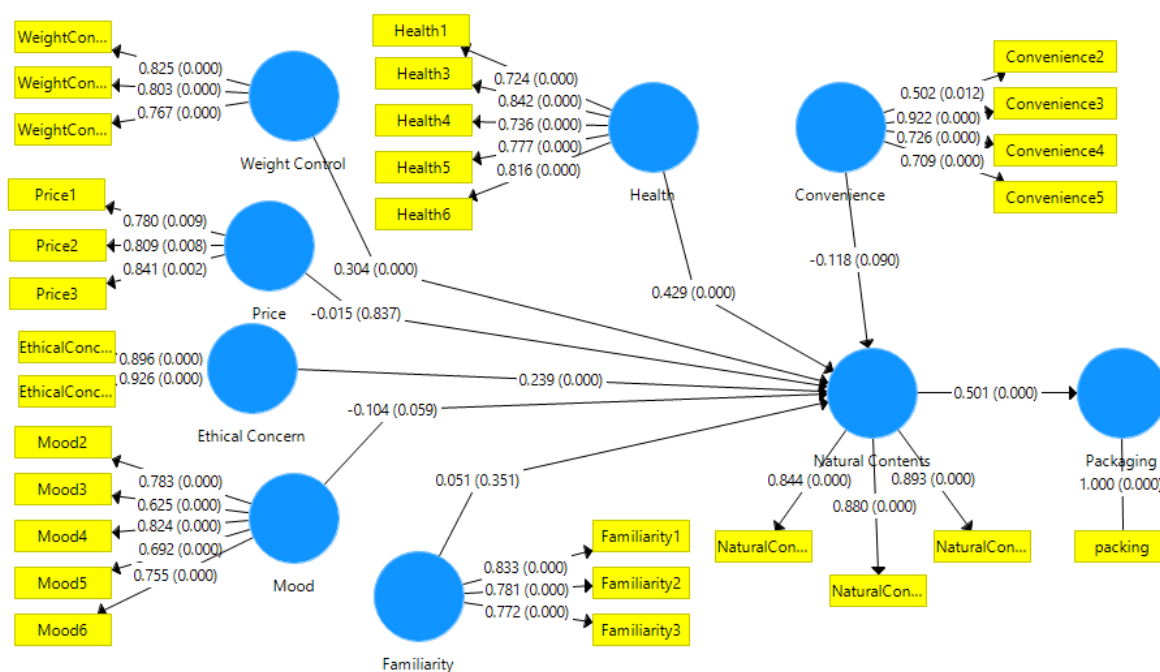
A pontuação média para o construto “É embalado de forma ecologicamente correta” foi 4,09, ou seja, para os participantes, a importância dada ao consumo de alimentos embalados de forma ecologicamente correta está entre neutra a

moderadamente importante. O item do conteúdo Natural “Contém ingredientes naturais” apresentou nota média de 4,30, revelando a importância dada por esse grupo ao uso de ingredientes naturais nos alimentos.

### 5.1.2.2. Modelo estrutural

Após a verificação da validade e confiabilidade de todos os *construtos* (apelo sensorial descartado), as diversas hipóteses foram testadas utilizando o modelo estrutural no software SmartPLS (versão 3). A Figura 27 mostra o diagrama PLS-PM. A Modelagem de Equações Estruturais Baseada em Variância (VB-SEM) foi usada neste estudo por ser robusta contra a violação da normalidade dos dados (LEONG, HEW, OOI, & LIN, 2019) e fornecer resultados robustos mesmo com uma amostra pequena (HAIR *et al* 2019).

Figura 27 - Diagrama PLS-PM



A Tabela 5 fornece os coeficientes de caminho, seu nível de significância e tamanho do efeito de cada relação. No geral, observa-se que as preocupações éticas (coeficiente de caminho = 0,241, estatística t = 3,919), saúde (coeficiente de caminho = 0,44, estatística t = 6,194) e controle de peso (coeficiente de caminho =

0,301, estatística  $t = 5,05$ ) teve um efeito significativamente positivo no conteúdo Natural, enquanto o Humor (coeficiente de caminho = -0,124, estatísticas  $t = 2,084$ ) teve um efeito negativo significativo no conteúdo Natural. Conveniência, Familiaridade e Preço não tiveram qualquer efeito significativo no conteúdo Natural. Por sua vez, o conteúdo Natural (coeficiente de caminho = 0,501, estatística  $t = 9,505$ ) também foi considerado significativo em relação à embalagem.

**Tabela 4.** Coeficientes de Caminho Estrutural

Caminho	(M)	Estatística T (valor-p)	f <sup>2</sup>	Decisão
H <sub>1</sub> : Conveniência -> Natural	-0.083	1.527 (0.127)	0.021	H <sub>1</sub> não confirmado
H <sub>2</sub> : Preocupação Ética ->	0.241	3.919 (0.00)	0.08	H <sub>2</sub> confirmado
H <sub>3</sub> : Familiaridade -> Natural	0.047	0.957 (0.339)	0.00	H <sub>3</sub> não confirmado
H <sub>4</sub> : Saúde -> Conteúdo	0.44	6.194 (0.00)	0.00	H <sub>4</sub> confirmado
H <sub>5</sub> : Humor -> Conteúdo	-0.124	2.084 (0.037)	0.037	H <sub>5</sub> confirmado
H <sub>6</sub> : Preço -> Conteúdo	-0.013	0.198 (0.816)	0.00	H <sub>6</sub> não confirmado
H <sub>8</sub> : Controle de peso ->	0.301	5.05 (0.00)	0.12	H <sub>8</sub> confirmado
H <sub>9</sub> : Conteúdo Natural ->	0.501	9.505 (0.00)	0.335	H <sub>9</sub> confirmado

O tamanho do efeito também é calculado para cada relacionamento. O tamanho do efeito superior a 0,02, 0,15 e 0,35 é considerado tamanho de efeito baixo, médio e alto (COHEN., 1988). Observou-se que a preocupação ética e a saúde têm baixo efeito sobre o conteúdo natural, enquanto o humor e o controle de peso têm efeito médio. Por outro lado, o conteúdo Natural tem alto efeito na Embalagem.

A precisão preditiva do modelo é verificada usando o valor Q2 do procedimento Blindfolding (GEISSER, 1974; STONE, 1974). Valores de Q2 superiores a 0, 0,25 e 0,50 são considerados de baixa, média e alta relevância preditiva (HAIR *et al* 2019). A Tabela 5 do apêndice 5 fornece o valor Q2 para Conteúdo Natural e Embalagem, ambos com relevância preditiva média. O poder explicativo dos modelos na amostra é dado por R<sup>2</sup>. Todos os preditores conseguiram explicar 54,5% das variações do conteúdo Natural e por sua vez, 25% das variações da Embalagem são explicadas pelo conteúdo Natural. Os resultados de relevância preditiva são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 5.** Condição cega e R-quadrado

	<b>Conteúdo Natural</b>	<b>Embalagem</b>
Q2	0.398	0.242
R-Quadrado	0.545	0.251
R Quadrado Ajustado	0.534	0.249

5.1.2.3 Associação de palavras (AP) para explorar a percepção holística de embalagens biodegradáveis coloridas

A Tabela 7 apresenta as categorias obtidas a partir da condição cega e da condição informada para as embalagens biodegradáveis coloridas. Treze categorias foram construídas por consenso entre três pesquisadores envolvidos no processo de análise dos dados. Palavras com significados semelhantes foram agrupadas na mesma categoria.

**Tabela 7.** Frequência de menção de categorias para embalagens biodegradáveis coloridas em condições cegas e informadas.

<b>Categories</b>	<b>Condição Cega</b>	<b>Condição Informada</b>
Colorida	47	58
Atrativa	13	14
Linda	20	22
Embalagem de chá*	26	8
Eco-friendly*	63	44
Sustentável	35	29
Responsabilidade (respeito, cuidado, compromisso)	15	11
Natural	16	17
Importante	14	15
Saudável	30	42

Natural*	12	28
Orgânica	3	6
Inovadora	36	34
Prazerosa	15	16
Interessante	10	10
Felicidade*	3	33

---

Nota: As categorias exibidas com \* são significativas no nível alfa = 0,05.

Apenas surgiram categorias positivas independentemente da consciência da presença do corante natural, sugerindo que só o fato de ser uma embalagem biodegradável colorida já promove percepções positivas. Nas duas condições cego e informado, os participantes acharam as embalagens coloridas, atrativas e bonitas. Relacionaram a embalagem com termos de consciência ecológica como Ecológico, Sustentabilidade, Responsabilidade, Natureza e Importante. Além disso, consideraram-no um produto inovador a julgar pelas categorias Inovador e Interessante. O sentimento positivo também surgiu na categoria Agradável. Saudável foi outra categoria altamente citada para ambas as condições.

Especificamente em relação à cor, os resultados da WA mostraram que apenas o fato de serem embalagens biodegradáveis coloridas (condição cega) chamou a atenção, independentemente de ser um corante natural ou não, uma vez que os termos relacionados a colorido, atraente e bonito foram mencionados em ambas as condições.

A divulgação de imagens de embalagens biodegradáveis com adição de corantes naturais (condição informada) trouxe como mudança de percepção maiores menções para as categorias Natural e Felicidade.

O presente trabalho baseou-se na hipótese de que a oferta de uma embalagem biodegradável com adição de corante natural melhora a percepção positiva das embalagens biodegradáveis pelos consumidores. Para verificar a hipótese, o presente trabalho utilizou o QEA aliado à modelagem PLS-Path para compreender o efeito do conteúdo natural na importância dada pelos consumidores aos alimentos embalados de forma ecologicamente correta; e a técnica projetiva Associação de Palavras em duas condições: cego e informado para investigar as



influências da cor e consciência da presença de corantes naturais em embalagens biodegradáveis. Ambas as abordagens trouxeram resultados importantes e confirmaram a hipótese.

