



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

**PRODUÇÃO DE FILMES INDICADORES CONTENDO
ANTOCIANINAS DA CASCA DA BATATA-DOCE
(*IPOMOEA BATATAS L.*)**

Jaine Pelicioli

Florianópolis

2019

JAINÉ PELICOLI

**PRODUÇÃO DE FILMES INDICADORES CONTENDO ANTOCIANINAS DA
CASCA DA BATATA-DOCE (*IPOMOEA BATATAS L.*)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina apresentado como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Germán Ayala Valencia
Coorientadora: Eng.^a Cristiane Capello

Florianópolis

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me iluminar nas minhas escolhas.

Aos meus pais e minha irmã, por sempre me apoiarem, acreditarem em mim e serem meus exemplos.

Ao meu namorado, por todo amor, companheirismo e por estar sempre presente em todos os momentos.

Aos meus amigos, que me ajudaram e me acompanharam durante esta jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Germán Ayala Valencia e à Eng.^a Cristiane Capello por todo apoio, dedicação e por me ensinarem tanto durante a realização deste trabalho. Também à Manoela Terrazas, pela parceria e aprendizados durante a realização deste trabalho.

A todos os membros do LiEB que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho.

RESUMO

As embalagens são grandes aliadas da segurança de alimentos devido à proteção que proporcionam contra agentes externos. Porém, as embalagens comuns e mais utilizadas no mercado precisam da inovação para atender consumidores cada vez mais exigentes, serem sustentáveis e sobretudo para assegurar a qualidade do alimento. No entanto, apesar de a grande maioria ser reciclável, elas são consideradas grandes vilãs do meio ambiente por causa de seus materiais que não se degradam facilmente. Como alternativa, estuda-se o uso de materiais biodegradáveis como a quitosana e o polivinil álcool para a produção de embalagens biodegradáveis. Além disso, existem embalagens inteligentes que, além de proteção, têm a função de informar o consumidor sobre os aspectos e o estado de conservação dos alimentos, podendo também serem biodegradáveis. A indústria de alimentos gera toneladas de resíduos anualmente, sendo que estes poderiam ser utilizados para outros fins. As cascas da batata-doce *Ipomoeas Batatas* L. são um exemplo disto, pois são ricas em antocianinas, as quais alteram a cor de acordo com o pH em que estão inseridas. Assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver e caracterizar filmes indicadores à base de polímeros biodegradáveis - quitosana e polivinil álcool - e das antocianinas provenientes da casca da batata-doce, a qual provém de um resíduo da indústria alimentícia. A extração das antocianinas foi realizada com água acidificada como solvente na proporção água/ácido clorídrico, 100/1 %v/v a 35 °C e 100 rpm, sendo o tempo de extração mais eficiente em 60 minutos. Os filmes formados por quitosana, polivinil álcool e antocianinas foram produzidos pela técnica de *casting*, analisados e aplicados em carne bovina por meio de testes colorimétricos com o objetivo de avaliar a possibilidade de utilização dos filmes em alimentos. Logo, os resultados obtidos mostraram que os filmes incorporados com antocianinas não tiveram higroscopicidade alterada, contudo a espessura e a solubilidade aumentaram. O filme mostrou-se opaco suficiente para proteger os alimentos e as ligações químicas entre as antocianinas e o filme polimérico interagem através de ligações de hidrogênio. A análise colorimétrica, assim como o teste de aplicação, mostraram que os filmes alteram a cor de maneira perceptível de acordo com a mudança do pH, fazendo com que seja possível a aplicação dos filmes em alimentos como embalagens inteligentes.

Palavras-chave: biopolímeros, embalagem inteligente, pigmentos naturais, resíduos.

ABSTRACT

Packaging is a great ally of food safety due to the protection it provides against external agents. But, common and most used packaging in the market needs innovation to meet increasingly demanding consumers, be sustainable and above all to ensure food quality. However, while the vast majority are recyclable, they are considered big environmental villains because of their materials that do not easily degrade. Alternatively, the use of biodegradable materials such as chitosan and polyvinyl alcohol to produce biodegradable packaging is studied. In addition, there are smart packaging that, in addition to protection, have the function of informing the consumer about the aspects and the state of conservation of food, and may also be biodegradable. The food industry generates tons of waste annually, which could be used for other purposes. *Ipomoeas Batatas* L. sweet potato peels are an example of this, they are rich in anthocyanins, which change the color according to the pH in which they are inserted. Thus, the objective of this study was to develop and characterize indicator films based on biodegradable polymers - chitosan and polyvinyl alcohol - and anthocyanins from sweet potato peel, which comes from a food industry residue. The anthocyanins were extracted with acidified water as a solvent in the water/hydrochloric acid ratio, 100/1% v/v at 35 °C and 100 rpm, being the most efficient extraction time in 60 minutes. The films formed by chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins were produced by casting method, analyzed and applied in beef through colorimetric tests in order to evaluate the possibility of using the films in food. Therefore, the results showed that the films incorporated with anthocyanins did not have changed hygroscopicity, however the thickness and solubility increased. The film was opaque enough to protect food and the chemical bonds between anthocyanins and the polymeric film interact through hydrogen bonds. The colorimetric analysis as well as the application test showed that the films change the color noticeably according to the pH change, making possible to apply the films in food as intelligent packaging.

