



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Emerson Eiji Zenin

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES INTELIGENTES POR
TERMOCOMPRESSÃO**

Florianópolis

2022

Emerson Eiji Zenin

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES INTELIGENTES POR
TERMOCOMPRESSÃO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.
Orientador: Prof. Dr. Germán Ayala Valencia
Coorientadora: Msc. Betina Luiza Koop

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC.

Zenin, Emerson Eiji

Produção e caracterização de filmes por termocompressão / Emerson Eiji Zenin; orientador, Germán Ayala Valencia, coorientador, Betina Luiza Koop, 2022. 58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Antocianina. 3. Amido. 4. Embalagem inteligente. 5. Nanoargila. I. Valencia, Germán Ayala . II. Koop, Betina Luiza. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título

Banca Examinadora:

Prof. Germán Ayala Valencia, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Betina Luiza Koop, Msc.
Coorientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, Dra.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Jéssica de Matos Fonseca, Msc.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jorge e Zenilda, por sempre me apoiarem e acreditarem nos meus sonhos, sem vocês, essa conquista não seria possível.

Aos meus irmãos, Natália e Eugênio, que sempre foram exemplos para mim, pela nossa amizade e companheirismo.

Aos meus grandes amigos Carlos, Patrícia, Rafael e Valter, que mesmo pela distância, sempre encontravam uma forma de estarem presentes em minha vida, me apoiando e motivando em todos os momentos nesses mais de 10 anos de amizade.

As amizades que fiz durante a graduação, em especial a Ana Luisa Schiessl Fabri, pela parceria, ajuda e companheirismo nesses últimos anos de graduação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Germán Ayala Valencia e a minha coorientadora Msc. Betina Luiza Koop, por toda sabedoria, dedicação, ensinamentos e paciência neste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Departamento de Engenharia Química e Alimentos, por toda a estrutura e pelo ensino de qualidade.

E por fim, agradeço aos membros da banca examinadora, Prof^a. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, e Msc. Jéssica de Matos Fonseca por aceitarem o convite.

RESUMO

Embalagens inteligentes são capazes de fornecer para os consumidores informação em tempo real sobre a qualidade e segurança dos alimentos embalados. Podem ser utilizados dispositivos com pigmentos naturais, não tóxicos, solúveis em água e sensíveis a variações de pH, como as antocianinas, porém sua estabilidade é um fator limitante para a aplicação em larga escala na indústria de alimentos. Com a finalidade de estudar a viabilidade do uso de antocianinas em embalagens inteligentes, este trabalho produziu e caracterizou filmes indicadores colorimétricos à base de fécula de mandioca contendo biohíbrido (BH), obtido pela adsorção de antocianinas extraídas do fruto jabolão (*Syzygium cumini*) em nanoargilas (montmorilonita, MMT). Os filmes à base de amido de mandioca com diferentes concentrações de BH (0, 1, 3 e 5 % p/p) foram elaborados por termocompressão. Em sequência, os filmes foram acondicionados em dessecadores contendo brometo de sódio (NaBr) (umidade relativa de 58%) a temperatura ambiente por sete dias antes de serem realizadas as análises de caracterização. As análises de caracterização dos filmes foram: umidade, espessura, opacidade, colorimetria, solubilidade em água, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e ângulo de contato. Os resultados obtidos mostram que a higroscopicidade e espessura dos filmes não apresentaram alterações signi significativas com o aumento da concentração de BH. A solubilidade aumentou enquanto a opacidade e hidrofobicidade diminuíram em filmes com maiores teores de BH. Os filmes BH-3% e BH-5% apresentam cores intensas com tonalidade rosada. As interações entre as antocianinas e as cadeias poliméricas ocorrem por ligações de hidrogênio. A aplicação dos filmes como indicador colorimétrico no armazenamento de camarão demonstrou que os filmes mudaram de cor em pH básico, porém os melhores resultados visuais foram apresentados pelos filmes BH-5%. Portanto, o BH pode ser utilizado em filmes indicadores colorimétricos para monitorar a qualidade de camarões refrigerados

Palavras-chave: Antocianina. Amido. Embalagem indicadora. Nanoargilas.

ABSTRACT

Smart packaging is able to provide consumers with real-time information about the quality and safety of packaged foods. Devices with natural, non-toxic, water-soluble and sensitive to pH variations, such as anthocyanins, can be used, but their stability is a limiting factor for large-scale application in the food industry. In order to study the feasibility of using anthocyanins in smart packaging, this work produced and characterized colorimetric indicator films based on cassava starch containing biohybrid (BH), obtained by the adsorption of anthocyanins extracted from the jambolan fruit (*Syzygium cumini*) in nanoclays (montmorillonite, MMT). Cassava starch-based films with different concentrations of BH (0, 1, 3 and 5 % w/w) were produced by thermocompression. Subsequently, the films were placed in desiccators containing sodium bromide (NaBr) (relative humidity of 58%) at room temperature for seven days before the characterization analyzes were carried out. The characterization analyzes of the films were: thickness, opacity, colorimetric analysis, humidity, solubility, contact angle, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and application of the films in shrimp storage. The obtained results show that the hygroscopicity and thickness of the films did not present significant alterations with the increase of the concentration of BH. Solubility increased while opacity and hydrophobicity decreased in films with higher BH contents. BH-3% and BH-5% films have intense colors with a pinkish hue. Interactions between anthocyanins and polymer chains occur through hydrogen bonds. The application of the films as a colorimetric indicator in shrimp storage showed that the films changed color at basic pH, but the best visual results were presented by the BH-5% films. Therefore, BH can be used in colorimetric indicator films to monitor the quality of chilled shrimp.

Keywords: Anthocyanin. Starch. Indicator packaging. Nanoclays

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Indicador de tempo-temperatura	20
Figura 2- Representação da estrutura química (a) Amilose e (b) Amilopectina.	23
Figura 3 - Representação da estrutura química da MMT.	26
Figura 4 - Estrutura básica do cátion flavilium.....	27
Figura 5 – Fluxograma de etapas realizadas no trabalho.	30
Figura 6 - Espaço de cor CIElab	34
Figura 7 - Filmes desenvolvidos: A (0 % BH, controle), B (1 %), C (3%) e D (5%) de BH.	37
Figura 8 - Variação de cor dos filmes de acordo com a mudança de pH e concentração de BH.	40
Figura 9 - Variação de cor do extrato de antocianinas de acordo com o pH.....	41
Figura 10 - FTIR dos filmes indicadores e branco.....	46
Figura 11 - Aplicação dos filmes como indicador de frescor do camarão.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do jambolão	29
Tabela 2 - Espessura dos filmes de diferentes concentrações	38
Tabela 3 - Opacidade dos filmes.....	38
Tabela 4 - Coordenadas dos parâmetros de cores (L^* , a^* , b^* e ΔE^*) dos filmes	39
Tabela 5 - Coordenadas de cor da escala CIELab dos filmes submetidos a soluções tampões com diferentes valores de pH.	41
Tabela 6 - Teor de umidade nos filmes	43
Tabela 7 - Solubilidade em água dos filmes.....	44
Tabela 8 - Ângulo de contato	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACN: Antocianina;

AOAC: Association of Official Analytical Chemists;

BH: Biohíbrido;

FTIR: Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier;

MMT: Montmorilonita;

UR: Umidade Relativa.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo geral.....	16
1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Embalagem.....	18
2.1.1	Embalagens inteligentes	19
2.1.2	Embalagens biodegradáveis	20
2.2	Matriz polimérica	22
2.2.1	Amido	22
2.2.2	Fécula de mandioca	24
2.2.3	Propriedade do filme à base de amido	24
2.2.4	Nanoargilas	25
2.2.5	Antocianinas.....	26
2.2.6	Jambolão.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Extração de antocianinas de jambolão e produção do biohíbrido	31
3.1.1	Produção dos filmes à base de fécula de mandioca	31
3.2	Caracterização dos filmes	32
3.2.1	Espessura	32
3.2.2	Opacidade	32
3.2.3	Análise colorimétrica dos filmes	33
3.2.4	Umidade	35
3.2.5	Solubilidade.....	35
3.2.6	Ângulo de contato.....	36
3.2.7	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) ...	36

3.2.8	Aplicação dos filmes no armazenamento de camarão	36
3.2.9	Análise estatística.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Caracterização dos filmes	37
4.2	Análise de espessura	37
4.3	Opacidade.....	38
4.4	Análise colorimétrica dos filmes	39
4.5	Teor de umidade	43
4.6	Análise de solubilidade	44
4.7	Ângulo de contato	44
4.8	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)....	45
4.9	Aplicação dos filmes como embalagem indicadora	47
5	CONCLUSÃO.....	48
6	TRABALHOS FUTUROS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade e a segurança dos alimentos sempre esteve presente na sociedade e por isso se vê a necessidade de desenvolver embalagens capazes de garantir maior tempo de vida de prateleira dos produtos. Mas além de atuarem como uma barreira de proteção para os alimentos, as embalagens também podem ser um meio para informar e comunicar o consumidor sobre a qualidade do produto adquirido (TEIXEIRA et al., 2021; Fontoura et al., 2016).

Para atender a necessidade dos consumidores de saberem em quais condições os alimentos se encontram, as embalagens passaram por um processo de desenvolvimento e melhoramento. Através desses estudos, surgiu uma nova categoria de embalagens para alimentos, sendo denominadas como embalagens inteligentes (TEIXEIRA et al., 2021).

A embalagem inteligente é provida de tecnologia que a torna capaz de captar alterações do ambiente interno ou externo, através de alterações bioquímicas, e traduzir essas informações de forma visual, informando a situação que o alimento embalado se encontra. Indicadores colorimétricos são comumente utilizados nessas embalagens, principalmente pigmentos sintéticos, devido a sua maior capacidade de estabilidade e também por serem mais baratos que os pigmentos naturais, porém o crescente desejo dos consumidores pela utilização de produtos naturais e ambientalmente amigáveis se faz necessário a utilização de pigmentos naturais para substituírem os sintéticos (LEANDRO et al., 2020). Dessa forma, a antocianina (ACN) é uma alternativa, porque são pigmentos não tóxicos, naturais, solúveis em água e bastante sensíveis a mudanças de pH do meio, além disso, elas são encontradas abundantemente em flores e frutas (TEIXEIRA et al., 2021).

O jambolão (*Syzygium cumini*) é uma fruta não tóxica, sem valor de mercado, encontrada com facilidade no território nacional e rica em ACNs, porém este fruto ainda é inexplorado. Na literatura poucos estudos utilizaram ACNs extraídas do fruto como pigmento para embalagens inteligentes de alimentos (MERZ et al., 2019).

Outra preocupação do mercado de embalagens é em relação ao material polimérico utilizado, atualmente é um consenso de todos que o lixo plástico é um problema (IMTHON, 2021), visto que é um material que leva centena de anos para se degradar e quando descartado de forma indevida, causa grandes problemas

ambientais (FILHO et al., 2020). Assim, materiais poliméricos produzidos a partir de materiais orgânicos, que se degradam com facilidade, como a fécula de mandioca tem se tornado uma alternativa para substituir os plásticos tradicionais (QUIN et al., 2019).