Sucintamente, pela análise de Path, o conteúdo natural tem um grande efeito na importância dada pelos consumidores aos alimentos embalados de forma ambientalmente correta. O teste AP revelou que o conhecimento de imagens de embalagens biodegradáveis com adição de corantes naturais deixa as pessoas felizes.

Essas duas observações não apenas confirmam a hipótese central do trabalho, mas também indicam o potencial de utilização de corantes naturais em embalagens biodegradáveis. Ou seja, quem tem interesse em consumir embalagens ecológicas também se interessa por alimentos sem aditivos e ingredientes artificiais e com ingredientes naturais. Dentre os itens que representam o construto o conteúdo Natural “contém ingrediente natural” apresentou maior média na escala de importância.

Embora o conteúdo Natural do QEA esteja relacionado ao alimento e não à embalagem, existe uma forte relação para os consumidores entre alimentos com conteúdo natural e embalagens ecológicas e, portanto, um potencial para o uso de ingredientes naturais, como corantes em embalagem biodegradável. Os itens do construto refletiram preocupação com o uso de aditivos e ingredientes artificiais. A importância dada pelos consumidores aos ingredientes naturais tem sido demonstrada nos alimentos (BORDIM *et al.*, 2021; DICKSON-SPILLMANN *et al.*, 2011; MITTERER-DALTOÉ *et al.*, 2021; SHIM *et al.*, 2011) e cosméticos (MITTERER-DALTOÉ *et al.*, 2023; YANO *et al.*, 2019). Embora nos estudos de NGUYEN *et al.* (2020) mostraram que os consumidores têm percepções diferentes sobre embalagens consideradas ecológicas, seu conhecimento está diretamente focado no conceito de embalagem biodegradável e, até onde sabemos, nenhum estudo explorou a percepção dos consumidores sobre o uso de corantes naturais em embalagens biodegradáveis.

O aprofundamento nos resultados da AP reforça o potencial uso de corantes naturais em embalagens biodegradáveis pela percepção dos consumidores. A metodologia de utilização de condições cegas e informadas revelou dois aspectos

importantes i) Independentemente da consciência da presença do corante natural, os participantes consideraram as embalagens coloridas, bonitas e atrativas; ii) A divulgação de imagens de embalagens biodegradáveis com adição de corantes naturais deixa os consumidores satisfeitos.

O primeiro resultado veio ao encontro do que já se sabia sobre a importância da cor na aparência do produto (CÖMERT, EZGI DOĞAN *et al.*, 2020; SPENCE VELASCO, 2018) e com as descobertas reveladas por trabalhos recentes sobre embalagens e cores ecológicas. Uma embalagem ecológica deve satisfazer as expectativas ambientais, mas ao mesmo tempo ser atrativa (Nguyen *et al.*, 2020) e que o design de embalagens coloridas desempenha um papel importante no design de embalagens ecológicas (KETELSEN *et al.*, 2020). Estes últimos autores também revelaram que os consumidores prestavam atenção a outros valores da cor. Para os consumidores as cores “terrestres” como o creme, o castanho ou o verde eram indicadores de sustentabilidade.

A preferência dada às cores definidas como “terra” pode estar diretamente relacionada ao fato de serem naturais, de origem proveniente da natureza. Portanto, esse deve ser o motivo do surgimento das categorias Felicidade (segundo resultado) e Natural na segunda etapa do teste WA. A categoria Felicidade é uma resposta importante para o setor de desenvolvimento de embalagens ecológicas, uma vez que as emoções são fatores importantes que influenciam as decisões de compra pró-ambientais (KOENIG-LEWIS *et al.*, 2014). KOENIG-LEWIS *et al.* (2014) evidenciaram que as emoções, e não as avaliações racionais, desempenham um papel fundamental na mudança do comportamento de compra pró-ambiental.

Este estudo também encontrou algumas evidências para apoiar a afirmação de que a naturalidade impulsiona a saúde (CHAMBERS *et al.*, 2019) e que os consumidores confundem o termo natural com outros termos, como orgânico (BOBO, CHAKRABORTY., 2016). Embora sem diferença ambas as categorias Saudável e Orgânico foram mais citadas na condição informada.

Embora a hipótese de que um consumidor pró-ambiental apresente uma percepção positiva das embalagens biodegradáveis adicionadas de corantes naturais pareça um tanto óbvia, esta é uma hipótese que deve ser confirmada justamente pelas observações que podem ser extraídas deste trabalho 1) o uso de

corantes naturais pode servir de incentivo ao uso de embalagens ecológicas, e 2) a produção de embalagens com adição de corantes naturais pode servir de incentivo ao uso e produção de corantes naturais.

Ressalta-se que a importância desta segunda observação não se dá apenas pelo seu apelo às questões sanitárias e ambientais, mas também pelas dificuldades enfrentadas no uso de corantes naturais, a exemplo das preocupações com a estabilidade (BORDIM *et al.*, 2021). Portanto, são necessários mais estudos para avaliar a eficácia dos corantes naturais na coloração de embalagens de biodegradáveis em diferentes temperaturas de armazenamento.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo evidenciam que o desenvolvimento de filmes antioxidantes com extrato da casca de pinhão como fonte de corante natural incorporados à matriz de amido de mandioca plastificada com glicerol é viável e a aplicação é sugerida. Suas propriedades físicas como MEV e FTIR-ATR permaneceram estáveis e sem alterações que comprometessem a estabilidade da embalagem. A espessura média do filme contendo extrato da casca do pinhão foi de 0,17 mm ( $\pm 0,001$ ). Além de mais espesso, o filme tornou-se mais flexível obtendo o valor de alongação para o tempo 0 de 282,05%.

Os filmes com extrato também apresentaram resultados potenciais de aplicação em relação aos filmes controle, como por exemplo, melhoria da atividade antioxidante, e a coloração que no geral apresentaram estabilidade dessas variáveis em temperatura congelada refrigerada e congelada. Sobre a coloração, os filmes contendo extrato da casca de pinhão apresentaram escurecimento em relação ao controle, característica desejável para embalagem de alimentos que precisam ser armazenados ao abrigo da luz. Esse efeito também foi associado a capacidade antioxidante dos compostos bioativos presentes no filme. Apesar de atividade antimicrobiana não ter sido efetiva para os microrganismos avaliados, é sugerido a avaliação futura em outros microrganismos deteriorantes e patogênicos, bem como é sugerido a aplicação e estudo em diferentes alimentos.

Quanto as condições de armazenamento, as embalagens congeladas ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) e temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ) tiveram desempenho superior à embalagem refrigerada ( $4^{\circ}\text{C}$ ) em relação às propriedades mecânicas no que diz respeito a alongação que demonstra a flexibilidade do filme, resultado esse que vem ao encontro da microscopia eletrônica a qual verificou homogeneidade nas amostras juntamente com o FTIR-ATR que não mostrou o surgimento de novas bandas, mostrando estabilidade entre as ligações químicas do polímero. A coloração bem como os antioxidantes não mostraram estabilidade ao longo do tempo perdendo ambas as propriedades ao longo dos 150 dias. Mesmo a cor e a atividade antioxidante diminuindo ao longo do tempo no final dos 150 dias ambas as

propriedades são significativamente relevantes para embalagens com corante natural biodegradável.

Quanto aos resultados obtidos no estudo do potencial de mercado, o conteúdo natural foi o mediador para a compreensão de todo o conjunto de relações entre os *construtos* QEA do interesse em embalagens ecológicas. Descobriu-se que as preocupações éticas e de saúde tiveram efeitos positivos significativamente baixos/fracos no Conteúdo Natural, enquanto o controle de peso teve efeitos médios/positivos no Conteúdo Natural. Por outro lado, descobriu-se que o Humor teve um efeito negativo/médio significativo no Conteúdo Natural. O conteúdo natural teve um grande efeito na importância dada pelos consumidores aos alimentos embalados de forma ecologicamente correta.

## REFERÊNCIAS

- ADELINA, N. M. WANG, H. ZHANG, L. YANG, K. ZHANG, L. ZHAO, Y. Evaluation of Roasting Conditions as an Attempt to Improve Bioactive Compounds and Antioxidant Activities of Pine Nut Shell and Skin. **Waste and biomass valorization**. volume 12, p 875-861. 2022.
- ADHIKARY, N. BAINS, A. SRIDHAR, K.KAUSHIK, R. CHAWLA, P. SHARMA, M. Recent advances in plant-based polysaccharide ternary complexes for biodegradable packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2023
- ALIABBASI, N , DJOMEH, Z. E. AMIGHI, F. Application of nano/microencapsulated ingredients in food products. Seid Mahdi Jafari, 2021
- ALIZADEH-SANI, M.; MOHAMMADIAN, E.; RHIM, J.-W.; & JAFARI, S. M. pH-sensitive (halochromic) smart packaging films based on natural food colorants for the monitoring of food quality. **Trends in Food Science & Technology**. v.105, p.93-144, 2020
- AMORIN, I. S. ALMEIDA, M. C. S. CHAVES, R. P. F. CHISTE, R. C. Technological applications and color stability of carotenoids extracted from selected Amazonian fruits. **Food Sci. Technol**, Campinas, 42, e01922, 2022
- ANDREW, J.J DHAKAL, H.N. Sustainable biobased composites for advanced applications: recent trends and future opportunities – A critical review. **Composites**. Volume 7, March 2022.
- ANTMANN, G., ARES, G., SALVADOR, A., VARELA, P., FISZMAN, S., 2011. Exploring and explaining creaminess perception: consumers' underlying concepts. **J. Sens. Stud**. 26, 40–47.
- ARES, G., GIMÉNEZ, A., GÁMBARO, A., 2008. **Understanding consumers perception of conventional and functional yogurts using word association and hard laddering** 19, 636–643.
- ASARDI, S.; PIRSA, S. Production of Biodegradable Film Based on Polylactic Acid, Modified with Lycopene Pigment and TiO<sub>2</sub> and Studying Its Physicochemical Properties. **Journal of Polymers and the Environment**. v. 28, p.433–444, 2019.
- ASTM. (2002). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting (pp. 1–12). ASTM International. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- BARRETO, L.S. SILVA, E.E.G HENRIQUE, M.A. BARBOSA, J. D. V. OLIVEIRA, S.H. Study of biodegradation of Poly(butylene adipate co-terephthalate) (PBAT) by

maritime microorganisms from the Atlhantic Coast of Recife-PE (Brazil). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, 2021

BARIZÃO, C. L.; CREPALDI, M. I.; JUNIOR, O. S.; OLIVEIRA, A. C.; MARTINS, A. F.; GARCIA, P. F.; BONAFÉ, E. G. Biodegradable films based on comercial k-carrageenan and cassava starch to achieve low production costs. **International Journal Of Biological Macromolecules**. v. 165, Part A, p. 582-590 December 2020,

BAUER, A. W. KIRBY, W. M. SHERRIS, J. C. TURCK, M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. **J Clin Pathol**. 1966 Apr;45(4):493-6.