Keywords: biopolymers, intelligent packaging, natural pigments, food waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Embalagem inteligente indicadora de frescor em carnes: ampulheta indicando que a carne está apta ao consumo (A) e ampulheta preenchida indicando que a carne está degradada (B).....	17
Figura 2 - Embalagem com sensor de maturação de peras: crocante e dura (vermelho), firme e frutado (laranja) e succulenta e macia (amarela).....	19
Figura 3 - Estrutura das antocianinas.	20
Figura 4 - Modificações das estruturas das antocianinas conforme o pH.	21
Figura 5 - Batata-doce <i>Ipomoea batatas</i> L.	23
Figura 6 - Fluxograma das etapas elaboradas neste trabalho.	27
Figura 7 – Processo de preparação da casca da batata-doce: lavagem, descascamento, congelamento em placas de Petri e pó obtido da moagem em moinho de facas.	28
Figura 8 - Representação da cor através da escala Cielab.	33
Figura 9 - Extrato de antocianinas antes e após ser filtrado obtido do pó da casca da batata-doce.	37
Figura 10 - Alteração colorimétrica das antocianinas no extrato com a variação do pH.	38
Figura 11 - Variação da cor das antocianinas com a modificação do pH.	38
Figura 12 - Filme controle composto por quitosana e polivinil álcool (A) e filme composto por quitosana e polivinil álcool com adição de 0,1% de antocianinas (B).	39
Figura 13 - Representação da gota de água na superfície dos filmes controle (A) e filmes com 0,1% de antocianinas (B).	42
Figura 14 - Alteração da cor no filme com antocianinas com a mudança do pH (1 a 13).	43
Figura 15 - Espectros de Infravermelho para o filme controle (azul) e para o filme com antocianinas (vermelho).	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração de antocianinas totais extraídas do pó da casca da batata-doce de acordo com o tempo de extração.	36
Tabela 2 - Teor de umidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool.	39
Tabela 3 - Espessura dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool.	40
Tabela 4 - Opacidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool.	41
Tabela 5 - Ângulo de contato formado entre a gota de água e os filmes à base de quitosana e polivinil álcool.	42
Tabela 6 - Variação dos parâmetros L^* , a^* e b^* para os filmes à base de quitosana e polivinil álcool.	43
Tabela 7 - Solubilidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool em água destilada a 25 °C.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária;

AOAC: *Association of Official Analytical Chemists*;

FTIR: Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier;

PVA: Poliacetato de vinila;

QR: *Quick response*;

RFID: Sistemas de identificação por rádio frequência;

U: Teor de umidade;

UPC: Código Universal de Produto;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Embalagens	14
3.1.1	Embalagens Inteligentes.....	15
3.2	Antocianinas.....	19
3.3	Batata-doce (<i>Ipomoea Batatas</i> L.)	22
3.4	Resíduos.....	24
3.4.1	Biopolímeros	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1	Material	27
4.2	Acondicionamento das cascas da batata-doce	28
4.3	Extração das antocianinas	29
4.3.1	Quantificação das antocianinas totais.....	29
4.3.2	Análise Colorimétrica Visual	30
4.4	Produção dos filmes biodegradáveis.....	30
4.5	Caracterização dos filmes	31
4.5.1	Umidade	31
4.5.2	Espessura	31
4.5.3	Opacidade.....	31
4.5.4	Molhabilidade.....	32
4.5.5	Análise colorimétrica dos filmes.....	32
4.5.6	Solubilidade e migração das antocianinas.....	33

4.5.7	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR.....	34
4.5.8	Aplicação dos filmes	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Análise do teor de umidade do pó de batata-doce.....	36
5.2	Quantificação das antocianinas totais	36
5.3	Análise colorimétrica visual	38
5.4	Caracterização dos Filmes.....	39
5.4.1	Análise do teor de umidade	39
5.4.2	Análise da espessura.....	40
5.4.3	Análise da opacidade.....	41
5.4.4	Análise da molhabilidade	41
5.4.5	Análise colorimétrica dos filmes.....	43
5.4.6	Análise da solubilidade e da migração	44
5.4.7	Análise da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier – FTIR..	45
5.4.8	Análise da aplicação dos filmes	46
6	CONCLUSÃO	49
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
8	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, a aplicação das embalagens indicadoras ou inteligentes tem se mostrado uma alternativa eficaz para o monitoramento da qualidade dos alimentos durante sua distribuição e comercialização (GHAANI et al., 2016). As embalagens inteligentes são materiais projetados para detectar em tempo real mudanças no pH do alimento, alterações da temperatura no meio externo ou, ainda, modificações na concentração de gases no espaço livre entre a embalagem e o alimento, sendo que, essas mudanças podem ser associadas com a qualidade do produto (GHAANI et al., 2016). Dessa forma, as embalagens indicadoras vêm sendo utilizadas em produtos frescos e minimamente processados (YAM; TAKHISTOV; MILTZ, 2005).