Para o desenvolvimento de filmes poliméricos biodegradáveis, a fécula de mandioca tem-se mostrado uma matéria-prima promissora, devido às propriedades físico-químicas do amido, que possibilitam a formação de filmes poliméricos. Além disso tem se utilizado a fécula de mandioca no desenvolvimento de filmes inteligentes como indicador colorimétrico, combinando sua matriz polimérica com extrato de ACNs de diferentes fontes como repolho roxo e goji berry (CHENG et al., 2021; QUIN et al., 2021).

É vasta a utilização do pigmento de ACN na indústria de alimentos, porém a sua aplicação é limitada devido à sua alta instabilidade a fatores como pH, temperatura de armazenamento, processamento e luz UV (KOOP et al., 2022), desta forma estudos têm sido desenvolvidos para buscar formas de estabilizá-las com a utilização de materiais como as nanoargilas, que ajudam a proteger os pigmentos do oxigênio e da variação de temperatura (LEANDRO et al., 2021).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar filmes indicadores colorimétricos a base de fécula de mandioca e ACNs estabilizadas em nanoargilas por termocompressão, com a perspectiva de buscar formas que consigam aprimorar as propriedades de uma embalagem biodegradável inteligente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver filmes indicadores colorimétricos à base de fécula de mandioca e antocianinas (ACNs) estabilizadas em nanoargilas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir filmes à base de fécula de mandioca e ACNs estabilizadas em montmorilonita por termocompressão;
- Caracterizar a espessura e a cor dos filmes de acordo com a escala CIELab;

- Realizar estudos de estrutura química e de solubilidade em água dos filmes;
- Estudar o comportamento dos filmes perante as variações de pH;
- Avaliar a aplicação dos filmes como indicador colorimétrico no armazenamento de camarão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EMBALAGEM

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária, define embalagem de alimentos como: invólucro, recipiente ou qualquer forma de acondicionamento, removível ou não destinada a cobrir, empacotar, envasar, proteger ou manter, especificamente ou não, matérias-primas, produtos semielaborados ou produtos acabados (BARÃO, 2011), logo, é através delas que as embalagens atuam de forma a retardar a deterioração, estender a vida de prateleira, manter ou aumentar a qualidade e segurança do alimento oferecendo proteção contra as três principais classes de influência externa que são: química, biológica e física. (MARSH e BUGUSU, 2007).

Na indústria de alimentos as embalagens, além de protegerem, também exercem outras funções dentre elas a comunicação, é através dela que o consumidor encontra informações obrigatórias e exigidas por lei, como a origem, composição, informação nutricional, peso e entre outras informações necessárias (CHENG et al., 2021), e desta forma, é essencial que as embalagens consiga passar de forma clara todos os esclarecimentos sobre o alimento para o consumidor, não deixando margem para dúvidas ou desinformação.

A importância das embalagens é tão alta, que para alguns analistas, o resultado do mercado deste segmento, pode ser considerado como termômetro de uma economia, permitindo aferir o volume de atividade do setor produtivo (GORGULHO et al., 2018), nos últimos anos o país apresenta saldos positivos em relação a indústria de embalagens, de acordo com a Associação Brasileira de Embalagem, em 2020, a indústria de embalagem apresentou um crescimento de 0,5% na sua produção, resultado razoável, visto que há um cenário de pandemia causada pelo vírus da Covid-19 assolando o país; e o setor de alimentos foi um dos principais responsáveis a alavancar esse resultado, com um aumento de 4,2% em relação a 2019.

Uma embalagem eficiente é necessária para qualquer tipo de alimento, seja ele fresco ou processado, porém devido a ação de estressores externos como a luz, calor e ação de microrganismos, acabam diminuindo a vida útil esperada do alimento embalado (CHENG et al., 2022), por isso, nos últimos anos a indústria de embalagens

tem se reinventado e procurado desenvolver novos tipos de embalagens que consiga entregar os alimentos mais frescos possíveis, com vida de prateleira prolongada e que possam percorrer grandes distâncias na sua cadeia de distribuição. Dentre essas inovações estão as embalagens ativas e embalagens inteligentes (KRUIJF et al., 2002).

2.1.1 Embalagens inteligentes

Embalagens inteligentes tem como objetivo comunicar o estado de conservação dos alimentos e assim, facilitar a tomada de decisão dos consumidores de forma rápida, precisa e segura (OTLES E YALCIN, 2008).

As embalagens inteligentes monitoram as condições dos alimentos embalados para fornecer informações sobre a qualidade dos produtos durante o transporte e armazenamento (KRUIJF et al., 2002), são sistemas que normalmente usam rótulos ou etiquetas que auxiliam no monitoramento dos pontos críticos dos alimentos embalados e dessa forma, abastecem toda uma cadeia de informação (CHENG et al., 2022).

Uma variedade de indicadores são utilizados para o monitoramento de qualidade, como os de temperatura, crescimento microbiano, integridade da embalagem, tempo-temperatura, autenticidade de produto e de choques físicos (KRUIJF et al., 2002). Esses diferentes dispositivos utilizados, tornam as embalagens melhores ferramentas para comunicarem as condições dos alimentos, visto que eles vão acompanhá-los ao longo do ciclo de abastecimento, e assim, com as informações obtidas durante esse processo, pode-se avaliar e identificar problemas presentes na distribuição do alimento e traçar novas estratégias de armazenamento para reduzir o desperdício (YAM et al., 2005).

O sistema de embalagens inteligentes é dividido em três categorias: indicadores, sensores e portadores de dados, nos quais os indicadores e sensores têm a função de fornecer informações referentes à qualidade do produto, enquanto a classe dos portadores está ligada aos dados sobre a logística da cadeia de abastecimento (DRAGO et al., 2020).

A tecnologia de embalagens inteligentes ainda não é usada de forma ampla no mercado, pois a viabilidade econômica não é favorável devido aos altos custos de produção, porém já é possível encontrar alguns exemplos dessa tecnologia, como os indicadores de tempo-temperatura, que informam a faixa temperatura que o produto está exposto, como mostrado na Figura 1.

Figura 1- Indicador de tempo-temperatura.



Fonte: WarmMark®

2.1.2 Embalagens biodegradáveis

Nas últimas décadas houve um aumento na produção e consumo de materiais plásticos, o que agravou os problemas referentes ao descarte desses materiais. De acordo com a Associação Brasileira de Embalagens (ABRAE), só em 2019, o valor bruto de produção foi de R\$ 80,2 bilhões, sendo 41% do valor referentes às embalagens plásticas.

O descarte do lixo plástico é um grande problema, devido a sua composição, que apresenta elevada resistência, estabilidade física e química, que dificulta a decomposição no meio ambiente (IMTHON, 2021). Como exemplo, o polietileno é um dos principais componentes das embalagens plásticas, e apresenta estimativa de biodegradação de 200 anos (FILHO et al., 2020).

Os problemas causados pelo lixo plástico são cada vez mais preocupantes, de acordo com Moore (2008), fragmentos de plásticos representam de 60-80% dos

detritos presentes no mar, a presença de nanoplásticos e microplásticos têm gerado preocupações, pois são fáceis de serem transferidos dos oceanos para o ecossistema marinho, através dos diferentes níveis tróficos dentro da teia alimentar (PENG, 2020).

Estudos recentes apontam o acúmulo de microplásticos devido à ingestão, em diversas espécies marinhas, inclusive aquelas de interesse comercial, que são consumidas pelos seres humanos, como por exemplo sardinhas, biqueirão e carapau (SILVA, 2020).

Devido a esses e outros inúmeros problemas causados pelo lixo plástico, tem ocorrido uma grande mobilização pelas causas ambientais, a segurança alimentar e também a segurança dos alimentos e isso permitiu às pessoas buscarem formas de substituir o plástico por filmes para embalagens de alimentos que sejam biodegradáveis (QUIN et al., 2019).

A indústria de embalagens para alimentos, ciente dos problemas e interessada em atender o público preocupado com as consequências ambientais, passou a se interessar pelos filmes biodegradáveis. Filmes produzidos por biopolímeros são considerados uma das principais alternativas para substituir os plásticos, devido a sua capacidade de biodegradabilidade, biocompatibilidade e comestibilidade (MIR et al., 2018).

Para a produção de filmes biopoliméricos tem se utilizado, proteínas, polissacarídeos e lipídeos, componentes que são biodegradáveis e ambientalmente amigáveis (MIR et al., 2018), logo, existe uma variedade de compostos naturais que podem ser utilizados como matérias-primas para a fabricação dos filmes biodegradáveis.

Uma das grandes vantagens apresentadas pelos filmes produzidos a partir de biomoléculas é a capacidade de se degradar totalmente em pouco tempo sem deixar resíduos, 90% dos biopolímeros são degradados em até seis meses (CARR, 2008; IMTHON, 2021) e além disso, são um ótimo meio para inserção de antioxidantes, antifúngicos, cores e nutrientes (RHIM, 2013). Os biopolímeros são classificados de acordo com a sua origem (IMTHON, 2021), sendo eles:

1. Polímeros extraídos diretamente da biomassa: polissacarídeos e proteínas, como o amido, celulose, quitosana, caseína, gelatina, etc;

2. Polímeros produzidos por síntese química a partir de fontes renováveis de base biológica, como polivinil álcool (PVA);
3. Polímeros sintetizados por microrganismos, como o polihidroxialcanoatos (PHA).

A produção de filmes biodegradáveis com mistura de aditivos, como antioxidantes e agentes antimicrobianos tem recebido grande atenção, principalmente na elaboração de filmes utilizando extratos de plantas com altas concentrações de componentes fenólicos que possuem atividade antioxidante (MIR et al., 2018). Além disso, para a fabricação de filmes, o amido, tem sido muito utilizado para substituir parcialmente ou totalmente os polímeros plásticos, devido a sua facilidade de obtenção e baixo custo de produção, porém a sua aplicação em grande escala para a produção de filmes de amido tem encontrado dificuldades, por causa da solubilidade em água e sua fragilidade (LOZANO-NAVARRO et al., 2017). Por isso, uma das soluções encontradas para reverter esse problema, é a preparação de filmes com compósitos de reforços, como fibras de nanocelulose e nanoargilas (RAMMAK et al., 2021).

2.2 MATRIZ POLIMÉRICA

2.2.1 Amido

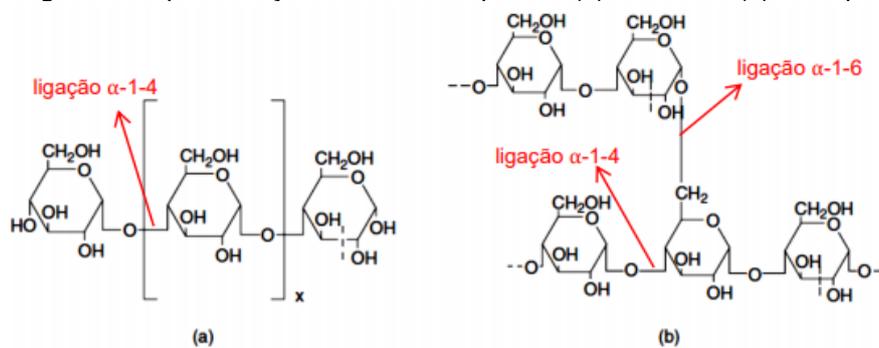
O amido é um polissacarídeo de reserva vegetal e está armazenado sob a forma de grânulos intracelulares e pode ser obtido de diversas fontes vegetais, como cereais, raízes e tubérculos; e as principais espécies utilizadas como fontes de amido comercial são o milho, trigo, arroz, batata e mandioca, porém o inhame e os grãos de aveia, atualmente tem sido visado como fontes promissoras do polissacarídeo (MALI et al., 2010; MORAES, 2009).