BECERRIL, R NERÍN , C. SILVA, F. Bring some colour to your package: Freshness indicators based on anthocyanin extracts. Trends in **Food Science & Technology** v 111, May 2021, Pages 495-505

BISHOP, G.; STYLES, D.; LENS, P.N.L. Environmental Performance of Bioplastic Packaging on Fresh Food Produce: A Consequential Life Cycle Assessment. **J. Clean. Prod.** 2021, 317, 128377.

BOBO, J., CHAKRABORTY, S., 2016. Predictably irrational consumer food preferences. **Eur. J. Risk Regul.** 7, 604–609.

BORDIM, J.; LISE, C. C.; MARQUES, C.; OLDONI, T. C.; VARELA, P.; DALTOÉ, M. L. M. Potential use of naturally colored antioxidants in the food industry—A study of consumers' perception and acceptance. **J Sens Stud**. v. 36, 2021

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology-LWT**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Resolução RDC N° 88, de 29 de junho de 2016. Aprova o Regulamento Técnico sobre materiais, embalagens e equipamentos celulósicos destinados a entrar em contato com alimentos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, Brasília, DF, nº 124, p. 53, 30 jun.

BRASIL. REGULAMENTO (CE) N.º 450/2009 DA COMISSÃO de 29 de Maio de 2009 relativo aos materiais e objetos ativos e inteligentes destinados a entrar em contato com os alimentos. Jornal Oficial da União Europeia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, Brasília, DF, nº 124, p. 53, 30 jun.

CAMPOS, S. S.; DE OLIVEIRA, A.; MOREIRA, T. F. M.; DA SILVA, T. B. V.; DA SILVA, M. V.; PINTO, J. A.; BILCK, A. P.; GONÇALVES, O. H.; FERNANDES, I. P.; BARREIRO, M. F.; YAMASHITA, F.; VALDERRAMA, P.; SHIRAI, M. A., & LEIMANN, F. V.. TPCS/PBAT blown extruded films added with curcumin as a technological

approach for active packaging materials. **Food Packaging and Shelf Life**, v.22, 100424, 2019

CAO, Y., & MEZZENGA, R. (2020). Design principles of food gels. **Nature Food**, 1(2), 106–118.

CARDOSO, L. G. SILVA, J. B.A. SILVA, J. A. CAMILLOTO, G. P. SOUZA, C. O. DRUZIAN, J.I. GUIMARÃES. G. A. Development and characterization of antioxidant and antimicrobial poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) film incorporated with oregano essential oil and applied in sliced mozzarella cheese *An Acad Bras Cienc* (2022)

CHAMBERS, E., TRAN, V.T., CHAMBERS, E., 2019. Natural : A \$ 75 billion word with no definition — Why not ?

CÖMERT, EZGI DOĞAN, MOGOL, B.A., GÖKMEN, V., 2020. Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Curr. Res. Food Sci.* 2, 1–10.

CORRÊA, C. P. L., PIECHA, C. R., ZANINI, M. L. O., DODE, M. T. B., RATMANN, C. W. R., DODE, L. B., DIAZ, P. S. Bioplástico colorido: corantes naturais como uma alternativa para coloração de poli(3-hidroxi-butilato). **Revista Científica Multidisciplinar** Núcleo do Conhecimento. Ano. 08, Ed. 08, Vol. 04, pp. 25-49. Agosto de 2023.

COSSA, M. A. V.; BILCK, A. P.; YAMASHITA, F.; DALTOÉ, M. L. M. Biodegradable packaging as a suitable protectant for the conservation of frozen pacu (*Piaractus mesopotamicus*) for 360 days of storage at  $-18^{\circ}\text{C}$ . **J Food Process Preserv.** 2022

COSTA, G. F. A, GRISI, C. V. B. ALBUQUERQUE, B. R. L. SOUZA, S. CORDEIRO, A. M. T. M. Preparation and characterization films from collagen, cassava starch and their blend for potential use as food packaging. **Packing technology and science.** Volume35, Issue3. 2022, P. 229-240

DIJKSTRA, T.K. HENSELER, J., 2015. Consistent partial least squares path modeling. *MIS Q.* 39, 297–316.

DICKSON-SPILLMANN, M., SIEGRIST, M., KELLER, C., 2011. Attitudes toward chemicals are associated with preference for natural food. **Food Qual. Prefer.** 22, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.09.001>

DIRPAN, A. FADIAH, A DJALAL, M. A Review on Biopolymer-Based Biodegradable Film for Food Packaging: Trends over the Last Decade and Future Research. **Polymers**, 15(13): 2781. 2023.



ENGEL, J. B. GINITY, M. M. LUCHESE, C.L. TESSARO, I.C. SPADA J.C. Reuse of Different Agroindustrial Wastes: pinhão and pecan nutshells incorporated into biocomposites using thermocompression. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 1431-1440, 10 mar. 2020

ETXABIDE, A.; KILMARTIN, P. A.; MATÉ, J. Color stability and pH-indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging development. **Food Control**. v. 121, March 2021

FARHAN, A., & HANI, N. M. Active edible films based on semi-refined κ-carrageenan: Antioxidant and color properties and application in chicken breast packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, 24, 100476. (2020).

FAY, C. D. WU, L. Critical importance of RGB color space specificity for colorimetric bio/ chemical sensing: A comprehensive study. **Talanta**. 266, 2024.

FLOREZ, M. CAZON, P. VAZQUEZ, M Characterization of active films of chitosan containing nettle *Urtica dioica* L. extract: Spectral and water properties, microstructure, and antioxidant activity. **Journal of Biological Macromolecules** 253 (2023) 127318

FORNELL, C., & LARCKER, D. F. (1981). Evaluating structural equations models with unobservable variables and measurement error. **Journal of Marketing**, 18(1), 39-50

GALLO, M. FERRARA, L. CALOGERO, A. MONTESANO, D. NAVIGLIO, D. Relationships between food and diseases: What to know to ensure food safety. **Food Research International**. v. 137, November 2020

GHIDOUCHE, S., REY, B., MICHEL, M., GALAFFU, N. A Rapid tool for the stability assessment of natural food colours. **Food Chemistry**, v.139, n.4, 2013

GOKILA DEVI R.P. ELLAMPIRAI M, RAMESH KUMAR A, SRIVIGNESH S & K. KRISHNA, R. Natural colour extraction from horticultural crops, advancements, and applications—a review. **Natural Product Research**. 2023

HAN, J. W.; GARCIA, L. R.; QUIAN, J. P.; YANG, X. T. Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. v. 17, July 2018

HEITOR, S.F.D., ESTIMA, C.C.P., DAS NEVES, F.J., DE AGUIAR, A.S., CASTRO, S.D.S., FERREIRA, J.E. DE S., 2015. Tradução e adaptação cultural do questionário sobre motivo das escolhas alimentares (Food Choice Questionnaire – FCQ) para a língua portuguesa. **Cienc. e Saude Coletiva** 20, 2339–2346.

HELANTO, K.; MATIKAINEN, L.; TALJA, R.; ROJAS, O. J. Bio-based polymers for sustainable packaging and biobarriers: A critical review. **Bio Resources**. v.14, n. 2, p. 4902-4951, 2019

HENRIOT, 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** 170 (2020)

JAMRÓZ, E. JUSZCZAK, L. KUCHARZEK, M. Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v 114, 15 July 2018, Pages 1094-1101

JOSHI, P. GUPTA, K. UNIYAL, P. JANA A. BANERJEE, A. KUMAR, N. GHOSH, D. SRIVASTAVA, M. RAY, A. KHATRI, O. P. Cassava starch-derived aerogels as biodegradable packaging materials. **Materials Chemistry and Physics**. v 296, 15 February 2023

JU, A. SONG, K.B. Incorporation of yellow onion peel extract into the funoran-based biodegradable films as an antioxidant packaging material. **International Journal of Food Science and Technology** (2019), pp. 1671-1678,

JAMRÓZ, E., JUSZCZAK, L., & KUCHARZEK, M. (2018). Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, 114, 1094–1101.

JAMROZ E, TKACZEWSKA, J. KOPE, M. WOJCIK, A. C. Shelf-life extension of salmon using active total biodegradable packaging with tea ground waste and furcellaran-CMC double-layered films. **Food Chemistry** 383, 2022

KAKADELLIS, S.; HARRIS, Z. M. Don't scrap the waste: The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment – A critical review. **Journal of Cleaner Production**. v. 274, n. 20, November 2020.