Sabendo que a mudança de pH é um fator importante que informa a deterioração em muitos alimentos (SILVA-PEREIRA et al., 2015), pode-se aliar às antocianinas, que são compostos naturais utilizados como corantes que mudam de cor de acordo com as alterações no pH (CHOI et al., 2017). Partindo dessa premissa, escolheu-se a casca da batata-doce (*Ipomoeas Batatas L.*), devido ao seu alto teor de antocianinas nas cascas (CHOI et al., 2017).

A produção de embalagens biodegradáveis é outra tendência na área da conservação dos alimentos como uma alternativa mais sustentável às embalagens comuns, uma vez que o uso de polímeros derivados do petróleo causa poluição ambiental, por serem não biodegradáveis, ocasionando sérios problemas ecológicos (THARANATHAN, 2003). Sendo assim, diversos estudos têm avaliado a produção de embalagens inteligentes biodegradáveis, como o desenvolvimento de filmes feitos a partir do amido de mandioca, contendo antocianinas extraídas da uva e clorofila extraída do espinafre (VEIGA-SANTOS; DITCHFIELD; TADINI, 2011), assim como o desenvolvimento de uma embalagem indicadora produzida a partir da quitosana, amido de milho e extrato de repolho roxo (SILVA-PEREIRA et al., 2015).

A quitosana é um biopolímero obtido da desacetilação da quitina, um polissacarídeo encontrado no exoesqueleto de crustáceos, nos insetos e fungos. Esse biopolímero é biodegradável, não tóxico e apresenta excelentes propriedades de formação de filmes, sendo adequado para embalagens inteligentes (CAZÓN et al., 2017). Desta forma, a produção de um filme a partir da quitosana seria uma solução adequada e conveniente ao uso de embalagens inteligentes, contribuindo para a segurança dos alimentos.

Recentemente, Yong et al. (2019) desenvolveram filmes inteligentes à base de quitosana e antocianinas da polpa da batata-doce. Os autores observaram mudanças

colorimétricas nos filmes para uma faixa de pH entre 3 e 10, concluindo que estes materiais poderiam ser utilizados como filmes indicadores na indústria de alimentos. Na literatura não se encontrou nenhum estudo que tenha avaliado a utilização de antocianinas da casca da batata-doce para desenvolver embalagens inteligentes à base de quitosana.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo produzir, caracterizar e aplicar filmes indicadores biodegradáveis a partir da quitosana com a introdução das antocianinas da casca da batata-doce, a fim de observar a potencial mudança de cor conforme a variação do pH. O propósito é desenvolver um material capaz de detectar e informar a degradação de produtos cárneos, contribuindo para uma maior qualidade e segurança do alimento e do consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi produzir e caracterizar filmes indicadores contendo antocianinas obtidas da casca da batata-doce (*Ipomoea Batatas* L.) que alteram a coloração em diferentes pH.

2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Extrair as antocianinas a partir da casca da batata-doce utilizando água acidificada como solvente;
- Produzir filmes à base de biopolímeros contendo antocianinas pela técnica de *casting*;
- Estudar as principais propriedades físicas e químicas dos filmes contendo antocianinas;
- Analisar a capacidade de alteração de cor dos filmes de acordo com a variação do pH;
- Aplicar os filmes como indicadores de frescor em carne bovina a diferentes temperaturas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Embalagens

Segundo o Regulamento Técnico Para Rotulagem De Alimentos Embalados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), embalagem é definida como o recipiente que conserva os alimentos e auxilia no transporte e no manuseio. As principais funções das embalagens são: proteção, comunicação, conveniência e conservação (PAINE, 2012).

A embalagem deve proteger o produto de efeitos externos do meio em que está inserido como choques mecânicos e variações climáticas (PAINE, 2012). Além disso, a comunicação das embalagens serve não só para informar o produto que está contido como também para instruir sobre como o produto deve ser manuseado e armazenado, bem como desempenhando papel como estratégia de marketing (PAINE, 2012; YAM et al., 2005). O conceito de conveniência das embalagens engloba a expedição, o armazenamento e a distribuição aos consumidores, em que promove facilidades na abertura e no fechamento (PAINE, 2012).

As embalagens devem conservar o alimento, servindo de barreira a fatores e condições como presença de microrganismos, oxigênio, contaminantes químicos, luz e umidade, fazendo com que o alimento mantenha a qualidade durante armazenamento e transporte, e aumente a vida útil do produto (RHIM; PARK; CHANG-SIK, 2013).

Como as embalagens têm uma importante atribuição na vida útil dos alimentos, é fundamental escolher de forma consciente o material e o design que irão compor a embalagem. A fim de preservar a qualidade do produto durante a distribuição e o armazenamento é primordial escolher o melhor material, considerando o tipo de alimento e suas características, dentre vidros, metais (alumínio e laminados), papéis e polímeros (MARSH; BUGUSU, 2007).

As embalagens são classificadas quanto ao nível em que estão inseridas, sendo a embalagem primária aquela que está em contato direto com o alimento, encarregada de conservar e conter o alimento. Já as embalagens secundárias são aquelas que contêm as embalagens primárias e são encarregadas de proteger durante a distribuição e comunicar os consumidores, principalmente quando há somente uma embalagem primária. Por fim, as embalagens terciárias são as responsáveis por reunir as embalagens primárias e secundárias para o transporte (NEUZA, 2013).