O amido é encontrado com facilidade na natureza, devido ao cultivo intensivo de grãos e tubérculos, logo, possui um baixo custo de obtenção e é renovável. Além de ser fonte de carboidrato, pode ser convertido quimicamente, fisicamente e biologicamente em compostos úteis para a indústria (OLIVEIRA, 2015). No entanto suas propriedades para produção de filmes dependem da fonte botânica, mas também

outros fatores como modificações químicas, composição do sistema, pH e força iônica do meio (MORAES, 2009).

Estruturalmente o amido é um homopolissacarídeo, formado por dois tipos de polímeros de glicose, a amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, com grau de polimerização de 200 a 3000, dependendo da fonte do amido. Já a amilopectina é um polímero de estrutura ramificada formada por unidades de D-glicose unidas em α -1,4 e ramificações em α -1, 6. As proporções dessas estruturas podem aparecer de formas diferentes, devido às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e também de acordo com o grau de maturação da planta. Os grânulos de amido são afetados com essas variações nas proporções entre os componentes e estruturas, suas propriedades físico-químicas e funcionais são afetadas, podendo comprometer as suas aplicações industriais (DENARDIN et al., 2008; MORAES ,2009).

Figura 2- Representação da estrutura química (a) Amilose e (b) Amilopectina.



Fonte: Oliveira,2015

Muitas propriedades funcionais do amido só ocorrem após a ruptura da estrutura do grânulo, que ocorre por aquecimento em meio aquoso (MORAES, 2009), o amido pode ter suas propriedades afetadas devido a ocorrência de alguns fenômenos, dentre eles a gelatinização, que é um processo de transformação do amido granular em uma pasta viscoelástica, ela ocorre em determinadas temperaturas, conhecida também como temperatura de gelatinização, que ocorre entre 70 a 80 °C, nesse processo, o amido granular em presença de água em excesso incha até atingir a temperatura de gelatinização que leva ao rompimento dos

grânulos, ocorrendo uma destruição de ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades (SOUZA E ANDRADE, 2000).

2.2.2 Fécula de mandioca

A fécula de mandioca, conhecida também como polvilho doce ou goma, é um pó fino, branco, inodoro e insípido (SILVA et al., 2012). De acordo com a instrução normativa N° 23 de dezembro de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a fécula de mandioca é o produto amiláceo extraído das raízes, não fermentada, obtida por decantação, centrifugação ou outros processos tecnológicos adequados, é muito utilizada na indústria de alimentos, aplicada como ingrediente, agente ligante, anti-aderente, base para fritura, espessante entre outros (ABAM, 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em 2020, a Tailândia e Vietnã foram os principais produtores de fécula de mandioca do mundo, no mesmo período o Brasil produziu 538,8 mil toneladas do produto (CEPEA, 2021). No período de 2015 a 2019 os maiores exportadores de fécula no Brasil foram, Paraná, seguido por Mato Grosso do Sul e São Paulo (COÊLHO, 2019). O Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná, divulgou que em 2019 a indústria paranaense foi responsável por 70% da produção fécula de mandioca do país, o equivalente a 356 mil toneladas aproximadamente.

Porém devido aos problemas de sazonalidades e conseqüentemente com o preço da mandioca e dos derivados, o consumo da fécula nos últimos anos foi afetado, principalmente com a migração de alguns mercados para o amido de milho, estes dados indicam que há uma mudança na dinâmica da indústria de fécula, esse setor ainda tem grande potencial, porém necessita minimizar esses problemas para que consiga crescer no mercado (CEPEA, 2018).

2.2.3 Propriedade do filme à base de amido

O amido por ser um polissacarídeo biodegradável, renovável e atóxico, é um dos componentes mais visados para ser utilizado na produção de filmes biodegradáveis e para que isso ocorra, a estrutura granular semicristalina do

polissacarídeo precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e essencialmente amorfa e isso acontece durante o fenômeno de gelatinização. Porém, os filmes a base de amido apresentam flexibilidade limitada e por isso são utilizados plastificantes em sua composição, como os polióis, sorbitol e glicerol, que melhoram as propriedades mecânicas do filme. Além dos plastificantes e outros aditivos também têm sido utilizados na produção de filmes, agentes antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, aromatizantes e pigmentos (BALAN et al., 2013).

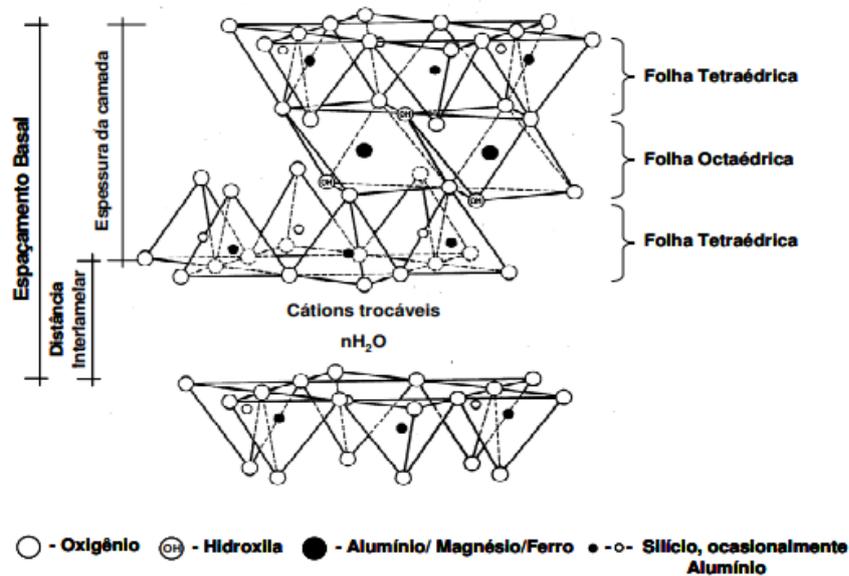
As limitações dos filmes de amido estão relacionadas com as fortes ligações polares presentes no amido gelatinizado, que os tornam quebradiços, mas com a adição dos plastificantes, substâncias que têm alto ponto de fusão e baixa volatilidade, promovem o enfraquecimento dessas forças intermoleculares, tornando-os mais flexíveis (MORAES, 2009). Além disso, outra barreira na viabilidade da utilização do amido como matéria-prima para produção de filmes é a sua forte característica hidrofílica que leva o filme a ser suscetível à umidade, porém alguns estudos têm mostrado resultados promissores quanto a melhorias nas propriedades mecânicas e de barreiras, quando nanocompósitos, como as nanoargilas, são adicionadas na produção dos biofilmes (AVELLA et al., 2005).

2.2.4 Nanoargilas

As argilas minerais tem sido muito utilizadas na produção de nanocompósitos, que são materiais híbridos no qual pelo menos um dos componentes tem dimensões nanométricas e esses componentes podem ser de natureza inorgânica/inorgânica, inorgânica/orgânica ou orgânica/orgânica (ESTEVES et al., 2004). O interesse pelas argilas se dá por ser abundante na natureza, apresentar uma granulometria extremamente fina, atóxica e de baixo custo.

Uma das nanorgilas mais estudadas é a montmorilonita (MMT), que é um silicato lamelar, sua estrutura consiste em duas folhas tetraédricas de sílica e uma folha central octaédrica de alumina, com formato de placas ou lâminas, que são unidas por átomos de oxigênio comuns a ambas as folhas (MORAES, 2009).

Figura 3 - Representação da estrutura química da MMT.



Fonte: Moraes, 2009

É possível realizar trocas em sua estrutura, como a troca dos cátions hidratados por surfactantes catiônicos como o alquil amônio, para que estes silicatos lamelares se tornem mais organofílicos e por isso, acabam sendo mais compatíveis com os polímeros orgânicos e com a maioria dos polímeros hidrofóbicos (KAMPEERAPAPPU et al.,2007; Brito, 2009). E além disso, esse material possui propriedades únicas como boa força mecânica, estabilidade térmica, barreira molecular e proteção a corrosão, que o torna um excelente composto a ser adicionado nas formulações para o preparo de filmes biopoliméricos à base de fécula de mandioca, pois a MMT ajuda a melhorar as propriedades físicas dos filmes, tornando-os mais resistentes (KAMPEERAPAPPU et al.,2007).

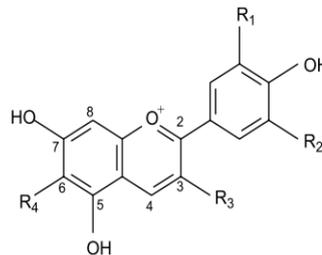
2.2.5 Antocianinas

As antocianinas (das palavras gregas anthos, flor e kianos, azul) são pigmentos vegetais responsáveis pela maioria das cores azul, roxa e todas as tonalidades de vermelho encontradas em flores, frutos, algumas folhas, caules e raízes de plantas (MARKAKIS, 1982), depois da clorofila, as ACNs são o mais importante grupo de pigmentos de origem vegetal, elas desempenham diversas funções nas plantas como: antioxidantes, proteção a ação da luz, mecanismo de

defesa e função biológica, além disso, as cores vibrantes, auxiliam a polinização e dispersão de sementes, pois os animais e insetos são atraídos pelas cores (LOPES et al., 2005).

Na natureza ela é encontrada associada a moléculas de açúcares e quando livre, são denominadas antocianidinas (agliconas) (FORIM et al., 2005). Existem cerca de 300 ACNs na natureza (KHOOOL et al., 2017) e todas elas são derivadas da estrutura básica do cátion flavilium (Figura 4), deficiente em elétrons e, portanto, muito reativo.

Figura 4 - Estrutura básica do cátion flavilium.



Fonte: Guimarães, Alves e Antoniosi Filho (2012)

Existe um interesse na medicina sobre o uso das ACNs, devido ao seu potencial antioxidante; por apresentar resultados positivos demonstrando que esse composto atua como um agente quimiopreventivo do câncer e também auxiliar no combate a doenças cardiovasculares, prevenção de diabetes e obesidade (FAMAGUSTA et al., 2012).

Além disso, a ACN tem o mercado de alimentos e bebidas como uma área promissora para sua aplicação como corante, principalmente em caldas, refrigerantes, geleias, drinques alcoólicos, embalagens inteligentes e entre outras (YOUSUF et al., 2015). Desta forma é uma alternativa viável para a substituição de corantes sintéticos, devido ao seu grande número de conjugações, cores e solubilidade em água, o que permite sua introdução em diversos tipos de produtos alimentícios, e parte desse interesse também vem da vontade de atender a demanda da mudança de hábitos dos consumidores que buscam alternativas mais naturais e saudáveis (YOUSUF et al., 2015); porém de acordo com Lima et al., (2005), o seu uso é limitado, devido a

decorrência de grande instabilidade desse composto a vários fatores, como a luz, pH, temperatura, degradação enzimática e presença de oxigênio.