KAMARUDIN, S. H.; RAYUNG, M.; ABU, F.; AHMAD, S.; FADIL, F.; KARIM, A. A.; NORIZAN, M. N.; SARIFUDDIN, N.; DESA, M. S. Z. M.; BASRI, M. S. M.; SAMSUDIN, H.; ADULLAH, L. C. A Review on Antimicrobial Packaging from Biodegradable Polymer Composites. **Polymers**, v. 14, n. 1, 2022.

KOENIG-LEWIS, N., PALMER, A., DERMODY, J., URBYE, A., 2014. Consumers' evaluations of ecological packaging - Rational and emotional approaches. *J. Environ. Psychol.* 37, 94–105.

KOLA, V. CARVALHO, I. S. Plant extracts as additives in biodegradable films and coatings in active food packaging. **Food bioscience**. V. 54, august 2023

KUUTTIA, L. PELTONEN, J. MYLLÄRINEN, P. TELEMAN, O. FORSELL, P. AFM in studies of thermoplastic starches during ageing. **Carbohydrate Polymers** 37(1998) 7–12

LEONG, HEW, OOI, lin., Hedonic and Word Association Techniques Confirm a Successful Way of Introducing Fish into Public School Meals. *J. Sens. Stud.* n/a-n/a. 2019.

LIMA, T.A.M.; CHEE, G.G. HENN, B.S. CORTESE, J.G. MATOS, Y.J. HELM, M.; MAGALHÃES, C. V. Nugent, W.L.E. Characterization of Gels and Films Produced from Pinhão Seed Coat Nanocellulose as a Potential Use for Wound Healing Dressings and Screening of Its Compounds towards Antitumour Effects. **Polymers** 2022, 14, 2776.

LISE, C. C.; MARQUES, C.; CUNHA, M. A. A.; DALTOÉ, M. L. M. Alternative protein from *Pereskia aculeata* Miller leaf mucilage: technological potential as an emulsifier and fat replacement in processed mortadella meat. **European Food Research and Technology** v. 247 p.851–863, 2021

LOPES, J.; GONÇALVES, I.; NUNES, C.; TEIXEIRA, B.; MENDES, R.; FERREIRA, P.; COIBRA, M. A. Potato peel phenolics as additives for developing active starch-based films with potential to pack smoked fish fillets. **Food Packaging and Shelf Life**. v. 28, June 2021

LIU, J., YONG, H., LIU, Y., QIN, Y., KAN, J., & LIU, J. (2019). Preparation and characterization of active and intelligent films based on fish gelatin and haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) extract. **Food Packaging and Shelf Life**, 22, Article 100417.

LIU, Y., ZHANG, X., LI, C., QIN, Y., XIAO, L., & LIU, J. (2020). Comparison of the structural, physical and functional properties of κ-carrageenan films incorporated with pomegranate flesh and peel extracts. **International Journal of Biological Macromolecules**, 147, 1076–1088.

LOEWE, V. NAVARRO-CERRILLO, R. M. GARCÍA-OLMO, J. RICCIOLI, C. SANCHEZ-CUESTA, R. 2017. Discriminant analysis of Mediterranean pine nuts (*Pinus pinea* L.) from Chilean plantations by near infrared spectroscopy (NIRS). **Food Contr.** 73, 634–643.

MABUZA, L., SONNENBERG, N., MARX-PIENAAR, N., 2023. Natural versus synthetic dyes: Consumers' understanding of apparel coloration and their willingness to adopt sustainable alternatives. **Resour. Conserv. Recycl. Adv.** 18, 200146.

MACHADO, E. F. FAVARIN, F. R. OURIQUE, A. F. The use of nanostructured films in the development of packaging for meat and meat products: A brief review of the literature. **Food Chemistry Advances**. v. 1. 2022.

MANGARAJ, A. YADAV, L.M. BAL, S.K. DASH, N.K. MAHANTI. Application of biodegradable polymers in food packaging industry: a comprehensive review **Journal of Packaging Technology and Research**, 3 (1) (2019), pp. 77-96

MASEK, A. BROZIO, L. M.; The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials. **Food and Chemical Toxicology**. v. 135, January 2020

MAZHANDU Z. S.; MUZENDA, E.; MAMVURA, T. A.; BELAID, M.; NHUBU, T. Integrated and Consolidated Review of Plastic Waste Management and Bio-Based Biodegradable Plastics: Challenges and Opportunities. **Sustainability**. v. 12, n. 20, 2020.

MENG, W., SHI, J., ZHANG, X., LIAN, H., WANG, Q., & PENG, Y. (2020). Effects of peanut shell and skin extracts on the antioxidant ability, physical and structure properties of starch-chitosan active packaging films. **International Journal of Biological Macromolecules**. 2020

MIHALCA, V.; KEREZSI, A. D.; WEBER, A.; TRAUB, C. G.; SCHMUCKER, J.; VODNAR, D. C.; DULF, F. V.; SOCACI, S. A. FĂRCAS, A.; MURES, C. I. SUHAROSCHI, R.; POP, O. L. Protein-Based Films and Coatings for Food Industry Applications. **Polymers**. v.13, 2021

MITTERER-DALTOÉ, M., BORDIM, J., LISE, C., BREDA, L., CASAGRANDE, M., LIMA, V., 2021. Consumer awareness of food antioxidants. Synthetic vs. natural. **Food Sci. Technol.** 41, 208–212. <https://doi.org/10.1590/fst.15120>

MARKOWICZ, F. PULIKOWSKA, A. S. Assessment of the Decomposition of Oxo- and Biodegradable Packaging Using FTIR Spectroscopy. **Materials**, v 14, n 21, 2021.

MAZON, S., MENIN, D., CELLA, B.M., LISE, C.C., VARGAS, T.D.O., MITTERER-DALTOÉ, M.L., 2020. Exploring consumers' knowledge and perceptions of unconventional food plants: case study of addition of *Pereskia aculeata* Miller to ice cream. **Food Sci. Technol.** 2061, 215–221.

MIR, S.A. DAR, B.N. WANI, A.A. SHAH, M.A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, 80 (2018), pp. 141-154,

MITTERER-DALTOÉ, M., BORDIM, J., LISE, C., BREDÁ, L., CASAGRANDE, M., LIMA, V., 2021. Consumer awareness of food antioxidants. Synthetic vs. natural. *Food Sci. Technol.* 41, 208–212.

MENNA, T. J. Characterization and Failure Analysis of Plastics. **ASM International**. v 11B, 2022

MUNCKE, J. Tackling the toxics in plastics packaging, Food Packaging Forum Foundation. **PLOS Biology**, 2021

MUNIZ, V. R. G. F. RIBEIRO, I. S. BECKMAM, K. R. L. GODOY, R. C. B. The impact of color on food choice. **Braz jorn of food and technology**, 2023

NATH, P.C. SHARMA, R. DEBNATH, S. SHARMA, M. INBARAJ, B. S. DIKKALA, P. K. NAYAK, P. K. SRIDHAR, K. Recent trends in polysaccharide-based biodegradable polymers for smart food packaging industry recent trends in polysaccharide-based biodegradable polymers for smart food packaging industry. **int Journal of Biological Macromolecules**. v 253, n 8, 2023,

NGUYEN, A.T., PARKER, L., BRENNAN, L., LOCKREY, S., 2020. A consumer definition of eco-friendly packaging. *J. Clean. Prod.* 252.

NOR ADILAH, A.; JAMILAH, B.; NORANIZAN, M.A.; NURHANANI, Z.A. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 1-7, 2018

NORIEGA, S. R.; FIGUEROA, J. J.; PADILLA, B. O. N.; FLORES, J. C.; MONTEJO, N. C.; NEVADA, A. F. Developing a Descriptive Sensory Characterization of Flour Tortilla Applying Flash Profile, **Foods**. v.10, 2021

NYGAARD, J. N.; FERNÁNDEZ, E. N.; RADUSIN, T.; ROTABAKK, B. T.; SARFRAZ, J.; SHARMIN, N.; SIVERTSVIK, M.; IZUMI SONE, M. KVALVÅG PETERSEN. Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. **Food science and food safety**. v. 20, n. 2. March 2021

NGUYEN, A.T., PARKER, L., BRENNAN, L., LOCKREY, S. A consumer definition of eco-friendly packaging. *J. Clean. Prod.* 2020

OHTAKI, V.M., LISE, C.C., OLDONI, T.L.C., LIMA, V.A. de, Secco Junior, H., Mitterer-Daltoé, M.L., 2023. Ultra-refined yerba mate ( *Ilex paraguariensis* St. Hil) as a potential naturally colored food ingredient. *Sci. Agric.* 80, 1–12.

OLDONI, T. L. C.; MERLIN, N.; BICAS, T. C.; PRASNIEWSKI, A.; CARPES, S. T.; ASCARI, J.; ALENCAR, S. M.; MASSARIOLI, A. P.; BAGATINI, M. D.; MORALES, R.; THOMÉ, G. 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** v. 141, 2021

OLIVATO, J. B.; NOBREGA, M. M.; MÜLLER, C. M. O.; SHIRAI, M. A.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. Mixture design applied for the study of the tartaric acid effect on starch/polyester films. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1705–1710, 2013.