3.1.1 Embalagens Inteligentes

Uma das principais funções das embalagens de alimentos é assegurar que o produto esteja protegido e seguro desde a distribuição até o consumo. Além de manter os alimentos conservados, a embalagem garante a vida útil do produto, podendo até ampliá-la. Porém, os alimentos podem deteriorar-se de forma química, física ou biológica durante a distribuição e o armazenamento (HAN, 2014).

Desta forma, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para alcançar um novo conceito de embalagem segura: as embalagens ativas e inteligentes (GHAANI et al., 2016). As embalagens ativas têm o objetivo de aumentar a vida útil do produto (GHAANI et al., 2016), mediante a interação direta com o alimento ou pela mudança no ambiente interno da embalagem (YAM et al., 2005).

Por outro lado, as embalagens inteligentes são um sistema utilizado para fornecer informações sobre o estado atual do alimento, advertindo sobre possíveis deteriorações que o alimento sofreu (YAM et al., 2005). Ao contrário das embalagens ativas, as embalagens inteligentes não atuam diretamente no aumento da vida útil, mas focam em divulgar as informações aos consumidores sobre o estado atual do alimento (GHAANI et al., 2016).

Em vista disso, as embalagens inteligentes reconhecem o ambiente em que estão inseridas e transmitem a informação, enquanto que as embalagens ativas atuam sobre as mudanças no meio para preservar o alimento (YAM et al., 2005).

Os sistemas de embalagens inteligentes podem ser divididos em três categorias principais: embalagens indicadoras, que revelam a qualidade dos alimentos; embalagens carregadoras de dados, que apresentam código de barras e etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID), as quais objetivam a rastreabilidade; e as embalagens com sensores, que possibilitam a quantificação de analitos nos alimentos (KERRY; O'GRADY; HOGAN, 2006).

3.1.1.1 Embalagens Indicadoras

As embalagens indicadoras são aquelas que são providas de substâncias que transmitem a presença, ausência ou concentração de uma substância ou ainda o quão avançada está uma reação entre duas ou mais substâncias, indícios que podem ser vistos visualmente como, por exemplo, a mudança de cor (HOGAN; KERRY, 2008).

Existem muitos tipos de indicadores, sendo que todos podem ser representados por três categorias distintas: indicadores de tempo-temperatura, indicadores de frescor e indicadores de gases (HOGAN; KERRY, 2008).

3.1.1.2 Indicadoras de tempo-temperatura

Geralmente são etiquetas autoadesivas, que são colocadas nas embalagens, sejam elas pequenas ou grandes (GHAANI et al., 2016). Existem dois tipos de indicadores de temperatura, os indicadores de tempo-temperatura, os quais fornecem o histórico da temperatura no tempo e revelam a exposição acumulada acima da temperatura crítica e os indicadores de temperatura, que comunicam apenas se o produto foi exposto acima ou abaixo da temperatura crítica (AHVENAINEN; HURME, 1997).

Devido aos fatores tempo e temperatura, os quais atuam na cinética da deterioração química e física, o indicador tempo-temperatura consegue prevenir qualquer tipo de mau uso dos alimentos, pois informa o histórico de temperaturas (GHAANI et al., 2016).

3.1.1.2.1 Indicadoras de frescor

Devido à alta procura por alimentos mais saudáveis e frescos, surgiram os indicadores de frescor, os quais podem ser definidos como dispositivos inteligentes que monitoram a qualidade dos alimentos durante o transporte e armazenamento (GHAANI et al., 2016).

Os indicadores de frescor determinam a qualidade do alimento de forma direta, analisando o crescimento de microrganismos e as alterações químicas que ocorrem no produto (HOGAN; KERRY, 2008). Isto pode ser observado na Figura 1, em que a carne com qualidade apropriada para o consumo está representada por uma etiqueta em forma de ampulheta branca em A, já a carne em B, está deteriorada e devido à produção de amônia, a ampulheta ficou preenchida, indicando que o consumo desta carne não é recomendado.

Figura 1 - Embalagem inteligente indicadora de frescor em carnes: ampulheta indicando que a carne está apta ao consumo (A) e ampulheta preenchida indicando que a carne está degradada (B).



Fonte: El Deen et al. (2014).

3.1.1.2.2 Indicadoras de gases

Os indicadores de gás são incorporados na embalagem na forma de um selo ou são diretamente impressos na embalagem e verificam as modificações na composição do gás. Assim, é possível analisar a qualidade e segurança dos alimentos (YAM et al., 2005). Além disso, podem verificar a eficiência dos componentes de embalagens ativas ou examinar a ocorrência de vazamentos (GHAANI et al., 2016).

O gás mais comum utilizado como indicador em embalagens de alimentos é o oxigênio, pois o oxigênio pode causar rancidez oxidativa, variação de cor e deterioração microbiana (YAM et al., 2005).

3.1.1.3 Embalagens carregadoras de dados

Os dispositivos carregadores de dados são os responsáveis por transcorrer as informações na cadeia de suprimentos, tornando-a mais eficaz, em prol da qualidade e segurança dos alimentos. Apesar de não informar sobre um aspecto ou característica específica de qualidade do produto, os dispositivos são destinados à automatização, à rastreabilidade e à

proteção contra fraudes. Os principais dispositivos carregadores de dados são os códigos de barras e as etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID) (GHAANI et al., 2016).