Estudos realizados, mostraram que o pH tem efeito sobre a forma química, a cor e a estabilidade das ACNs e isso não é desejável, pois esses pigmentos podem ser degradados durante o processamento e armazenamento, causando alterações de cores no alimento (FORIM et al., 2006). Por exemplo, as ACNs na forma de flavílio, que apresentam uma relativa estabilidade em pH ácido e à medida que o pH aumenta, as ACNs mudam para base quinoidal azul clara e sua estabilidade diminui (ZHENG et al., 2021).

Para Teixeira et al. (2008) a perspectiva do uso da ACN, principalmente na indústria de alimentos, torna evidente a necessidade de aprofundar os estudos e avaliar novas técnicas de purificação, extração e quantificação para que sua aplicação possa ser realizada de forma satisfatória e além disso, se vê necessário buscar novas fontes de ACNs, visto que a mesma é amplamente distribuída na natureza, presente em diversos frutos, flores e plantas.

2.2.6 Jambolão

O jambolão (*Syzygium cumini*) pertence à família *Myrtaceae*, é uma planta originária da Ásia, encontrado com facilidade em várias regiões do planeta, pois consegue se adaptar bem em diversos tipos de solos. No Brasil é conhecida popularmente como jamelão, cereja, jambu, azeitona-do-nordeste, ameixa roxa, azeitona-da-terra, entre outros nomes, e apesar de seu potencial como árvore frutífera, é muito utilizada como uma planta ornamental (VIZZOTO et al., 2009; FREITA et al., 2021).

No Brasil, o período de floração é de setembro a novembro e a maturação da fruta entre dezembro e fevereiro, seus frutos são pequenos, não climatéricos e por isso é necessário atingir o tempo de maturação completa para a colheita, além disso, os frutos são altamente perecíveis, devido a sua polpa frágil (FREITA et al., 2021).

Os seus frutos não tem boa aceitação, justamente por causa de sua polpa frágil, que oferece pouca proteção contra danos físicos ou agentes infecciosos (SABINO; BRITO; JÚNIOR, 2018) e também por causarem problemas no seu entorno em épocas de frutificação, pois ao caírem, eles 'estouram' e causam manchas na pele,

roupas, carros e calçadas, ficando quase que restrito somente em área de parques, porém eles têm certo apelo comercial, ainda que pequeno, sendo utilizados em cultivos agroindustriais principalmente para produção de geleias, sucos, doces e licores (SILVA et al., 2021).

A composição química do jambolão é rica em componentes nutricionais e biológicos, no fruto são encontradas vitaminas como tiamina e niacina, aminoácidos livres, como a alanina e asparagina e minerais, como o sódio, potássio, fósforo e zinco. As concentrações dos componentes variam de acordo com os nutrientes presentes no solo, as condições climáticas e o estágio de maturação de colheita (SABINO; BRITO; JÚNIOR, 2018). Na Tabela 1 é apresentada a composição média dos nutrientes presentes no jambolão

Tabela 1 - Composição química do jambolão

Composição	Conteúdo %
Água	77,1
Carboidratos	16,6
Proteínas	1,4
Lipídios	0,6
Fibras	0,6
Vitaminas e minerais	3,7

Fonte: SABINO; BRITO; JÚNIOR, 2018; FILIPINI, 2019

As diversas partes da planta do jambolão são utilizadas como medicamentos, principalmente pela medicina popular, mas já foram realizados estudos para investigar as propriedades medicinais da planta e confirmaram os seus efeitos benéficos para a saúde humana, dentre eles o uso dos frutos e das cascas do caule para o controle da diabetes e como anti-inflamatórios, mas também por possuírem efeitos anticarcinogênicos, devido sua composição rica em ACNs, flavonoides e taninos (VIZZOTTO et al., 2008; FILIPINI et al., 2020,).

No jambolão, os principais compostos fenólicos são as ACNs que foram identificadas como 3,5-diglicosídeos derivados de definidina, petunidina, mavidina, cianidina e peonidina, que conferem a cor roxa intensa na casca do fruto e também

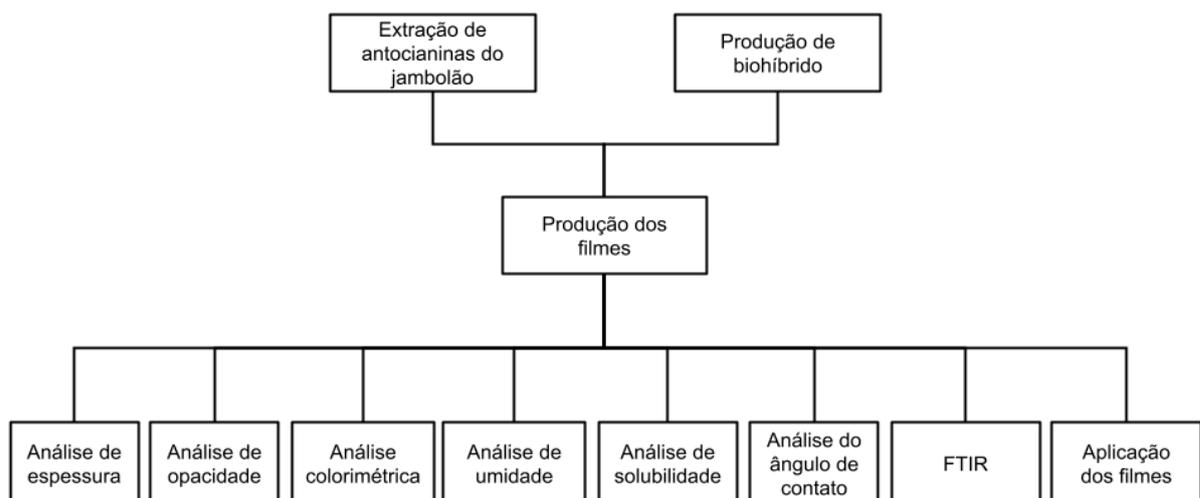
determinam suas propriedades antioxidantes (SARI et al., 2012). Por causa da presença de ACNs no fruto, estudos foram realizados para avaliar a sua utilização em filmes indicadores, devido à capacidade colorimétrica, visto que alteram de cor de acordo com o pH (FILIPINI et al., 2020).

Merz et al. (2020), estudaram a aplicação de ACNs extraídas do jambolão na composição de filmes colorimétricos a base de quitosana e álcool polivinílico e concluíram que os filmes apresentaram resultados satisfatórios ao mostrar variação de cores de acordo com a mudança de pH (1-13) e para monitorar o frescor de camarões armazenados em diferentes temperaturas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão detalhadas as etapas e os processos necessários para o desenvolvimento do trabalho. Desta forma, o fluxograma representado pela Figura 5, esquematiza todo o processo.

Figura 5 – Fluxograma de etapas realizadas no trabalho.



Fonte: Autor

3.1 EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS DE JAMBOLÃO E PRODUÇÃO DO BIOHÍBRIDO

O extrato de jambolão foi obtido de acordo com o método descrito por Koop et al. (2021). Cinco gramas (5 g) de jambolão congelado (polpa + pele) foram adicionados a 100 mL de solução acidificada (ácido cítrico a 1%) e moída em batedeira doméstica (Oyster, Brasil). A extração foi realizada por 10 min a 23 °C, sob agitação magnética (750rpm) (IKA, Brasil), após a polpa e a casca foram separadas da solução usando uma centrífuga (Solab, Brasil) a 4677 g por 5 min. A antocianina monomérica total (TMA) do extrato de jambolão foi quantificada pelo método de pH diferencial de acordo com Giusti & Wrolstad, 2001.

Para a produção do BH, primeiro ajustou-se o pH do extrato de jambolão para 1,5, em seguida MMT foi adicionado no extrato de ACN na proporção de 0,027g de MMT por mg de ACN e a solução foi agitada (700 RPM) a 20 °C por 30 minutos, após adsorção, o material decantado foi separado do sobrenadante e seco (estufa à vácuo) a 35 °C por 4 h. O pó de BH foi acondicionado em dessecadores contendo sílica em gel a 25 °C (Umidade relativa (UR) \approx 0%) por sete dias no escuro (Capello et al., 2021; Leandro et al., 2021).

3.1.1 Produção dos filmes à base de fécula de mandioca

Para a produção dos filmes controle foram utilizados: 2,625g de fécula de mandioca, 0,7875g de glicerol e água destilada na proporção de 40% em relação a massa de fécula de mandioca utilizada.

Foram elaborados filmes contendo BH em três concentrações diferentes, 1%, 3% e 5% em relação a massa de fécula de mandioca, a produção dos filmes foi realizada da mesma forma descrita inicialmente, porém adicionada de BH em pó em diferentes concentrações: 0,0262g (1% p/p); 0,0787g (3% p/p) e 0,1312g (5%p/p).

Os ingredientes da formulação foram misturados manualmente em um béquer com a ajuda de um bastão de vidro para uma melhor homogeneização, as misturas semi-hidratadas foram adicionadas em placas de Petri e colocadas em dessecadores

contendo solução de brometo de sódio (NaBr, UR= 58%) a temperatura ambiente por quatro dias.

Após o período de descanso, o pó hidratado foi depositado em duas folhas de Mylar (15 cm x 20 cm), essas folhas contendo o pó hidratado foram inseridas em uma máquina hidráulica com duas placas quentes controladas por controladores PID. As placas foram aquecidas e mantidas a uma temperatura de 130 °C, em seguida as amostras foram inseridas na máquina hidráulica e pressionadas a uma pressão de 5 toneladas por 2 minutos, depois do processo de termocompressão, as amostras são deixadas para resfriarem até a temperatura ambiente.

Dessa forma os filmes por termocompressão foram obtidos, estes são facilmente removidos das folhas de Mylar e assim, acondicionados em dessecadores contendo solução de NaBr (UR = 58%) a temperatura ambiente por no mínimo sete dias antes de serem realizadas as análises de caracterização.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Após o acondicionamento os filmes foram caracterizados por análises físico-químicas de: espessura, opacidade, análise colorimétrica, umidade, solubilidade, ângulo de contato, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e aplicação dos filmes no armazenamento de camarão. Todas essas análises foram realizadas com o objetivo de caracterizar as principais propriedades físicas e químicas dos filmes.

3.2.1 Espessura

A espessura dos filmes foi medida utilizando um micrômetro eletrônico (Mitutoyo), com precisão de 0,001 mm, em duplicata. Foram feitas 10 medidas em pontos aleatórios em cada filme, para obter a média.

3.2.2 Opacidade

A opacidade foi determinada a partir da metodologia adotada por GAVIRIA et al (2021) em duplicata. Os filmes indicadores e o filme controle foram cortados em

retângulos e suas espessuras medidas em três partes diferentes com o auxílio de um micrômetro, em seguida, foram colocados em cubetas de quartzo para medir as absorvâncias de cada um no comprimento de onda de 600 nm.