OLIVEIRA, R. F. GONÇALVES, G. A. INÁCIO, F. D. KOEHNLEIN, E. A. SOUZA, C. G. M. BRACHT, A. PERALTA, R. M., **Nutrients**, 2015, 7, 5601–5614. 8

ONG, H. T. SANSUNDIM, H. VALDEZ, H. S. Migration of endocrine-disrupting chemicals into food from plastic packaging materials: an overview of chemical risk assessment, techniques to monitor migration, and international regulations. **Food Science and Nutrition**, v 62, 2022

ORIA, A. B.; GUTIÉRREZ, G. R.; SENENT, F. R.; PRIOR, A. F.; BOLAÑOS, J. F. Effect of edible pectin-fish gelatin films containing the olive antioxidants hydroxytyrosol and 3,4-dihydroxyphenylglycol on beef meat during refrigerated storage. **Meat science**. v. 148, p. 213-218, February 2019

OTACHE, A. M.; CHINELO, S.; CHIDIOKA, R. Enhancing cassava peels starch as feedstock for biodegradable plastic. **J Mater Environ Sci**, v. 12, n. 2, p. 169-182, 2021. *Environ. Sci.*, 2021, 12(02), pp. 169-182

PADILHA, A. C. I. Starch Films Added of Açai Pulp ( *Euterpe oleracea* Martius). **Food/Feed Science and Technology** Braz. arch. biol. technol. 61, 2019

PALSIKOWSKI, P. A K,UCHNIER, C. N, PINHEIRO, I. F, & MORALES, A. R. (2018). Biodegradation in Soil of PLA/PBAT Blends Compatibilized with Chain Extender. **Journal of Polymers and the Environment**, 26(1), 330–341

PRIYADARSHI, R. ROY, S. GHOSH, T. BISWAS, D RHIM, . J.W.. Antimicrobial nanofillers reinforced biopolymer composite films for active food packaging applications - a review. **Sustainable Materials and Technologies**, 32 (2022)

QUEIRÓS, C. S. G. P., CARDOSO, S., LOURENÇO, A., FERREIRA, J., MIRANDA, I., LOURENÇO, M. J. V., & PEREIRA, H.. Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition. **Biomass Conversion and Biorefinery**. v 10, 2020

RASID, N.A.M. NAZMI, N.N.M. ISA, M.I.N. SARBON, N.M. Rheological, functional and antioxidant properties of films forming solution and active gelatin films incorporated with *Centella asiatica* (L.) urban extract. **Food Packaging and Shelf Life**, 18 (2018), pp. 115-124

RIVERA, S. X. C.; LEADLEY, C.; POTTER, L.; AZAPAGIC, A. . Aiding the design of innovative and sustainable food packaging: Integrating techno-environmental and circular economy criteria. **Energy Procedia**, v. 161, p. 190– 197, 2019.

ROY, S. RHIM, J. W. Preparation of carbohydrate-based functional composite films incorporated with curcumin. **Food Hydrocolloids**. volume 98, January 2020.

SANTOS, C. H. K., BAQUETA, M. R., COQUEIRO, A., DIAS, M. I., BARROS, L., BARREIRO, M. F., LEIMANN, F. V. Systematic study on the extraction of antioxidants from pinhão (*araucaria angustifolia (bertol.) Kuntze*) coat. **Food Chemistry**, 261, 2018 216–223.

SANTOS, P. D. F SIQUEIRA, L. V. TADINI, C. C. TRINDADE, C. S. F. Characterization of Cassava Starch Extruded Sheets Incorporated with Tucumã Oil Microparticles. **Processes** 2023, 11, 876.

SAHRAEE, S., MILANI, J. M., REGENSTEIN, J. M., & KAFIL, H. S.(2019). Protection of foods against oxidative deterioration using edible films and coatings: A review. **Food Bioscience**, 100451.

SAVI, A.; CALEGARI, M. A.; CALEGARI, G. C.; QUEIROZ, V A. S.; WERMUTH, D.; CUNHA, M. A. A.; OLDONI, T. L. C. Bioactive compounds from *Syzygium malaccense* leaves: optimization of the extraction process, biological and chemical characterization. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 42, 2020

SGANZERLA, W. G. PAESA, B. B. AZEVEDO, M. S. FERRAREZEA, J. P.ROSAB, C. G. NUNESA, M. R. VEECK, A. P. L. Bioactive and Biodegradable Film Packaging Incorporated with *Acca sellowiana* Extracts: Physicochemical and Antioxidant Characterization . **Chemical Engineering Transactions** v. 75, 2019

SHAIKH, S. YAQOOB , M., AGGARWAL, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **Current Research in Food Science**. V 4, 2021, Pages 503-520

SHAN, P. WANG, K. YU, F. YI, L. SUN, L. LI. H. Gelatin/sodium alginate multilayer composite film crosslinked with green tea extract for active food packaging application. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 662 (2023)

SHAIKH, S. YAQOOB, M. AGGARWAL P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **International Journal of Biological Macromolecules**, 253, 2023

SHARMA, R.; JAFARI, S. M.; SHARMA, S. Antimicrobial bio-nanocomposites and their potential applications in food packaging. **Food Control**, v. 112, 2020

SINGHA, M. K, TEWARI, R. ZAFAR, S. RANGAPPA, S. M. SIENGCHIN, S. A comprehensive review of various factors for application feasibility of natural fiber-reinforced polymer composites. **Results in Materials** 17, 2023

SIRIPATRAWAN, U. HARTE, B.R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract, **Food Hydrocoll.** 24 (2010) 770–775

SILVA, S. M. KO EHNLEIN, E. A. BRACHT, A. CASTOLDI, R. MORAIS, G. R. BAESSO, M. L. PERALTA, R. A. SOUZA, C. G. M. SÁ-NAKANISHI A. B. PERALTA, R. M. **Food Res. Int.**, 2014, 56, 1–8

SILVA, T. B. V.; MOREIRA, T. F. M.; OLIVEIRA, A.; BILCK, A. P.; GONÇALVES, O. H.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L. C.; BARREIRO, M. F.; YAMASHITA, F.; SHIRAI, B. M. A.; LEIMANN, F. V. Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze extract as a source of phenolic compounds in TPS/PBAT active films. **Food Funct**, v. 10, p. 7697–7706, 2019

SILVA, N. C.; BUENO, M. S. Implantação das Boas Práticas de Fabricação na indústria de embalagens para alimentos. **Revista Científica**, v. 1 n. 1, 2022.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M.. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152–178, 1999

SPENCE, C., VELASCO, C., 2018. On the multiple effects of packaging colour on consumer behaviour and product experience in the ‘food and beverage’ and ‘home and personal care’ categories. **Food Qual. Prefer.** 68, 226–237.

STAROSZCZYK, H. KUSZNIEREWICZ, B. MALINOWSKA-PAŃCZYK, E. SINKIEWICZ, I. GOTTFRIED, K. KOŁODZIEJSKA .I. Fish gelatin films containing aqueous extracts from phenolic-rich fruit pomace **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, 117 (2020),

STEINBACH, J., BURGARDT, V. DE C. DA F., CASTRO-CISLAGHI, F.P. DE, MACHADO-LUNKES, A., MARCHI, J.F., VIEIRA DO PRADO, N., MEWS, L.A.L., DE LIMA, V.A., MITTERER-DALTOÉ, M.L., 2021. Understanding consumer, consumption, and regional products: A case study on traditional colonial-type cheese from **Brazil. Int. J. Gastron. Food Sci.** 26, 100418.

STEINER, K. FLORACK, A. The Influence of Packaging Color on Consumer Perceptions of Healthfulness: A Systematic Review and Theoretical Framework. **Foods**, 2023, 12 (21), 3911

STEPTOE, A., POLLARD, T.M., WARDLE, J., 1995. Development of a Measure of the Motives Underlying the Selection of Food : the Food Choice Questionnaire Department of Psychology , St George ’ s Hospital Medical School , London. **Appetite** 25, 267–284.



- TAJEDDIN; B.; ARKHEDRI, M. Polymer Science and Innovative Applications Materials, Techniques, and Future Developments. **Chapter 16 - Polymers and food packaging**, p. 525-543, 2020
- VERSINO, F. ORTEGA, F. ONROY, Y. RIVERO, S. LÓPEZ, O. V. GARCIA, M. A. Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review on Past and Current Design Innovations. **Foods** 2023, 12(5)
- VESPUCCI, I. L.; NUNES, M. P. C.; CAMPOS, A. J.; JUNIOR, M. S. S. Starch-based biodegradable films for application in small fruit production. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.8, n.2, 2022.
- WANDERLEY, R. O. S. FIGUEIRÊDO, R. M. F. QUEIROZ, A. J. M. SANTOS , F. S. PAIVA, Y. F. FERREIRA, J. P. LIMA, A. G. GOMES, J. P. COSTA, C. C. SILVA, W. P. SANTOS, D. C. MARACAJÁ, P. B. The Temperature Influence on Drying Kinetics and Physico-Chemical Properties of Pomegranate Peels and Seeds. **Foods**, v 12, 2023
- WANG, H. et al. Preparation and characterization of multilayer films composed of chitosan, sodium alginate and carboxymethyl chitosan-ZnO nanoparticles. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 283, p. 397-403, 2019.
- WITONO, J. R.; RAMADHANY, P.; SANTOSO, H. PUTRI, A. The potency of norbixin as an active compound of natural dye in textile industry. **Materials today: Proceedings**. v.9, n.2, 2022
- YANO, Y., KATO, E., OHE, Y., BLANDFORD, D., 2019. Examining the opinions of potential consumers about plant-derived cosmetics : An approach combining word association , co-occurrence network , and multivariate probit analysis. *J. Sens. Stud.* 34, 1–9. <https://doi.org/10.1111/joss.12484>
- ZANELA, J.; CASAGRANDE, M.; RADAELLI, J. C.; DIAS, A. P.; JÚNIOR, A. W.; MALFATTI, C. R. M.; YAMASHITA, F. Active Biodegradable Packaging for Foods Containing *Baccharis dracunculifolia* Leaf as Natural Antioxidant. **Food Bioprocess Technology**. v. 14, p. 1301–1310, 2021.
- ZAVAREZE, E. DA R. et al. Development of oxidised and heat–moisture treated potato starch film. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 344–350, 2012.
- ZHANG, X.; LIAN, H.; SHI, J.; MENG, W.; PENG, Y. Plant extracts such as pine nut shell, peanut shell and jujube leaf improved the antioxidant ability and gas permeability of chitosan films. **International Journal Of Biological Macromolecules**. v. 148, p. 1242-1250, Abril 2020

ZULFGAR, F. AKHTAR, M. F. SALEEM, A. AKHTAR, B. SHARIF, A. SALEEM, U.  
Chemical characterization, antioxidant evaluation, and antidiabetic potential of *Pinus gerardiana* (Pine nuts) extracts. **J. Food Biochemistry**.2012

## APÊNDICES

### Apêndice 01

Validade discriminante de *construtos*.