3.1.1.3.1 Códigos de barras

O código de barras é implementado para aperfeiçoar as informações e intensificar as transmissões de dados (MANTHOU; VLACHOPOULOU, 2001). O UPC (Código Universal do Produto) é composto por barras paralelas espaçadas entre si com representação de 12 dígitos. Esta informação codificada é lida por um scanner óptico e encaminha a informação para um sistema que armazena e processa (GHAANI et al., 2016).

Ainda, existe o código de barras bidimensional, como o Quick Response (QR), capaz de armazenar mais dados do que o código de barra tradicional de uma dimensão. Por ter informações dispostas na horizontal e na vertical, requer um dispositivo apto para ler as duas dimensões simultaneamente (KATO; TAN; CHAI, 2010).

3.1.1.3.2 Identificação por rádio frequência – RFID

A identificação por rádio frequência consiste em etiquetas adicionadas na embalagem, possuindo um microchip, capaz de armazenar um número de identificação único, conectado a uma pequena antena. O leitor captura as ondas de rádio emitidas pelo RFID e as transmite para um computador capaz de analisar os dados armazenados (HOGAN; KERRY, 2008; YAM et al., 2005). Em relação ao código de barras, o RFID apresenta algumas vantagens, como maior eficiência no armazenamento de dados, propiciando a combinação com indicadores e biossensores (MARTÍNEZ-SALA et al., 2009; WANT, 2004).

3.1.1.4 Embalagens com sensores

Os sensores baseiam-se na identificação de agentes químicos, patógenos e toxinas presentes nos alimentos. Além disso, podem reconhecer proteínas alergênicas existentes nos alimentos, evitando assim reações alérgicas ao amendoim, nozes e glúten (KUSWANDI et al., 2011). Um exemplo de embalagem com sensores está representado na Figura 2, com uma embalagem inteligente acondicionando peras e indicando o gás etileno que é liberado pelas frutas, assim, o consumidor pode escolher em qual estágio de maturação prefere consumir o alimento.

Figura 2 - Embalagem com sensor de maturação de peras: crocante e dura (vermelho), firme e frutado (laranja) e suculenta e macia (amarela).



Fonte: Nanopack, 2018.

Existem sensores químicos e biossensores, sendo que estes dois tipos são diferenciados pela composição da camada de reconhecimento existente em cada. Ao passo que nos sensores químicos o receptor é um composto químico, nos biossensores a camada de reconhecimento é composta por materiais biológicos como enzimas, anticorpos, antígenos e ácidos nucleicos (WANG, 2006).

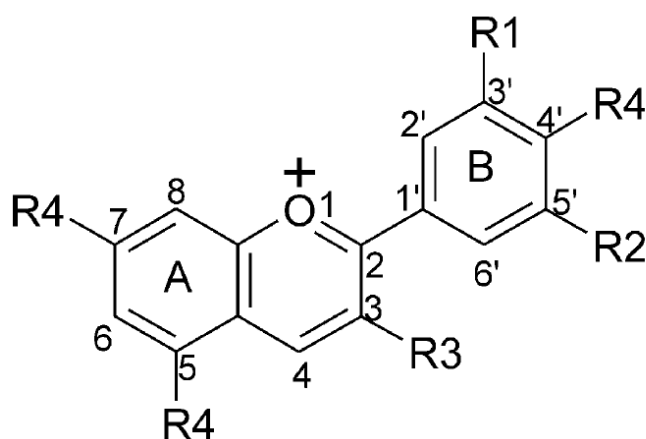
3.2 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos responsáveis pelas cores de muitas frutas, vegetais, cereais e flores, compreendendo um espectro desde vermelho, roxo até azul. São também consideradas o maior grupo de pigmentos que são solúveis em água, sendo classificadas como compostos fenólicos, chamados de flavonoides (BRIDGERS; CHINN; TRUONG, 2010). Estes pigmentos podem ser utilizados na indústria para produzir embalagens inteligentes, indicadoras de frescor (KUREK et al., 2018).

O nome antocianinas vem do grego *anthos* (flor) e *kyanos* (azul), devido à extração de substâncias azuis das flores. No entanto, este termo é utilizado hoje para designar toda esta família de pigmentos naturais, independentemente da coloração que possuem (FREITAS, 2005).

As antocianinas possuem uma estrutura policíclica composta por 15 carbonos com moléculas de açúcar ligadas em diferentes posições hidroxila, conforme apresentado na Figura 3. Mas, quando estão livres destes açúcares, são chamadas de antocianidinas ou agliconas (BRIDRLE; TIMBERLAKE, 1997). Existem mais de 500 tipos de antocianinas e 23 antocianidinas já identificados, sendo que apenas seis (pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina) são geralmente encontradas em plantas vasculares, sendo conhecidas como antocianinas comuns (CASTANEDA-OVANDO, 2009; CLIFFORD, 2000).

Figura 3 - Estrutura das antocianinas.