A opacidade foi calculada através da equação 1:

$$opacidade = \frac{A}{x} \quad (1)$$

Onde:

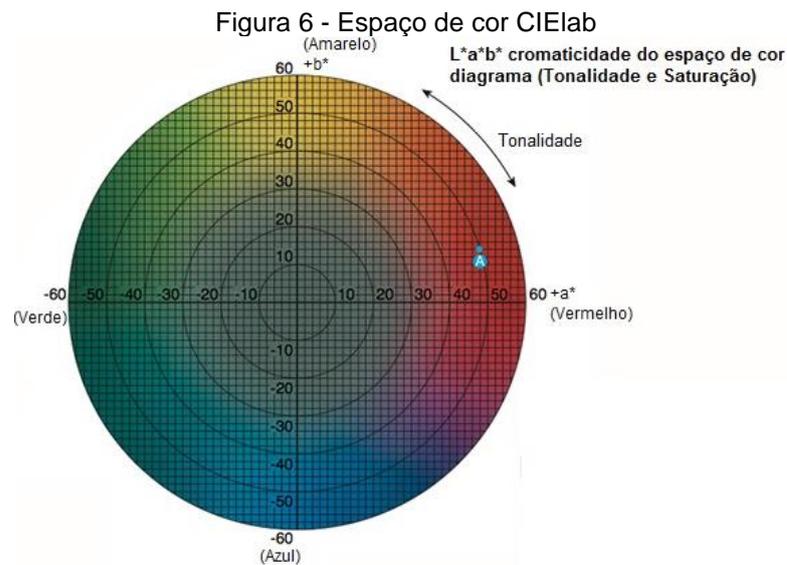
A: absorvância média do filme em 600nm;

X: espessura média do filme em mm.

3.2.3 Análise colorimétrica dos filmes

A variação de cores dos filmes adicionados de BH quando imersos em soluções tampão de pH 1-12 foi avaliada por análise colorimétrica CiElab. Para essa determinação, amostras foram cortadas em retângulos, 2x2 cm, e imersas em béqueres contendo soluções tampões, com pH 1-12, por 10 minutos. Em seguida os filmes foram retirados da solução e com o auxílio de uma máquina fotográfica (Nikon D5500), imagens foram capturadas dentro da câmara em fundo branco e lâmpada fluorescente branca.

As imagens obtidas foram tratadas utilizando o programa ImageJ e o plugin conversor de espaço de cor que converte os pixels da imagem RGB em coordenadas da escala CIELab: L*, a* e b* como mostrado na Figura 6.



Fonte: Konica Minolta

Onde:

Eixo L*: índice de luminosidade que varia do preto (0) ao branco (100);

Eixo a*: tons que variam do verde (-a*) ao vermelho (+a*);

Eixo b*: tons que variam do azul (-b*) ao amarelo (+b*)

Através da equação 2 é possível calcular a diferença total de cor ΔE :

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

onde:

$$\Delta L^* = L^* - L_0^*;$$

$$\Delta a^* = a^* - a_0^*;$$

$$\Delta b^* = b^* - b_0^*.$$

E L_0^* , a_0^* e b_0^* são as coordenadas que representam o filme controle

De acordo com Mokrzycki e Tatol (2012), o valor de ΔE é interpretado da seguinte forma:

- 0 < ΔE^* < 1 - diferença imperceptível de cor;
- 1 < ΔE^* < 2 - apenas os experientes notam diferenças de cor;
- 2 < ΔE^* < 3,5 – diferença perceptível de cor;
- 3,5 < ΔE^* < 5 – nota-se uma diferença nítida de cor;
- ΔE^* > 5 – percebem-se duas cores diferentes.

3.2.4 Umidade

A umidade dos filmes foi caracterizada através do método gravimétrico descrito pela AOAC de 2000, em triplicata.

3.2.5 Solubilidade

A solubilidade foi analisada de acordo com o método de Halász e Csóka (2018) em duplicata, primeiro, foi realizado o preparo das amostras, no qual os filmes de diferentes concentrações e o controle foram cortados retângulos de 3x2 cm e pesados com o auxílio de uma balança analítica, como a umidade de cada filme já era conhecida, foi possível calcular a massa da amostra em base seca.

Em seguida as amostras foram submersas em 50 mL de água destilada e colocadas em agitador magnético à 25 °C e 100 rpm por 24h. Após esse período as amostras foram retiradas, filtradas e levadas para secar em estufa a 105 °C por 24 horas e então pesadas, a solubilidade de cada amostra foi calculada usando a equação 3.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left(\frac{m_{i,s} - m_{f,s}}{m_{i,s}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde $m_{i,s}$ é a massa inicial da amostra em base seca e $m_{f,s}$ é a massa da amostra após o processo de secagem, em gramas.

3.2.6 Ângulo de contato

Foi realizado a análise do ângulo de contato para todos os filmes (BH-0%, BH-1%, BH-3% e BH-5%), utilizando o goniômetro (RAMÉ-HART,250). O processo consistiu em cortar os filmes pequenos pedaços retangulares e colar com fita dupla face sob lâminas de vidro e com o auxílio de uma seringa de precisão, depositou-se uma gota sob a superfície de cada filme e em seguida, o equipamento avaliou o ângulo de contato das gotas sob os filmes.

3.2.7 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Esta análise é realizada para identificar a presença de grupos funcionais na amostra e suas ligações químicas, esse processo consiste na utilização de espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier no qual possui um feixe de luz que é formado por diversos comprimentos de ondas. A realização da análise consiste em cortar de cada filme um pequeno quadrado de aproximadamente 1 cm² e então os filmes são avaliados no espectrofotômetro (IV Agilent Technologies, Cary 600 Series FTIR Spechtrometer). As varreduras foram realizadas com comprimento de onda entre 4000 a 400 cm⁻¹.

3.2.8 Aplicação dos filmes no armazenamento de camarão

Foram selecionados os filmes com a concentração de BH de 3 e 5%, para o monitoramento de frescor dos camarões. Os filmes foram cortados em pequenos pedaços quadrados e dispostos dentro das placas de Petri e em seguida as amostras de camarões foram colocadas no lado oposto dos filmes. As placas foram seladas com parafilme, uma parte armazenada sob refrigeração (7 °C e UR≈60%) e outra parte em uma incubadora (20 °C e UR≈60%).

Foram capturadas imagens dos filmes em 0, 24, 48 e 72 h, para avaliar a mudança de cor, e o pH dos camarões foi medido em três pontos diferentes usando um pHmetro de sólido (Testo-205).

3.2.9 Análise estatística

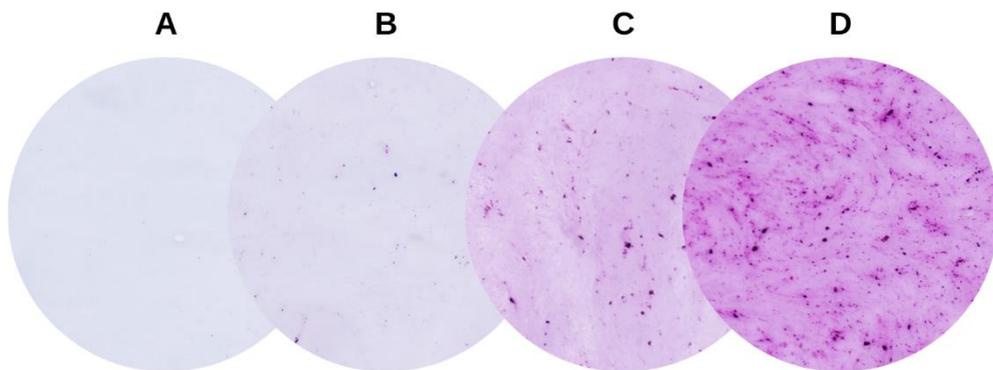
As análises experimentais foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. Análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey de comparações múltiplas foi realizada com nível de significância de 5% usando o software Estatística 6.0 (StatSoft Inc., EUA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Os filmes obtidos apresentam de forma geral uma textura uniforme (Figura 7). Em relação ao aspecto visual, os filmes contendo BH, possuem uma tonalidade mais arroxeada que aumenta gradativamente de acordo com a concentração e isso ocorre devido a presença de ACNs, além disso, nos filmes C e D apresentam pontos escuros, resultantes dos agregados de BH.

Figura 7 - Filmes desenvolvidos: A (0 % BH, controle), B (1 %), C (3%) e D (5%) de BH.



Fonte: Autor

4.2 ANÁLISE DE ESPESSURA

A média das espessuras dos filmes de diferentes concentrações de BH (0%, 1%, 3% e 5%) são apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Espessura dos filmes de diferentes concentrações

Concentração de BH nos filmes (%)	Espessura (mm)
0	0,260 ± 0,005 ^a
1	0,264 ± 0,007 ^a
3	0,254 ± 0,005 ^b
5	0,254 ± 0,008 ^b

Nota: Resultados com letra minúscula igual na mesma coluna, indicam que os filmes não diferiram significativamente ($p > 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

A espessura é um parâmetro importante, pois afeta a opacidade e também interfere na resistência mecânica dos filmes (Wang et al., 2019). Os resultados obtidos demonstram que o filme controle e BH-1% não apresentaram diferença estatística significativa, porém para os filmes 3 e 5% a espessura diminuiu. O resultado está em desacordo com o que já foi apresentado na literatura, estudos demonstraram o aumento da espessura dos filmes conforme a concentração de nanoargila e antocianina aumentavam na composição dos filmes, como foi apresentado por Capello et al. (2021) e Gavéria et al. (2021).

Tal resultado pode estar relacionado com o espalhamento do pó no momento em que são comprimidos entre as folhas de Mylar durante a sua termocompressão.

4.3 OPACIDADE

Os resultados obtidos na análise da opacidade média dos filmes em diferentes concentrações de BH são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Opacidade dos filmes

Concentração de BH nos filmes (%)	Opacidade (λ_{600nm}/mm)
0	2,82 ± 0,27 ^a
1	1,77 ± 0,25 ^b
3	1,67 ± 0,13 ^b
5	1,41 ± 0,22 ^b

Nota: Resultados com letra minúscula igual na mesma coluna, indicam que os filmes não diferiram significativamente ($p > 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

A transparência ou opacidade do filme é um atributo importante a ser analisado para a aplicação dos filmes em embalagens de alimentos (SANI et al., 2021) e de acordo com Cano et al. (2015) o parâmetro é diretamente influenciado pela microestrutura dos filmes e pode ser afetado por uma estrutura não homogênea presente na superfície ou no interior dos filmes.

Os resultados mostram que a opacidade dos filmes em relação ao filme de controle diminuiu com o aumento da concentração de BH, este comportamento pode estar relacionado com a presença de MMT, a orientação das nanoargilas na matriz polimérica dos filmes de amido favorece a passagem de luz, o que resulta em filmes menos opacos (TORO-MÁRQUEZ et al., 2018).

4.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA DOS FILMES

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos da análise colorimétrica do filmes para diferentes concentrações de BH 0% (branco), 1%, 3% e 5%, no espaço CIELab (L^* , a^* e b^*), onde L^* representa a luminosidade, a^* as cores no espectro vermelho e verde, b^* as cores amarelo e azul, e ΔE^* a diferença de cor entre o filme os filmes contendo BH e o filme de controle.