	Conteúdo Natural	Controle de peso	Apelo Sensorial	Conveniência	Preço	Familiaridade	Saúde	Humor	Preocupação Ética	Embalagem
Conteúdo Natural	<b>0.873</b>	0.571***	0.128***	0.144***	<b>0.057</b>	0.331***	0.661***	0.317***	0.511***	0.501***
Controle de peso	0.73	<b>0.799</b>	0.144***	0.351***	0.182***	0.278***	0.61***	0.374***	0.311***	0.341***
Apelo Sensorial	0.115	0.221	<b>0.427</b>	0.184***	0.177***	0.196***	0.198***	0.202***	0.195***	0.222***
Conveniência	0.14	0.477	0.549	<b>0.733</b>	0.437***	0.354***	0.318***	0.427***	0.215***	0.241***
Preço	0.089	0.252	0.525	0.613	<b>0.81</b>	0.167***	0.138***	0.231***	<b>0.102</b>	0.222***
Familiaridade	0.421	0.394	0.478	0.478	0.231	<b>0.796</b>	0.378***	0.508***	0.54***	0.405***
Saúde	0.767	0.79	0.263	0.406	0.167	0.484	<b>0.78</b>	0.542***	0.515***	0.479***
Humor	0.377	0.504	0.502	0.519	0.295	0.682	0.666	<b>0.739</b>	0.428***	0.365***
Preocupação Ética	0.614	0.418	0.26	0.3	0.133	0.716	0.626	0.529	<b>0.912</b>	0.595***
Embalagem	0.536	0.407	0.289	0.259	0.256	0.474	0.515	0.404	0.672	<b>1</b>

Notas: Os valores diagonais na matriz acima (representados em vermelho) são a raiz quadrada de AVE, os valores abaixo da diagonal são valores HTMT e os valores acima da diagonal (representados em itálico) são as correlações entre os construtos latentes.

## Apêndice 02

### Estatística

AMOSTRA	FC	DPPH	L*	a	b	c	h	R	G	B	H	S	V	L	I	F. máx ruptura (mPa)	Elongação (%)
CONTROLE T0	0 k	0 i	90,20 ± 0,57	0,75 ± 0,06	1,24 ± 0,77	1,32 ± 0,53	52,45 ± 20,22	195,72 ± 0,85	192,64 ± 0,85	184,97 ± 1,10	0,12 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,77 ± 0,00	0,75 ± 0,00	0,75 ± 0,00	5,90 ± 0,38	-58,34 ± 0,96
CONTROLE REFRIGERADO T1	0 k	0 i	88,15 ± 0,34 a b	-0,31 ± 0,08 c	6,27 ± 0,52 f	6,19 ± 0,49 i	92,57 ± 0,59 c	194,53 ± 0,53 a b c d	187,89 ± 0,70 d e f	177,40 ± 1,65 c d e	0,10 ± 0,01 g	0,09 ± 0,01 n o p	0,76 ± 0,00 b c d	0,76 ± 0,004 d e f	0,73 ± 0,003 c d e	5,76 ± 0,58 b c d e f g	-58,62 ± 1,12 a
CONTROLE REFRIGERADO T2	0 k	0 i	88,07 ± 0,43 a b	0,044 ± 0,28 c	4,86 ± 0,56 f g	4,87 ± 0,56 j	89,37 ± 3,39 c	164,67 ± 1,79 f	157,28 ± 1,99 j	140,69 ± 2,54 i	0,11 ± 0,001 d e f	0,14 ± 0,006 l	0,64 ± 0,007 f	0,64 ± 0,008 h	0,60 ± 0,008 j	5,60 ± 1,38 c d e f g h	-56,11 ± 1,37 a
CONTROLE REFRIGERADO T3	0 k	0 i	79,73 ± 29,79 b	-0,07 ± 0,14 c	4,09 ± 0,54 g h	4,03 ± 0,59 j k	91,39 ± 1,11 c	194,21 ± 2,50 b c d	188,38 ± 3,05 d e f	173,81 ± 4,10 e f	0,12 ± 0,002 d e	0,11 ± 0,01 m n	0,76 ± 0,01 b c d	0,76 ± 0,01 d e f	0,73 ± 0,01 e f g	5,59 ± 1,72 c d e f g h	-58,43 ± 2,14 a
CONTROLE REFRIGERADO T4	0 k	0 i	87,67 ± 0,14 a b	-1,19 ± 0,03 c	3,09 ± 0,18 g h i	3,31 ± 0,18 k l	111,20 ± 0,77 b	192,8 ± 5,41 b c d e	187,31 ± 4,98 e f g	176,17 ± 5,04 d e	0,11 ± 0,01 e f g	0,09 ± 0,02 n o p q	0,76 ± 0,02 c d e	0,75 ± 0,02 e f g	0,73 ± 0,02 e f g	5,70 ± 2,34 b c d e f g h	-58,34 ± 1,27 a
CONTROLE REFRIGERADO T5	0 k	0 i	89,49 ± 0,47 a b	-0,48 ± 0,08 c	4,57 ± 0,73 f g	4,59 ± 0,73 j	95,91 ± 0,56 c	169,59 ± 2,84 f	169,70 ± 2,92 i	167,38 ± 2,74 g	0,17 ± 0,01 a	0,01 ± 0,004 s	0,67 ± 0,01 f	0,66 ± 0,01 h	0,66 ± 0,01 i	4,88 ± 3,18 g h	-38,90 ± 0,44 a
CONTROLE CONGELADO T1	0 k	0 i	90,82 ± 0,08 a	0,38 ± 0,08 c	0,37 ± 0,27 k	0,69 ± 0,43	40,23 ± 25,01	199,40 ± 1,96 a b	193,02 ± 1,68 a	181,91 ± 2,78 b	0,11 ± 0,01 f g	0,09 ± 0,01 n o p q	0,78 ± 0,01 a b	0,78 ± 0,01 a b c d	0,75 ± 0,01 a b c d	5,64 ± 0,84 c d e f g h	-65,39 ± 0,53 a

						o	gh		bcd	cd							
CONTROLE CONGELADO T2	0 k	0 i	90,78 ± 0,12 a	0,39 ± 0,07 c	0,37 ± 0,27 k	0,58 ± 0,15 o	38,96 ± 23,06 h	199,37 ± 2,43 a b	194,45 ± 2,46 a b c	183,13 ± 4,00 b c	0,12 ± 0,02 e d	0,08 ± 0,01 o p q	0,78 ± 0,01 a b	0,78 ± 0,01 a b c d	0,75 ± 0,01 a b c	5,58 ± 1,15 c defgh	-66,60 ± 0,40 a
CONTROLE CONGELADO T3	0 k	0 i	90,67 ± 0,24 a	0,02 ± 0,06 c	1,70 ± 0,35 l j k	1,70 ± 0,35 m N o	88,88 ± 2,17 c	201,20 ± 2,13 a	198,18 ± 2,15 a	190,02 ± 2,96 a	0,12 ± 0,004 d e	0,06 ± 0,01 r	0,79 ± 0,01 a	0,78 ± 0,01 abc	0,77 ± 0,01 a	6,08 ± 0,57 a b cdef	-56,20 ± 0,76 a
CONTROLE CONGELADO T4	0 k	0 i	88,28 ± 0,25 a b	-0,86 ± 0,03 c	1,02 ± 0,29 i j k	1,34 ± 0,24 o n	131,04 ± 7,19 a	197,04 ± 3,20 a b	191,33 ± 3,40 b c d e	178,30 ± 5,12 c d e	0,12 ± 0,01 d e f	0,10 ± 0,01 m n o	0,77 ± 0,01 a b c	0,77 ± 0,02 b c d e	0,74 ± 0,02 b c d e	6,40 ± 3,76 a b c	-57,03 ± 0,54 a
CONTROLE CONGELADO T5	0 k	0 i	90,62 ± 0,17 a	-0,25 ± 0,04 c	1,98 ± 0,67 i j k	2,01 ± 0,66 m n	98,41 ± 0,72 c	188,75 ± 3,04 d e	182,14 ± 4,51 g h	168,85 ± 3,65 f g	0,11 ± 0,01 e f g	0,11 ± 0,01 m n	0,74 ± 0,01 d e	0,74 ± 0,01 f g	0,71 ± 0,01 g h	6,84 ± 3,50 a b	-64,10 ± 0,42 a
CONTROLE AMBIENTE T1	0 k	0 i	90,54 ± 0,25 a	0,25 ± 0,06 c	1,19 ± 0,41 j k	1,22 ± 0,39 o n	76,16 ± 6,77 d	195,74 ± 6,38 a b c	191,29 ± 8,15 b c d e f	182,40 ± 10,17 b c	0,12 ± 0,02 d e f	0,07 ± 0,03 p q r	0,77 ± 0,03 a b c	0,76 ± 0,03 b c d e	0,74 ± 0,03 b c d e	5,41 ± 0,89 c defgh	-61,75 ± 3,63 a
CONTROLE AMBIENTE T2	0 k	0 i	90,48 ± 0,27 a	0,25 ± 0,06 c	1,19 ± 0,41 j k	1,22 ± 0,39 o n	76,16 ± 6,77 d	198,73 ± 1,51 a b	195,51 ± 1,73 a b	185,45 ± 3,17 a b	0,13 ± 0,005 c d	0,07 ± 0,01 q r	0,78 ± 0,01 a b c	0,78 ± 0,01 a bcde	0,76 ± 0,01 a b	5,68 ± 2,35 b c defgh	-58,46 ± 0,42 a
CONTROLE AMBIENTE T3	0 k	0 i	90,54 ± 0,25 a	0,25 ± 0,06 c	1,19 ± 0,41 j k	1,22 ± 0,39 o n	76,06 ± 6,92 d	186,56 ± 0,89 e	181,45 ± 0,88 h	160,87 ± 1,11 h	0,13 ± 0,002 b c	0,14 ± 0,004 l	0,73 ± 0,004 e	0,73 ± 0,004 g	0,69 ± 0,004 h	6,28 ± 0,41 a b cde	-60,82 ± 0,38 a
CONTROLE AMBIENTE T4	0 k	0 i	90,14 ± 0,30 a	11,01 ± 0,12 abc	4,08 ± 0,77 gh	4,08 ± 0,78 jk	92,82 ± 1,34 c	194,77 ± 2,78 a b c d	188,92 ± 2,89 c d e f	174,55 ± 3,79 e f	0,12 ± 0,002 d e	0,10 ± 0,01 m n	0,76 ± 0,01 a b c d	0,76 ± 0,01 cde f	0,73 ± 0,01 d e f	6,32 ± 0,26 a b c d	-60,82 ± 0,46 a
CONTROLE AMBIENTE T5	0 k	0 i	87,76 ± 0,11 a	10,33 ± 0,31 bc	2,48 ± 0,39	2,67 ± 0,38 l	112,06 ± 2,35 b	189,01 ± 0,53 c d e	185,86 ± 0,057 f	167,46 ± 1,09 g	0,14 ± 0,001 b	0,11 ± 0,001 m	0,74 ± 0,002 d e	0,74 ± 0,003 fg	0,71 ± 0,002 f g h	7,00 ± 1,88 a	-34,91 ± 0,56 a