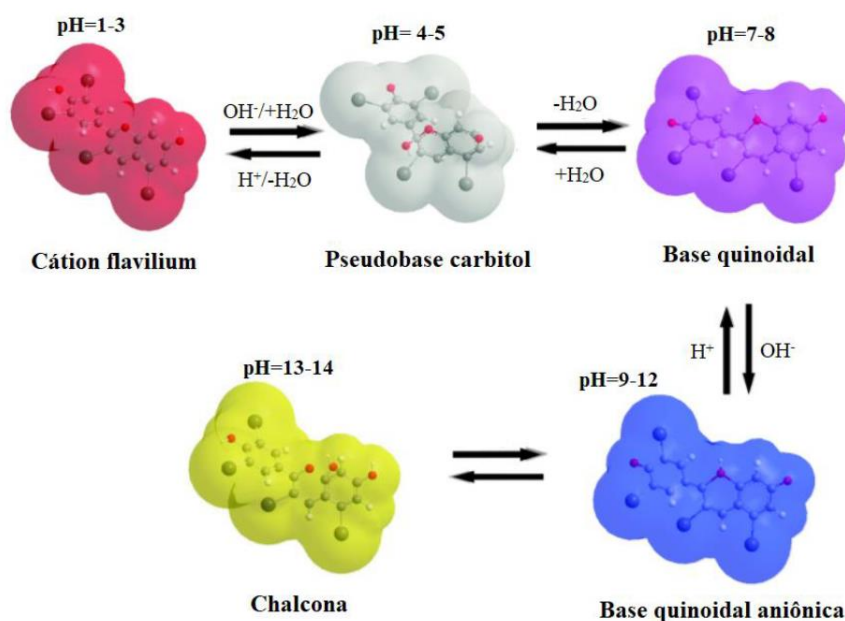
Fonte: Kong et al. (2003).

Em se tratando de saúde, foram comprovados alguns efeitos benéficos que as antocianinas possuem, como atividade antioxidante, antimutagênica, anti-inflamatória, antimicrobiana e efeito de proteção ultravioleta (SUDA et al., 2003).

Antocianinas provenientes de diferentes fontes podem apresentar intensidades e estabilidade de cor distintas devido à variação das suas estruturas químicas (ANANGA et al., 2013). Isto é possível mudando as condições ácidas e alcalinas em que estão inseridas (SILVA et al., 2017), sendo esta mudança causada pela alta reatividade do íon flavilium. Em meio ácido, com pH menor do que 3, sua estrutura possui a forma do cátion flavilium, apresentando coloração vermelha. Aumentando o pH há desprotonação, produzindo formas quinoidais, com colorações violetas ou azuis. Da mesma forma, a hidratação do cátion flavilium origina a

pseudobase carbitol, a qual é incolor e que pode formar a chalcona. Com um aumento maior ainda do pH, a chalcona é formada, apresentando coloração amarela (ANANGA et al., 2013; DA COSTA, 2017) sendo todas estas alterações na estrutura mostradas na Figura 4. Esta mudança de cor com o pH tem permitido a aplicação das antocianinas nas embalagens inteligentes, do tipo indicadoras de frescor, sendo que, a cor da embalagem muda com o pH do alimento, indicando o frescor deste último (ZETTY ARENAS, 2005).

Figura 4 - Modificações das estruturas das antocianinas conforme o pH.



Fonte: Adaptado de Ananga et al. (2013).

As alterações nas estruturas são mais consideráveis na região alcalina devido à sua instabilidade (CABRITA; FOSSEN; ANDERSEN, 2000), portanto, a estabilidade das antocianinas é maior em meio ácido. Assim, a estabilidade da cor das antocianinas depende da estrutura, da concentração de antocianinas adicionadas, pH, temperatura e presença de oxigênio (LOPES et al., 2007).

Desta forma, as antocianinas podem ser aplicadas em embalagens, sendo que os alimentos respondem de acordo com o pH, auxiliando no monitoramento da vida útil dos alimentos (URANGA et al., 2018).

As fontes de antocianinas são diversas, entre elas estão o repolho roxo, a uva, jabuticaba, cascas de batata-doce e de feijão. Assim, é de grande interesse o estudo destas fontes de antocianinas, como, por exemplo, a batata-doce, que contém grande quantidade de antocianinas e seu corante natural tem um grande espectro de variação de cores de acordo com a mudança do pH (CHOI et al., 2016). Também é cada vez mais crescente na indústria a

demanda pelo uso de corantes naturais oriundos de alimentos e a casca da batata-doce é considerada uma boa fonte de antocianinas estáveis e que podem ser usadas como corante vermelho em alimentos. Como aditivo, as antocianinas são capazes de produzir maior quantidade de corante em relação aos pigmentos de cochonilha (ISLAM, 2006).

3.3 Batata-doce (*Ipomoea Batatas* L.)

A batata-doce (Figura 5) pertence à família Convolvulaceae, tribo Ipomoeae, gênero *Ipomoea*, subgênero *Quamoclit*, seção *batatas*, espécie *Ipomoea batatas* (L.) (HUAMÁN, 1992). É uma planta tuberosa que possui ciclo de produção baseado em 4 a 5 meses, contudo, seu cultivo é anual, ainda que seja uma planta perene (CARMONA, 2015). A família Convolvulaceae abrange 45 gêneros e 1000 espécies, no entanto, apenas a *Ipomoea batatas* L. apresenta relevância econômica como alimento (SENANAYAKE et al., 2013).