Tabela 4 - Coordenadas dos parâmetros de cores (L^* , a^* , b^* e ΔE^*) dos filmes

Concentração de BH (%)	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	90,2 ±0,3	1,5 ±0,1	-7,1 ±0,1	0
1	89,0 ±2,7	3,9 ±0,6	-8,7 ±0,3	2,5
3	75,9 ±1,5	22,9 ± 2,1	-22,4 ±2,3	29,86
5	71,3 ±1,5	34,1 ±2,5	-27,2 ±1,8	42,65

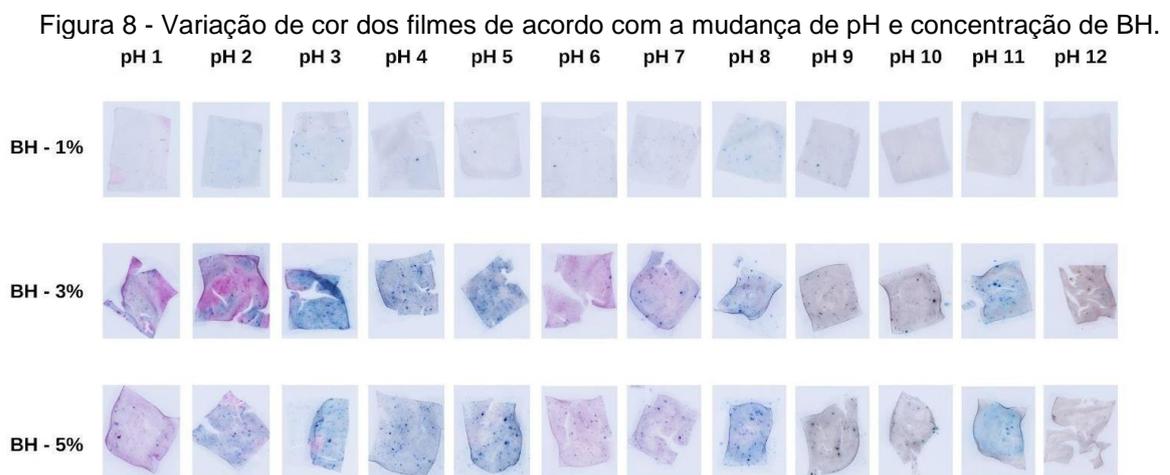
É observado que o parâmetro a^* , referente a tonalidade vermelha, aumenta de acordo com a concentração de BH e isso se deve a presença das ACNs. O valor

de b^* apresentou comportamento inverso de a^* e diminuiu, indicando que os filmes tendem a ter uma coloração do espectro azul (Tabela 4).

O L^* , indicativo de luminosidade, diminuiu e isso ocorreu por causa da maior concentração de ACNs, que deixou as cores dos filmes mais intensas. Estes resultados também foram observados nos trabalhos desenvolvidos por Merz et al. (2020) e Quin et al. (2019), no qual utilizaram ACNs extraídas de jabolão e Goji berry respectivamente em seus estudos.

De acordo com Mokrzycki e Tatol (2011), os valores ΔE^* , demonstram que o filme de BH-1%, apresenta uma diferença de cor perceptível em relação ao filme padrão e para os filmes BH-3% e BH-5%, pode-se observar com clareza a diferença de cor em relação ao filme controle.

Foi realizada também a análise visual sobre as mudanças de cores dos filmes, que foram submetidos a soluções com diferentes valores de pH (1 a 12), para esse teste, foram utilizados somente os filmes BH-1%, 3% e 5%, visto que o filme de controle não apresentaria mudança de cor, pois não há presença de ACNs em sua formulação.



Fonte: Autor

Figura 9 - Variação de cor do extrato de antocianinas de acordo com o pH.



Fonte: Autor

De acordo com a Figura 8, pode-se perceber que os filmes de BH - 1% apresentam uma pequena variação de cores, ficando entre o espectro azulado ou roxo, e isso se deve à baixa concentração de BH em sua composição. Já os filmes BH- 3% e BH- 5%, apresentaram melhores resultados visuais e variação do padrão de cores semelhantes, de acordo com a mudança de pH, devido às maiores concentrações de ACNs na formulação.

Porém, ao comparar os resultados apresentados na Figura 9, que mostra o comportamento dos extratos de ACNs com o pH, percebe-se que, no geral, a variação de cores dos filmes com relação ao pH não foi nítida.

Com a análise do CIELab, apresentado na Tabela 5 foi possível avaliar melhor o comportamento colorimétrico dos filmes BH-3% e 5%. Em pH 2 os filmes são violetas, do pH 3 ao pH5 os filmes tendem para uma cor azulada, pH 6 tendem para um tom rosado, entre o pH 7 ao pH 11 os filmes passam a ter uma coloração que variam entre azulado, indo para o rosa, depois novamente azul e no pH 12, os filmes tendem a ser incolor, como visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Coordenadas de cor da escala CIELab dos filmes submetidos a soluções tampões com diferentes valores de pH.

Concentração de BH (%)	pH	L*	a*	b*	ΔE^*
	2	84,43 ± 0,56	-0,12 ± 0,21	-11,49 ± 0,56	3,09
	3	85,20 ± 0,38	0,89 ± 0,98	-10,90 ± 0,39	1,82
	4	82,88 ± 1,34	1,67 ± 0,18	-11,26 ± 0,84	4,05
	5	86,97 ± 0,38	1,44 ± 0,13	-9,06 ± 0,37	1,03
	6	86,73 ± 0,29	1,84 ± 0,07	-9,99 ± 0,29	0,48

1%	7	86,13 ± 0,41	1,65 ± 0,09	-10,22 ± 0,23	0,69
	8	85,25 ± 1,43	0,18 ± 0,44	-10,95 ± 0,94	2,10
	9	83,25 ± 0,74	1,72 ± 0,19	-9,71 ± 0,23	3,53
	10	83,61 ± 0,76	2,42 ± 0,32	-8,21 ± 0,67	3,79
	11	85,17 ± 0,43	1,92 ± 0,09	-7,01 ± 0,28	3,48
	12	84,10 ± 0,62	2,20 ± 0,21	-7,40 ± 0,44	3,84
<hr/>					
3%	2	62,94 ± 4,44	32,15 ± 7,77	-26,97 ± 2,46	19,94
	3	67,08 ± 1,65	-1,08 ± 0,50	-27,54 ± 1,25	16,41
	4	72,48 ± 1,33	2,18 ± 0,26	-18,83 ± 1,25	12,68
	5	73,754 ± 4,25	1,55 ± 0,30	-20,13 ± 3,65	13,29
	6	74,98 ± 1,36	16,06 ± 1,69	-34,99 ± 2,38	13,77
	7	75,95 ± 1,91	9,94 ± 1,58	-18,96 ± 2,14	7,93
	8	75,40 ± 5,44	2,19 ± 0,54	-18,87 ± 4,00	13,52
	9	77,60 ± 0,91	4,56 ± 0,25	-8,41 ± 0,60	18,44
	10	75,54 ± 2,23	5,18 ± 0,38	-8,95 ± 0,57	16,94
	11	73,90 ± 2,12	-1,19 ± 0,98	-21,06 ± 2,90	15,86
	12	67,79 ± 2,23	7,93 ± 0,23	-6,10 ± 2,90	17,47
	<hr/>				
5%	2	74,98 ± 1,13	4,95 ± 1,13	-20,24 ± 0,76	19,20
	3	79,96 ± 0,74	-5,49 ± 0,74	-47,42 ± 4,75	13,71
	4	75,52 ± 0,16	-3,05 ± 0,16	-47,51 ± 9,23	13,90
	5	73,36 ± 0,27	0,52 ± 0,27	-19,78 ± 1,34	20,57
	6	82,71 ± 1,67	9,16 ± 1,67	-13,03 ± 1,22	25,34
	7	80,14 ± 1,22	7,98 ± 1,22	-15,21 ± 1,04	23,10
	8	71,78 ± 0,45	3,95 ± 0,45	-26,12 ± 4,51	15,96
	9	77,78 ± 1,11	3,35 ± 1,11	-7,92 ± 0,47	30,30
	10	82,10 ± 0,40	2,98 ± 0,40	-8,43 ± 1,48	29,41
	11	77,64 ± 0,93	-2,41 ± 0,93	-18,14 ± 2,70	21,27
	12	82,58 ± 0,21	0,43 ± 0,21	-13,14 ± 1,56	24,93

Com os resultados da análise colorimétrica visual e pelo método de CIELab, foi possível verificar a diferença nítida dos valores de L*, a* e b* dos filmes de acordo com o aumento da concentração de BH, logo, quanto maior a concentração de ACNs,

mais nítida é a diferença de cores. Analisando-se os valores de ΔE^* , somente os filmes BH-1% apresentaram valores abaixo de 5 para todos os valores de pH. De acordo com Mokrzycki e Tatol (2011), esse resultado demonstra que os filmes apresentam diferença de cores em relação ao filme de controle, porém não é claramente visível, em contrapartida, nos filmes BH-3% e BH-5%, com valores de ΔE^* maiores que 5, significa que a diferença de cores é nítida e visível.

Nos estudos realizados por Luchese et al. (2017) foi observado que em pH ácido as cores tendem a ser avermelhadas e em pH básico azuladas, e também foi relatado que a medida que o pH aumenta a^* tende a diminuir, comportamento semelhante foi visto neste trabalho.

4.5 TEOR DE UMIDADE

A Tabela 6 apresenta os teores de umidade médio \pm os desvios padrão obtidos para os filmes com diferentes concentrações de BH nos filmes elaborados.

Tabela 6 - Teor de umidade nos filmes

Concentração de BH (%)	Teor de umidade (%)
0	16,99 \pm 0,33 ^a
1	17,37 \pm 0,47 ^a
3	17,43 \pm 0,57 ^a
5	16,98 \pm 0,22 ^a

Nota: Resultados com letra minúscula igual na mesma coluna, indicam que os filmes não diferiram significativamente ($p > 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

O teor de umidade é um parâmetro importante para identificar a capacidade que o filme tem de absorver a umidade do ambiente, por isso, sua caracterização é importante para verificar a viabilidade do uso destes filmes em embalagens para alimentos.

Os resultados da umidade média obtidos, indicam que a umidade dos filmes não foi alterada com a presença do BH, ou seja, a ACN e a MMT não alteraram de forma significativa a higroscopicidade dos filmes. Capello et al. (2021) produziram filmes de quitosana contendo BH de laponita e ACNs, e constataram que os teores de

umidade médio dos filmes não sofreram variação significativa com o aumento da concentração do BH.

4.6 ANÁLISE DE SOLUBILIDADE

A Tabela 7 apresenta os dados referentes à solubilidade média dos filmes \pm desvios padrão.

Tabela 7 - Solubilidade em água dos filmes.

Concentração de BH (%)	Solubilidade (%)
0	26,40 \pm 0,44 ^a
1	27,75 \pm 0,73 ^b
3	29,67 \pm 0,17 ^b
5	32,69 \pm 0,98 ^c

Nota: Resultados com letra minúscula igual na mesma coluna, indicam que os filmes não diferiram significativamente ($p > 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

A solubilidade do filme na água é um importante indicador sobre a viabilidade desses filmes na proteção de alimentos que possam ter uma alta atividade de água (Matta Jr et al., 2011).

Os dados obtidos, demonstram que o aumento da concentração de BH fez o teor de solubilidade aumentar significativamente, tal comportamento pode ser explicado devido a presença das nanoargilas, que é um material higroscópico e com alta solubilidade em água (GAVÍRIA et al., 2021).

4.7 ÂNGULO DE CONTATO

A Tabela 8 apresenta os valores referentes ao ângulo de contato médio entre a gota de água destilada e a superfície dos filmes \pm desvios padrão.