			b		h i j	m			g h								
PINHÃO T0	3705,22 ± 106,71	3,23 ± 0,02	52,71 ± 5,73	22,01 ± 2,51	28,87 ± 1,11	36,11 ± 0,89	53,45 ± 3,25	89,26 ± 4,29	54,01 ± 3,41	50,61 ± 3,99	0,02 ± 0,01	0,44 ± 0,03	0,36 ± 0,02	0,27 ± 0,01	0,25 ± 0,01	19,71 ± 0,69	-95,77 ± 15,43
PINHÃO REFRIGERADO T1	3804,50 ± 73,00 a	3,73 ± 0,02 h	41,35 ± 2,52 e	21,19 ± 2,77 a b	17,68 ± 1,56 e	27,02 ± 0,85 h	40,28 ± 2,93 g h	106,74 ± 2,91 i j k	74,23 ± 2,67 k	71,41 ± 2,61 j	0,02 ± 0,005 i	0,36 ± 0,02 k	0,42 ± 0,01 i j	0,42 ± 0,01 k l	0,32 ± 0,01 k	-5,07 ± 3,63 fgh	-149,30 ± 12,09 bc
PINHÃO REFRIGERADO T2	3521,18 ± 55,95 d	4,09 ± 0,09 a b	44,37 ± 1,38 d e	20,27 ± 0,32 a b	19,81 ± 1,21 d	28,35 ± 1,03 g	44,65 ± 1,19 f g h	99,79 ± 2,29 k l M	59,87 ± 1,25 m n	44,90 ± 1,48 m n	0,05 ± 0,002 h	0,56 ± 0,01 f	0,40 ± 0,01 j k	0,40 ± 0,01 n l m	0,27 ± 0,01 l m n	5,25 ± 1,40 c d e f g h	-159,75 ± 17,84 b b c d
PINHÃO REFRIGERADO T3	3083,09 ± 61,99 e	3,98 ± 0,04 c d e	52,19 ± 4,21 c d	22,00 ± 2,09 a b	28,47 ± 1,16 a b	36,17 ± 0,41 c	52,34 ± 3,68 e f g	90,42 ± 3,37 o	57,11 ± 1,28 m n o	54,44 ± 1,33 k	0,02 ± 0,004 i	0,40 ± 0,01 j	0,34 ± 0,008 n	0,35 ± 0,007 p	0,26 ± 0,009 m n o	5,51 ± 1,67 c d e f g h	-134,93 ± 41,33 b
PINHÃO REFRIGERADO T4	2026,81 ± 26,48 g	3,92 ± 0,04 e f	48,02 ± 3,75 c d e	22,39 ± 1,33 a b	26,82 ± 2,05 b c	34,68 ± 0,83 d	50,78 ± 4,14 e f g h	88,62 ± 1,71 o	51,86 ± 1,00 o p	47,73 ± 0,87 l m	0,02 ± 0,003 i	0,47 ± 0,01 i	0,35 ± 0,01 m n	0,35 ± 0,005 o p	0,24 ± 0,005 o p	5,48 ± 2,45 c d e f g h	-134,93 ± 41,33 b
PINHÃO REFRIGERADO T5	1576,84 ± 20,90 i	3,90 ± 0,01 e f	50,47 ± 3,73 c d e	22,70 ± 1,63 a b	27,98 ± 1,30 a b	36,10 ± 0,49 c	52,00 ± 3,44 e f g	88,46 ± 1,10 o	57,07 ± 0,65 m n o	52,40 ± 0,54 k l	0,02 ± 0,002 i	0,40 ± 0,01 j	0,35 ± 0,01 m n	0,35 ± 0,01 o p	0,26 ± 0,005 m n o	5,32 ± 3,18 c d e f g h	-57,01, ± 1,66 a
PINHÃO CONGELADO T1	3800,70 ± 66,31 a	4,11 ± 0,03 a	43,48 ± 6,26 d e	22,92 ± 2,08 a b	21,62 ± 2,70 d	31,60 ± 0,81 e f	43,11 ± 5,95 f g h	130,55 ± 1,15 g	65,56 ± 1,01 l	47,89 ± 0,67 l m	0,04 ± 0,001 h	0,64 ± 0,01 d	0,51 ± 0,01 g	0,51 ± 0,005 i	0,32 ± 0,005 k	5,27 ± 0,63 c d e f g h	-231,08 ± 9,88 f
PINHÃO CONGELADO T2	3652,37 ± 14,26 b	4,06 ± 0,05 a b c	41,30 ± 1,02 e	23,48 ± 0,45 a b	20,24 ± 1,71 d	31,09 ± 0,94 f	40,91 ± 1,43 g h	123,60 ± 8,74 h	60,37 ± 4,68 l m	36,90 ± 0,74 o	0,04 ± 0,004 h	0,68 ± 0,01 c	0,48 ± 0,04 h	0,48 ± 0,02 j l	0,29 ± 0,02 l	5,18 ± 2,46 d e f g h	-219,99 ± 26,03 e f
PINHÃO CONGELADO T3	3120,49 ± 12,20 e	3,82 ± 0,04 g h	56,72 ± 4,13 c	20,30 ± 2,55 a b	29,23 ± 0,58 a	35,61 ± 1,56 c d	57,16 ± 2,24 e	121,71 ± 12,08 h	47,00 ± 8,60 p	39,88 ± 8,95 n o	0,04 ± 0,004 h	0,74 ± 0,04 b	0,40 ± 0,04 j k	0,40 ± 0,04 l m	0,23 ± 0,04 p q	5,16 ± 1,27 d f g h	-68,06 ± 7,23 a
PINHÃO CONGELADO T4	2184,35 ± 26,08 f	3,84 ± 0,03 f g	56,60 ± 3,63 c	17,85 ± 2,03 a b	27,68 ± 0,50 a b	32,68 ± 1,34 e	58,60 ± 2,50 e	93,68 ± 0,31 m n o	56,31 ± 0,24 m n o	46,69 ± 0,29 l m	0,03 ± 0,001 h	0,50 ± 0,004 h	0,37 ± 0,002 l m n	0,36 ± 0,002 n o p	0,26 ± 0,001 m n o	5,37 ± 1,17 c d e f g h	-71,06 ± 6,81 a