É uma hortaliça que sobressai diante das outras, pois é de fácil cultivo, rústica, pois é resistente a pragas, consegue adaptar-se aos diferentes tipos de solo e clima, além de tolerar a seca e ter baixo custo de produção (DE ANDRADE JÚNIOR et al., 2012). Por esta facilidade de cultivo e grande adaptabilidade às condições climáticas e amplo aproveitamento, o cultivo da batata-doce tem cada vez mais se difundido em inúmeras partes do mundo (MURILO; SANTOS, 1999).

No Brasil, a batata-doce é uma das hortaliças mais cultivadas, sendo produzida, em 2017, 776,285 toneladas em 54.123 hectares (IBGE, 2017).

A batata-doce é utilizada como alimento, principalmente, de forma doméstica, sendo apenas cozida, mas ainda participa de processos industriais para obter farinhas, flocos e fécula (ROESLER et al., 2008). Todavia, é uma hortaliça multifuncional, pois seu cultivo pode ser utilizado na produção de etanol, além de tecidos, papel, cosméticos, adesivos, corantes, açúcares, xaropes, cereais pré-cozidos, snacks e ração de animais (LEBOT; NDIAYE; MALAPA, 2011; MOULIN et al., 2012)

A planta é composta por duas partes que servem como alimento: as raízes tuberosas e as folhas aéreas, que possuem o dobro de valor proteico comparado às raízes (CARMONA, 2015). Por ser um vegetal altamente nutritivo, contém vitaminas B1, B2 e E, minerais como o Cálcio, o Magnésio e o Zinco, fibras dietéticas e antocianinas (TANG et al., 2018). A raiz não apresenta gorduras saturadas ou colesterolis (MOHANRAJ; SIVASANKAR, 2014).

A coloração da casca e da polpa varia de acordo com as condições ambientais do cultivo da batata-doce, variando entre roxa, vermelha-arroxeadada, vermelha, laranja, salmão, amarela, creme e branca (HUAMÁN, 1992).

Figura 5 - Batata-doce *Ipomoea batatas* L.



Fonte: Favo Tecnologia (2018).

A coloração roxa da casca da batata se deve ao alto teor de antocianinas encontradas na casca (PHILPOTT et al., 2003; TERAHARA et al., 2004), sendo que estas tem uma maior captura de radicais ou atividade antioxidante do que os cultivos de batata branca, amarela e laranja (FURUTA et al., 1998; TEOW et al., 2007). Esta atividade antioxidante está relacionada a saúde, protegendo o corpo contra radicais livres prejudiciais, gerados através da radiação UV, poluição, dentre outras fontes (HALLIWELL, 1999). As principais antocianinas encontradas na batata-doce são mono ou diaciladas nas formas de cianidina e peonidina (GODA et al., 1997; TERAHARA et al., 2004).

Cevallos-Casals e Cisneros-Zevallos (2002) avaliaram que a batata-doce tem maior atividade antioxidante do que um blueberry e atividade similar quando comparada a dois blueberries.

De acordo com Yong et al. (2019), a variação de cor das antocianinas da batata-doce com o pH divergiu da seguinte forma: pH 3,0 a 5,0, 6,0 a 8,0 e 9,0 a 10,0 com as colorações rosa, roxa e verde, respectivamente. Estes resultados foram obtidos pela modificação da estrutura das antocianinas, desde estruturas vermelhas do cátion flavilium até formas quinoidais púrpura-azul (SIGURDSON et al., 2019).

Já Choi et al. (2017), obtiveram as variações vermelho para pH menor do que 4,0, rosa para pH 5,0 a 6,0, roxo para pH 7,0, azul para pH 8,0 e verde para pH 10,0.

A estabilidade das antocianinas da batata-doce é resultante de alguns aspectos como estrutura química das antocianinas, pH, temperatura, luz, presença de oxigênio, degradação enzimática e devido a algumas interações entre os componentes presentes nos alimentos como ácido ascórbico, íons metálicos, açúcares e copigmentos (FRANCIS, 1989).

Há uma grande procura na indústria de alimentos pelo uso de corantes naturais e a batata-doce é uma grande fonte de antocianinas estáveis, as quais podem ser usadas como corante vermelho em substituição ao corante sintético vermelho 40 (CEVALLOS-CASALS; CISNEROS-ZEVALLOS, 2002).

3.4 Resíduos

A perda e o desperdício de alimentos no mundo representa aproximadamente um terço do total da produção, representando cerca de 1,3 bilhões de toneladas por ano e sendo o processamento de frutas e vegetais um dos maiores responsáveis por este desperdício de resíduos (STAFF, 2018).

Assim, a indústria de alimentos gera uma grande quantidade de resíduos que são relevantes e propensos à reutilização. Com o aproveitamento dos resíduos, reduz-se o impacto ambiental das indústrias, além de agregar valor aos subprodutos (PELIZER; PONTIERI; MORAES, 2007). Os resíduos são compostos por cascas, caroços, sementes, ramas e bagaços sendo grandes fontes de nutrientes e compostos bioativos (SUN-WATERHOUSE, 2011).