Tabela 8 - Ângulo de contato

Concentração de BH (%)	Ângulo de contato (%)
0	87,72 \pm 4,67 ^a

1	80,82 ± 7,76 ^b
3	80,35 ± 4,53 ^b
5	73,17 ± 5,90 ^c

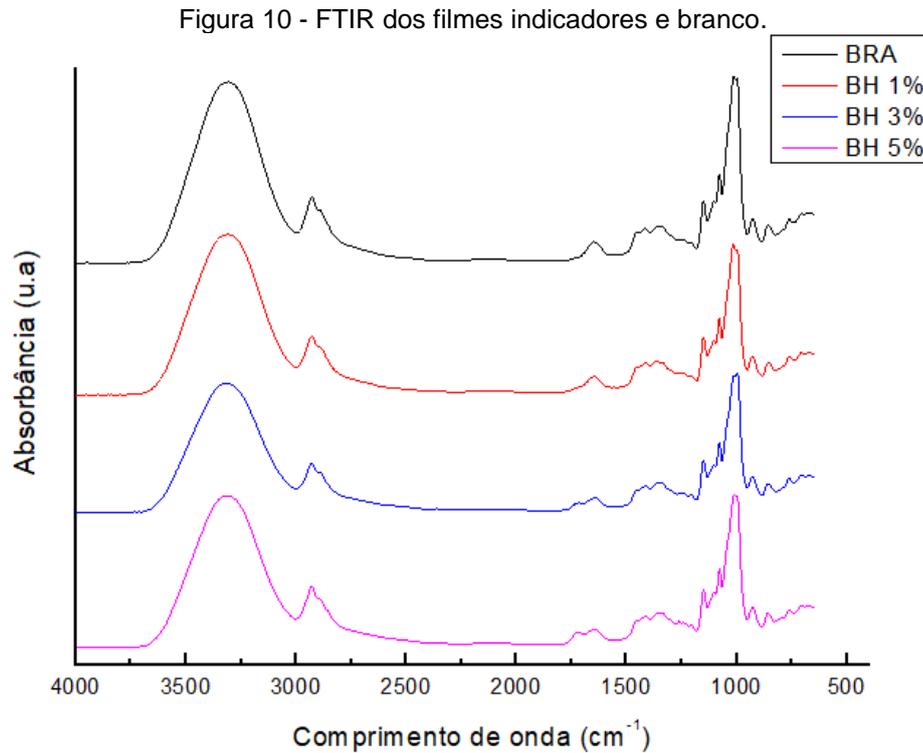
Nota: Resultados com letra minúscula igual na mesma coluna, indicam que os filmes não diferiram significativamente ($p > 0,05$), de acordo com o teste de Tukey.

Por meio dos dados obtidos, pode-se afirmar que os filmes possuem uma característica hidrofóbica, um atributo desejável, pois segundo Merz et al. (2020), isso possibilita a utilização desses filmes para produtos alimentícios com alto teor de água. Uma superfície é considerada hidrofóbica quando o seu ângulo de contato é superior a 65° (VOGLER - 1998).

É possível constatar também que o aumento da concentração de BH alterou os valores dos ângulos de contato, diminuiu a angulação e conseqüentemente tornando-os menos hidrofóbicos. Esse comportamento já foi observado por Gavéria et al. (2021), no qual foi atribuído aos compostos hidroxilas presentes em maiores concentrações no pó de jambolão, como responsáveis pela redução dos valores dos ângulos de contato, sendo assim, os resultados estão de acordo com a literatura já existente.

4.8 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A Figura 10 mostra os espectros de absorção na região do infravermelho obtido para os filmes.



Fonte: Autor

As bandas de vibração obtidas pelo espectro de FTIR são típicas de estruturas presentes em amidos, a banda presente em todos os filmes, entre 3000 a 3500 cm⁻¹ representa o estiramento das ligações O-H. As vibrações presentes na faixa de 2900 – 3000 cm⁻¹ são referentes aos ligamentos C-H e já a faixa próxima a 1600 cm⁻¹, pode ser associado a ligação O-H. E as bandas entre 1400-1250 cm⁻¹, são relacionadas com as vibrações O-H e C-H dos anéis de amido (GAVÍRIA et al., 2021). As bandas entre 950-1000 cm⁻¹ correspondem ao anel de piranose que é característico de resíduos de glicose (Quin et al., 2019).

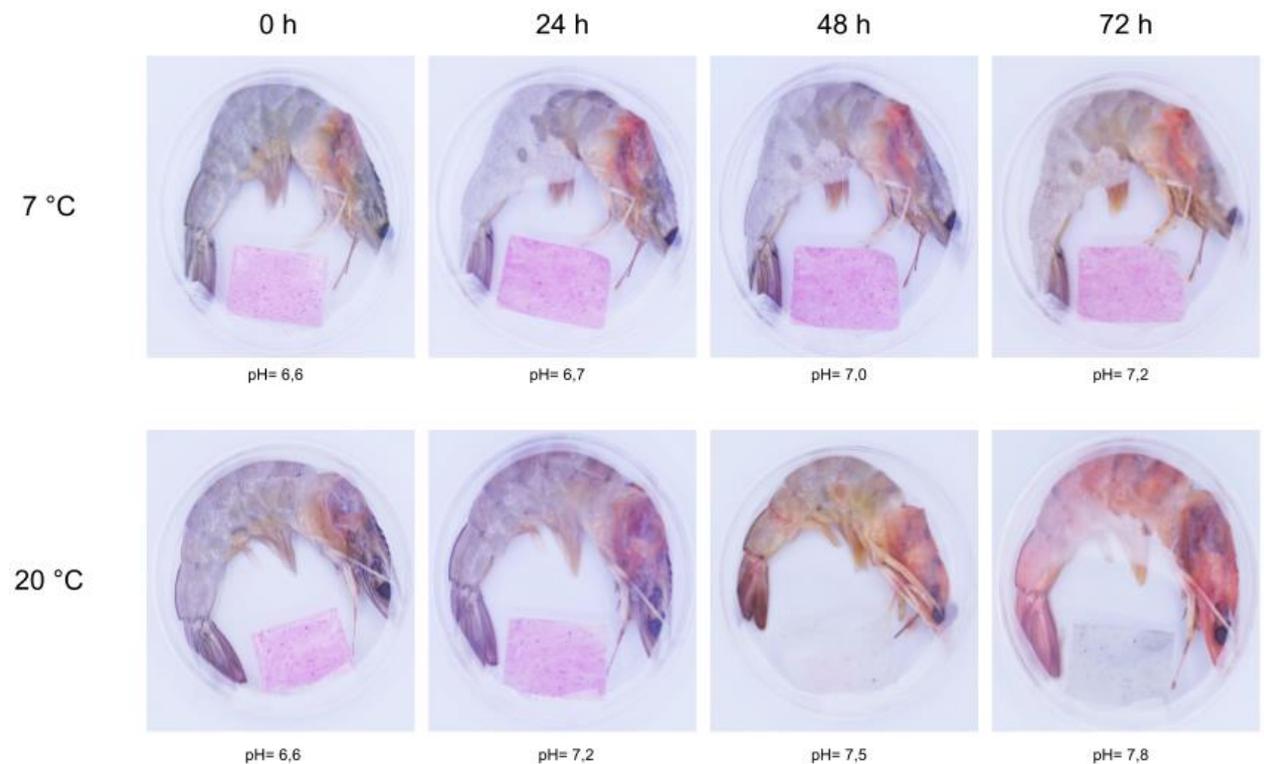
De acordo com YAN QUIN (2021) a espectroscopia FTIR além de determinar os grupos funcionais presentes nos filmes também é utilizada para avaliar as interações intermoleculares. Assim observa-se que não há deslocamentos significativos nos espectros dos filmes produzidos com o BH, desta forma pode-se concluir que não ocorreram reações químicas entre a matriz polimérica e os outros componentes, indicando que os dois componentes mantiveram as suas estruturas. O

trabalho de Gavéria et al. (2021) obteve resultados semelhantes e indicou que as interações entre as ACNs e os biopolímeros ocorrem por ligações de hidrogênio.

4.9 APLICAÇÃO DOS FILMES COMO EMBALAGEM INDICADORA

A Figura 11 apresenta dos resultados obtidos dos filmes como embalagem indicadora.

Figura 11 - Aplicação dos filmes como indicador de frescor do camarão.



Fonte: Autor

O valor do pH inicial das amostras de camarão foi de 6,6. Ocorreu a elevação deste parâmetro, em ambas as temperaturas de armazenamento, com o decorrer dos dias e isso é esperado devido ao processo de deterioração da carne dos camarões. As amostras que ficaram sob a temperatura de 7 °C tiveram sua elevação de pH relativamente menor em relação àquelas que ficaram sob 20 °C, como esperado.

Analisando-se visualmente os filmes, foi possível perceber que as embalagens que foram mantidas a temperatura de 7°C, os filmes apresentaram pouca variação de cor. A coloração rosada foi perceptível durante todo o armazenamento devido a temperatura de refrigeração, assim o camarão tem o seu frescor preservado por mais tempo.

Já para os camarões que foram submetidos a temperatura de 20°C, foi possível notar que depois de 2 dias, os filmes perderam a sua tonalidade rosada, ficaram opacos e apresentaram alguns pontos azulados pelo filme, que está de acordo com o observado na seção 4.4, no qual o filme de mesma concentração de BH (5%) colocado na solução tampão de pH igual 7, perdeu parte de sua coloração rosada e apresentou pontos de cor azul pelo filme.

Este comportamento indica a resposta das ACNs presentes nos filmes aos compostos nitrogenados como a amônia, produzidos pela deterioração da carne, que possuem um pH mais alcalino e levam a formação de pseudobases de carbinol resultando na mudança de cores dos filmes (MERZ et al., 2019). Portanto, esse comportamento da mudança de cores dos filmes com a elevação do pH comprova a eficiência da aplicação BH em filmes inteligentes indicadores de pH.

5 CONCLUSÃO

Foi possível obter um filme indicador colorimétrico a base de amido e biohíbrido por termocompressão. A presença de antocianinas e montmorilonita na formulação dos filmes não alterou de forma significativa a higroscopicidade, hidrofobicidade e solubilidade dos filmes. Desta forma, os filmes produzidos para este trabalho podem ser classificados com higroscopicidade média, de superfície hidrofóbica e solúveis em água. A interação entre as ACNs e os biopolímeros foi por ligações de hidrogênio. Através da análise colorimétrica pelo método CIELab é possível concluir que é clara a mudança de cores dos filmes de acordo com a variação do pH e esse processo é mais evidente quanto maior a concentração do BH, a opacidade dos filmes também foi afetada pelo aumento da concentração de BH, tornando-os menos opacos. A aplicação dos filmes como indicadores de frescor de camarões teve um resultado satisfatório ao mostrar a capacidade de alterar a coloração conforme as mudanças de pH. Logo, com este trabalho foi possível produzir

filmes inteligentes que podem ser aplicados para visualizar as alterações de qualidade de produtos cárneos refrigerados.

6 TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar propriedades mecânicas dos filmes como tensão de ruptura e alongação máxima;
- Estudar a permeabilidade dos filmes ao vapor de água e oxigênio;
- Desenvolver e caracterizar filmes com outras concentrações de biohíbrido.

REFERÊNCIAS

ABAM, INFORMAÇÕES TÉCNICAS <https://abam.com.br/informacoes-tecnicas/> acessado em agosto, 2021. Acessado em: 14 de setembro de 2021.