PINHÃO CONGELADO T5	1667,70 ± 21,20 h	3,81 ± 0,03 g h	52,84 ± 3,66 c d	21,08 ± 1,96 a b	28,52 ± 0,23 a b	35,56 ± 1,17 c d	54,52 ± 3,10 e f	98,23 ± 3,66 l m n	40,72 ± 1,25 q	22,82 ± 0,99 p	0,04 ± 0,001 h	0,76 ± 0,01 a	0,37 ± 0,01 l m	0,37 ± 0,01 no	0,21 ± 0,01 q r	4,55 ± 2,30 h	-227,32 ± 20,07 f
PINHÃO AMBIENTE T1	3770,35 ± 80,70 a	4,09 ± 0,05 a b	47,96 ± 1,50 c d e	24,71 ± 0,71 a b	28,57 ± 0,96 a b	37,79 ± 0,42 a	49,14 ± 1,69 e f g h	101,02 ± 5,69 j k l	52,13 ± 1,80 o p	46,29 ± 1,12 l m	0,02 ± 0,002 i	0,53 ± 0,005 g	0,39 ± 0,01 k l	0,39 ± 0,02 m n	0,26 ± 0,01 m n o	5,43 ± 1,18 c d e f g h	-179,17 ± 10,37 c d e
PINHÃO AMBIENTE T2	3585,44 ± 20,13 c	4,05 ± 0,17 a b c d	47,39 ± 2,21 c d e	24,46 ± 0,77 a b	28,32 ± 1,32 a b	37,52 ± 0,91 a b	49,27 ± 1,61 e f g h	107,44 ± 5,44 i j	53,36 ± 2,03 o	45,62 ± 1,42 m n	0,02 ± 0,003 i	0,53 ± 0,01 g	0,40 ± 0,02 j k	0,40 ± 0,01 l m	0,25 ± 0,01 n o	5,11 ± 2,03 e f g h	-193,14 ± 18,86 d e f
PINHÃO AMBIENTE T3	3114,16 ± 13,47 e	4,06 ± 0,05 a b c	42,79 ± 1,22 d e	26,53 ± 0,27 a	25,03 ± 1,05 c	36,37 ± 0,56 b c	43,62 ± 1,26 f g h	112,46 ± 0,58 i	54,66 ± 0,76 n o	45,86 ± 1,05 m n	0,02 ± 0,002 i	0,60 ± 0,01 e	0,44 ± 0,003 i	0,44 ± 0,002 k	0,28 ± 0,003 l m	5,43 ± 0,65 c d e f g h	-183,40 ± 15,99 c d e
PINHÃO AMBIENTE T4	2181,38 ± 34,89 f	3,97 ± 0,12 d e	45,05 ± 1,87 d e	24,91 ± 0,61 a b	28,56 ± 1,45 a b	37,74 ± 0,64 a	49,21 ± 2,46 e f g h	92,51 ± 1,37 n o	56,62 ± 0,40 m n o	47,04 ± 0,48 l m	0,04 ± 0,0005 h	0,49 ± 0,004 h i	0,36 ± 0,002 m n	0,36 ± 0,002 o p	0,26 ± 0,003 n o	5,64 ± 1,29 c d e f g h	-181,24 ± 7,33 c d e
PINHÃO AMBIENTE T5	1443,01 ± 21,40 j	4,01 ± 0,02 b c d	45,04 ± 1,13 d e	23,59 ± 0,36 a b	27,46 ± 1,00 a b	36,40 ± 0,52 b c	49,31 ± 1,44 e f g h	77,12 ± 0,94 p	40,95 ± 2,29 q	36,11 ± 1,01 o	0,02 ± 0,003 i	0,54 ± 0,01 f g	0,30 ± 0,003 o	0,30 ± 0,002 q	0,20 ± 0,003 r	4,92 ± 2,49 f g h	-56,88 ± 8,73 a

### Apêndice 03

#### Estadística do controle

Filme	FC	DPPH	L*	a	b	c	h	R	G	B	H	S	V	L	I	F. máx ruptura (MPa)	Elongação (%)
TO	0	0	90,2b	0,75a	1,24b	1,32b	52,4b	195,7ab	192,7a	184,9a	0,12a	0,05b	0,77ab	0,75a	0,75a	6,02a	-61,03ab
Ambiente T1	0	0	90,5ab	0,25c	1,18b	1,22b	76,1a	195,7ab	191,3a	182,4ab	0,11ab	0,07ab	0,77ab	0,74a	0,74a	5,41b	-61,75ab
Refrigerado T1	0	0	88,1c	-0,31d	6,27a	6,18a	92,5a	194,5a	187,9a	177,4c	0,10c	0,08a	0,76b	0,73a	0,73a	5,77ab	-58,61a
Congelado T1	0	0	90,8a	0,38b	0,37c	0,68c	40,2b	199,4a	193,0a	181,9ab	0,10bc	0,08a	0,78a	0,75a	0,75a	5,64ab	-65,39b

#### Estadística do Pinhão

Filme	FC	DPPH	L*	a	b	c	h	R	G	B	H	S	V	L	I	F. máx ruptura (MPa)	Elongação (%)
TO	3705,2a	3,23c	52,7a	22,0ab	28,9a	36,1b	53,4a	89,2d	54,0c	50,6b	0,01b	0,44c	0,35d	0,26c	0,25b	5,79a	-319,3c
Ambiente T1	3770,3a	4,08a	47,9ab	24,7a	28,6a	37,8a	49,1a	101,0c	52,1c	46,3c	0,02b	0,53b	0,38c	0,29b	0,26b	5,42ab	-179,2a
Refrigerado T1	3804,5a	3,73b	41,3c	21,2b	17,7c	27,0d	40,3b	106,7b	74,2a	71,4a	0,01b	0,36d	0,42b	0,36a	0,32a	5,07b	-149,3a
Congelado T1	3800,7a	4,11a	43,5bc	22,9ab	21,6b	31,6c	43,1b	130,5a	65,5b	47,9bc	0,03a	0,64a	0,51a	0,35a	0,32a	5,27ab	-231,1b



## Apêndice 04

### Delta E variação de cor

	T0	T1 A	T2A	T3A	T4A	T5A	T1C	T2C	T3C	T4C	T5C	T1R	T2R	T3R	T4R	T5R
T1A	0,60		0,06	0,01	11,14	10,53	0,87	0,86	0,58	2,34	0,79	5,62	4,43	11,19	3,56	3,54
T2A	0,57	0,05		0,05	11,14	10,52	0,89	0,87	0,59	2,29	0,80	5,60	4,40	11,14	3,52	3,53
T3A	0,60	0,01	0,06		11,14	10,53	0,87	0,86	0,57	2,34	0,78	5,62	4,43	11,19	3,56	3,54
T4A	10,65	11,16	11,15	11,15		2,96	11,28	11,28	11,26	10,77	10,98	21,55	11,19	15,11	10,18	10,58
T5A	9,96	10,54	10,52	10,53	2,94		10,62	10,61	10,74	9,60	28,75	5,38	10,56	13,14	9,16	10,22
T1C	1,13	0,87	0,88	0,87	11,27	10,62		0,05	1,38	2,66	1,60	5,90	5,27	11,70	4,23	4,40
T2C	1,10	0,86	0,87	0,87	11,26	10,60	0,04		1,38	2,62	1,60	5,90	5,25	11,66	4,20	4,39
T3C	0,98	0,59	0,60	0,58	11,25	10,74	1,39	1,38	0,01	2,62	0,27	4,63	4,09	11,20	3,50	3,13
T4C	2,51	2,51	2,47	2,51	12,40	11,30	2,89	2,85	2,62	1,72	2,75	5,26	3,95	9,14	2,97	3,97
T5C	1,31	0,95	0,95	0,94	11,46	10,97	1,74	1,73	0,39	2,76		4,51	3,86	11,09	3,46	2,91
T1R	5,53	5,65	5,63	5,64	11,70	11,30	6,51	6,49	5,23	5,39	4,51		1,46	8,70	3,56	2,30
T2R	4,26	4,43	4,41	4,42	11,19	10,56	5,27	5,25	4,09	3,94	2,94	1,41		8,38	2,16	1,50
T3R	10,88	11,19	11,14	11,18	15,20	13,23	11,69	11,65	11,18	9,13	4,07	3,84	8,37		8,10	9,77
T4R	3,68	3,72	3,69	3,72	12,49	11,54	4,44	4,41	3,51	2,98	4,38	3,26	2,20	8,10		2,86
T5R	3,62	3,62	3,61	3,61	11,52	11,14	4,48	4,47	3,14	3,99	2,72	2,00	1,54	9,79	2,88	
	T0	T1 A	T2A	T3A	T4A	T5A	T1C	T2C	T3C	T4C	T5C	T1R	T2R	T3R	T4R	T5R
T1A	5,48		0,67	6,54	2,91	3,32	8,46	10,74	9,83	11,06	6,09	13,23	10,47	5,03	2,91	3,28
T2A	5,88	0,66		6,03	2,39	2,65	7,91	10,17	10,26	11,35	6,42	12,68	9,96	5,40	2,64	3,57
T3A	11,56	6,52	6,02		4,49	4,43	5,02	5,88	15,83	16,52	11,95	9,20	8,31	10,99	6,90	9,08
T4A	8,20	2,91	2,40	4,50		1,72	7,39	9,25	12,57	13,56	8,68	12,09	9,94	7,71	4,26	5,88
T5A	7,95	3,31	2,64	4,44	1,71		6,08	8,14	12,26	12,90	8,26	10,74	8,38	7,39	3,26	5,52
T1C	11,77	8,45	7,90	5,01	7,38	6,08		2,65	15,49	15,30	11,76	4,82	3,33	11,11	6,91	9,44
T2C	14,38	10,73	10,16	5,86	9,23	8,13	2,64		18,13	17,91	14,40	3,44	4,46	13,73	9,45	12,02
T3C	4,37	9,84	10,25	15,84	12,56	12,26	15,49	18,13		2,91	4,02	19,26	15,54	4,90	9,28	6,81
T4C	5,82	11,07	11,35	16,53	13,56	12,91	15,31	17,92	2,90		5,02	18,55	14,75	6,11	9,75	7,82
T5C	1,00	6,09	6,42	11,97	8,68	8,26	11,77	14,41	4,02	5,02		15,81	12,18	1,13	5,29	2,92
T1R	15,97	13,21	12,66	9,19	12,07	10,73	4,80	3,43	19,25	18,53	15,79		3,81	15,32	11,37	13,84
T2R	12,44	10,45	9,95	8,30	9,92	8,37	3,32	4,46	15,53	14,73	12,17	3,82		11,80	8,17	10,47
T3R	0,65	5,03	5,40	11,00	7,71	7,39	11,12	13,74	4,90	6,10	1,13	15,33	11,81		4,52	1,92
T4R	5,14	2,91	2,63	6,91	4,26	3,27	6,92	9,47	9,27	9,74	5,28	11,39	8,19	4,51		2,73
T5R	2,51	3,28	3,57	9,09	5,88	5,53	9,45	12,03	6,81	7,81	2,92	13,85	10,49	1,92	2,74	

menores valores

maiores valores