ALBARICI, Tatiane Regina et al. Efeito das Variações de pH e Temperatura Sobre as Antocianinas na Polpa de Açaí - **Estudos Espectrofotométricos e Cromatográficos**. São Carlos: Embrapa, 2006.

AVELLA, Maurizio; VLIEGER, Jan J. de; ERRICO, Maria Emanuela; FISCHER, Sabine; VACCA, Paolo; VOLPE, Maria Grazia. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 93, n. 3, p. 467-474, dez. 2005.

BALAN, Geane Cristiane et al. Elaboração e aplicação de filme à base de amido na conservação de queijo muçarela. In: OLIVEIRA, Ana Flávia de et al. **Tópicos em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Londrina: Blucher, 2016. Cap. 13. p. 256-281.

BARÃO, Mariana Zanon. Embalagens para produtos alimentícios. Paraná: **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**, 2011. 31 p.

BRITO, Karin Janete Stein et al. **Nanocompositos de borracha SBR com nanoargila organicamente modificada**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Industrial, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CAPELLO, Cristiane *et al.* Intelligent Films from Chitosan and Biohybrids Based on Anthocyanins and Laponite®: physicochemical properties and food packaging applications. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 29, n. 12, p. 3988-3999, 11 maio 2021.

CARR, Laura Gonçalves. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir de fécula de mandioca**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CEPEA, PRODUÇÃO E CONSUMO DE FÉCULA DE MANDIOCA NO BRASIL <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/producao-e-consumo-de-fecula-de-mandioca-no-brasil.aspx> acessado em agosto, 2021.

CHENG, Hao *et al.* Recent advances in intelligent food packaging materials: principles, preparation and applications. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 375, p. 131738, maio 2022.

COÊLHO, Jackson Dantas. PRODUÇÃO DE MANDIOCA – RAIZ, FARINHA E FÉCULA. **Caderno Setorial - Etene**, Fortaleza, v. 102, n. 4, p. 1-11, nov. 2019. Mensal. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6144862/102_Mandioca.pdf/bce1f95e-0128-161a-8746-63c69c9ac9fa. Acesso em: 20 set. 2021.

DENARDIN, Cristiane Casagrande *et al.* Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 09 out. 2008.

DRAGO, Emanuela; CAMPARDELLI, Roberta; PETTINATO, Margherita; PEREGO, Patrizia. Innovations in Smart Packaging Concepts for Food: an extensive review. **Foods**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 1628, 7 nov. 2020.

FAMAGUSTA & GAZI UNIVERSITY ANKARA TURKEY. Biotechnological Production of Plant Secondary Metabolites. [S.I.]: **Bentham e Books**, 2012

FELIPE, Fábio Isaias; ALVES, Lucilio Rogério Aparecido; CAMARGO, Samira Gaiad Cibim de. Panorama e perspectivas para a indústria de fécula de mandioca no Brasil. **Revista Raízes Amidos Tropicais**, São Paulo, v. 6, p. 134-146, 2010.

FILHO, Antonio Carlos Pereira de et al. Características de embalagens biodegradáveis a partir do resíduo de melancia e incorporadas com amido do tubérculo de *Sinningia elatior*. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 1-21, 2 ago. 2020.

FILIPINI, Gabriel da Silva. **DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS A PARTIR DE POLÍMEROS E EXTRATO NATURAL DE JAMBOLÃO**. 2019. 123 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.

FILIPINI, Gabriel da Silva; ROMANI, Viviane Patrícia; MARTINS, Vilásia Guimarães. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 109, p. 106139, dez. 2020.

FREITA, Bruna Ferreira Dias; MAGALHÃES, Gabriela Leite; SOARES JÚNIOR, Manoel Soares; CALIARI, Márcio. Produção de corante natural extraído de jambolão (*Syzygium cumini*). **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 1-14, 15 fev. 2021.

GAVIRIA, Yessica Alexandra Rodriguez et al. Nanostructured pH-Indicator Films Based on Cassava Starch, Laponite, and Jambolan (*Syzygium cumini*) Fruit Manufactured by Thermo-Compression. **Starch - Stärke**, [S.L.], v. 73, n. 5-6, p. 2000208, 10 fev. 2021.

HALÁSZ, Katalin; CSÓKA, Levente. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace extract immobilized in chitosan for colorimetric pH indicator film application. **Food packaging and shelf life**, v. 16, p. 185-193, 2018

KHOO, Hock Eng; AZLAN, Azrina; TANG, Sou Teng; LIM, See Meng. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 1361779, jan. 2017.

KONIKA MINOLTA. Entendendo o espaço de cor L*a*b*. Disponível em: <<https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>

KOOP, B.L., Knapp, M.A., Di Luccio, M. et al. Bioactive Compounds from Jambolan (*Syzygium cumini* (L.)) Extract Concentrated by Ultra- and Nanofiltration: a Potential Natural Antioxidant for Food. **Plant Foods Hum Nutr** 76, 90–97 (2021).

KRUIJF, N. de; VAN BEEST, M.; RIJK, R.; SIPILÄINEN-MALM, T.; LOSADA, P. Paseiro; MEULENAER, B. de. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. **Food Additives & Contaminants**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 144-162, abr. 2002.

LEANDRO, Gabriel Coelho et al. Adsorption-desorption of anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit in Iaponite® platelets: kinetic models, physicochemical characterization, and functional properties of biohybrids. **Food Research International**, [S.L.], v. 140, p. 109903, fev. 2021.

LOZANO-NAVARRO, Jessica; DÍAZ-ZAVALA, Nancy; VELASCO-SANTOS, Carlos; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Ana; TIJERINA-RAMOS, Beatriz; GARCÍA-HERNÁNDEZ, Margarita; RIVERA-ARMENTA, José; PÁRAMO-GARCÍA, Ulises; LATORRE, Adriana Reyes-De. Antimicrobial, Optical and Mechanical Properties of Chitosan–Starch Films with Natural Extracts. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 997, 5 maio 2017.

LUCHESE, Cláudia Leites; SPEROTTO, Natalia; SPADA, Jordana Corralo; TESSARO, Isabel Cristina. Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 104, p. 11-18, nov. 2017.

MALI, Suzana, Eiras Grossmann, Maria Victória, Yamashita, Fábio **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização**. Semina: Ciências Agrárias [en línea]. 2010, 31(1), 137-155[fecha de Consulta 22 de Agosto de 2021].

MARSH, Kenneth; BUGUSU, Betty. Food Packaging: roles, materials, and environmental issues. **Journal Of Food Science**, [s. l.], v. 72, n. 3, p. 39-55, 31 mar. 2007.

MIR, Shabir Ahmad; DAR, B.N.; WANI, Ali Abas; SHAH, Manzoor Ahmad. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 80, p. 141-154, out. 2018.

MOKRZYCKI, W. S.; TATOL, M. Colour difference $\Delta E-A$ survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, n. 4, p. 383-411, 2011.

MOORE, Charles James. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. **Environmental Research**, [S.L.], v. 108, n. 2, p. 131-139, out. 2008.

MORAES, Jaqueline Oliveira de. **PROPRIEDADES DE FILMES DE AMIDO INCORPORADOS DE NANOARGILAS E FIBRAS DE CELULOSE**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009

OLIVEIRA, Camila Fernanda de Paula. **Obtenção e caracterização de amido termoplástico e de suas misturas com polipropileno**. 2015. 199 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

OTLES S., Yalcin B., 2008, Intelligent food packaging. LogForum 4, 4, 3

PAINE, Frank A. et al. **A Handbook of Food Packaging**. 2. ed. New Delhi: Springer-Science + Business Media, B.V, 1992. 496 p.

PENG, Licheng; FU, Dongdong; QI, Huaiyuan; LAN, Christopher Q.; YU, Huamei; GE, Chengjun. Micro- and nano-plastics in marine environment: source, distribution and threats .: a review. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 698, p. 134254, jan. 2020.

QIN, Yan; LIU, Yunpeng; YONG, Huimin; LIU, Jing; ZHANG, Xin; LIU, Jun. Preparation and characterization of active and intelligent packaging films based on cassava starch and anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 134, p. 80-90, ago. 2019.

RAMMAK, Thitirat et al. Mechanical and barrier properties of starch blend films enhanced with kaolin for application in food packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 192, p. 1013-1020, dez. 2021.

RHIM, Jong-Whan; PARK, Hwan-Man; HA, Chang-Sik. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in polymer science**, v. 38, n. 10-11, p. 1629-1652, 2013.

SABINO, Luiz B. de Sousa; BRITO, Edy Sousa de; SILVA JÚNIOR, Ivanildo J. da. Jambolan— *Syzygium jambolanum*. **Exotic Fruits**, [S.L.], p. 251-256, 2018.

SANI, Mahmood Alizadeh *et al.* Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: application as biodegradable smart food packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 255, p. 117488, mar. 2021.

SARI, Puspita; WIJAYA, Christofora Hanny; SAJUTHI, Dondin; SUPRATMAN, Unang. Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: natural and copigmented anthocyanins. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 132, n. 4, p. 1908-1914, 15 jun. 2012.

SILVA et al. **Obtenção e caracterização das féculas de três variedades de mandioca produzidas no estado do Pará**. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 19., 2012, Búzios. Anais [...] . Búzios: Cobeq2012, 2012. p. 8259-8268.

SILVA, Kívia Alessandra Gouveia da et al. Caracterização microbiológica, físico-química e sensorial do suco dos frutos do jambolão (*Syzygium Cumini*). **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 597-613, maio 2021.

SOUZA; R. C. R.; ANDRADE C. T.; Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10; n. 1; p. 24-30; 2000.

TEIXEIRA, Luciana Nascimento et al. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Revista Ceres**, [S.I.], v. 4, n. 55, p. 297-304, jul. 2008.

TEIXEIRA, Samiris Côcco et al. Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica. **Brazilian Journal Of Food Technology**, Viçosa, v. 24, p. 1-11, 2021.

TORO-MÁRQUEZ, L.A., Merino, D. & Gutiérrez, T.J. Bionanocomposite Films Prepared from Corn Starch With and Without Nanopackaged Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) Flower Extract. **Food Bioprocess Technol** 11, 1955–1973 (2018)

VIZZOTTO, Márcia et al. Jambolão: o poderoso antioxidante*. [S.I]: **Embrapa**, 2009.

VOGLER, Erwin. Structure and reactivity of water at biomaterial surfaces. **Advances In Colloid And Interface Science**, [s.l.], v. 74, n. 1-3, p.69-117, fev. 1998.

WANG, Xingchi *et al.* Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 89, p. 56-66, abr. 2019.

Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D. and Sporns, P. (2004). Anthocyanins. In **Handbook of Food Analytical Chemistry** (eds R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns).

YAM, Kit L.; TAKHISTOV, Paul T.; MILTZ, Joseph. Intelligent Packaging: concepts and applications. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 1-10, jan. 2005.

YOUSUF, Basharat; GUL, Khalid; WANI, Ali Abas; SINGH, Preeti. Health Benefits of Anthocyanins and Their Encapsulation for Potential Use in Food Systems: a review. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, [S.L.], v. 56, n. 13, p. 2223-2230, 6 mar. 2015.

ZHENG, Luman; LIU, Liming; YU, Jiahao; SHAO, Ping. Novel trends and applications of natural pH-responsive indicator film in food packaging for improved quality monitoring. **Food Control**, [S.L.], v. 134, n. 108769, p. 1-15, 17 dez. 2021