Kobori e Jorge (2005) desenvolveram óleos obtidos das sementes de laranja, maracujá, tomate e goiaba a fim de aproveitar os resíduos industriais e concluíram que os óleos apresentaram características físico-químicas semelhantes a alguns óleos comestíveis, sendo uma possível alternativa ao consumo de óleos.

Outra fonte de resíduos é a batata-doce, que representou, em 2011, cerca de 7% do total de resíduos produzido no mundo (FAO, 2016). O processamento da batata-doce gera muitos subprodutos, dependendo do método de processamento e do produto desejado. Estes subprodutos são ricos em carboidratos, proteínas, antocianinas e vitaminas, os quais podem ser aproveitados como matéria-prima para fabricação de produtos de alto valor (ISLAM, 2002).

As cascas da batata-doce oriundas de processos industriais são responsáveis por aproximadamente 30% do total do produto (SCHAUB; LEONARD, 1996), ou seja, grande parte da batata-doce se transforma em resíduo e é desperdiçada.

Além de conter grande quantidade de compostos fenólicos, há o aumento da demanda dos consumidores por produtos naturais, desta forma, a indústria de alimentos está

progressivamente substituindo corantes sintéticos por pigmentos naturais, os quais vêm de fontes como as cascas da batata-doce (AKOETEY; BRITAIN; MORAWICKI, 2017).

3.4.1 Biopolímeros

A demanda de matérias-primas produzidas a partir de fontes renováveis vem crescendo exponencialmente nas últimas décadas a fim de suprir a necessidade de utilizar materiais derivados do petróleo, para evitar a poluição por estes materiais, já que estes não são facilmente degradados no meio ambiente. Desta forma, estes materiais alternativos de fontes renováveis são chamados de biopolímeros, são biodegradáveis e benéficos ao meio ambiente, diminuindo as emissões de dióxido de carbono (VIÉGAS; SILVA; RODRÍGUEZ, 2016).

Assim, os biopolímeros podem ser utilizados em diversas áreas, incluindo as embalagens de alimentos. A biodegradação destas embalagens decorre da ação dos microrganismos que estão presentes no meio ambiente, os quais, através de enzimas, modificam o polímero em estruturas mais simples, que retornam ao meio ambiente (ANDRADE, 2011). Além de serem biodegradáveis, as embalagens de biopolímeros são um ótimo meio para inserir aditivos como antioxidantes, antifúngicos, antimicrobianos, cores e nutrientes (RHIM, 2013).

Os biopolímeros podem ser classificados em três categorias de acordo com a sua origem: polímeros extraídos diretamente de recursos agrícolas como polissacarídeos (amido, celulose e quitosana), proteínas (caseína) e lipídios (triglicerídeos); polímeros produzidos por síntese química a partir de fontes renováveis de base biológica, como o polivinil álcool (PVA); e polímeros produzidos por microrganismos, como o pululano (SRINIVASA; THARANATHAN, 2007; GARAVAND, 2017). As matérias-primas biodegradáveis são derivadas, principalmente, de subprodutos agrícolas ou de resíduos da indústria de processamento de alimentos marinhos, conservando assim os recursos naturais de forma ecológica e segura (THARANATHAN, 2003).

Porém, o desenvolvimento de embalagens deve combinar boas propriedades e custo acessível de produção. Por isso, é interessante utilizar subprodutos e resíduos da agroindústria a fim de gerar embalagens sustentáveis e competitivas no mercado (LUCHESE, 2018). Durante o processamento de crustáceos, resíduos de cascas representam até 60% de todo o produto, gerando uma grande disposição de subprodutos nas indústrias. Estas cascas são ricas em CaCO_3 , proteínas e o polissacarídeo quitina (SRINIVASA; THARANATHAN, 2007; GARAVAND, 2017).

A quitina é um polímero natural e é o segundo polissacarídeo mais abundante na natureza, sendo encontrada no exoesqueleto de crustáceos, em insetos e na parede celular de fungos (FAI, 2008). A partir da desacetilação da quitina é obtida a quitosana, um biopolímero solúvel em meio aquoso ácido, que não é tóxico e possui propriedades antimicrobianas, com excelente propriedade de formação de filmes (CAZÓN et al., 2017).

A mistura de polímeros é um dos métodos mais efetivos para produzir materiais com propriedades ideais. Assim, os filmes desenvolvidos pela mistura de polímeros apresentam propriedades físicas e mecânicas modificadas comparados aos filmes feitos por um único polímero. Devido ao baixo custo de produção de polímeros sintéticos, a mistura de polímeros naturais e sintéticos melhora a relação custo-benefício dos filmes (KANATT, 2012).

O PVA é um polímero sintético biodegradável e não tóxico, solúvel em água e por ser fácil de preparar, biodegradável, com excelente resistência química e boas propriedades mecânicas, tem sido utilizado em conjunto com outros materiais poliméricos biodegradáveis como a quitosana, a fim de melhorar as propriedades mecânicas dos filmes (PARK; PARK; RUCKENSTEIN, 2001). Como a quitosana contém hidroxila e grupos amina, é miscível com o PVA, por causa da formação de ligações de hidrogênio (CHUANG et al., 1999).

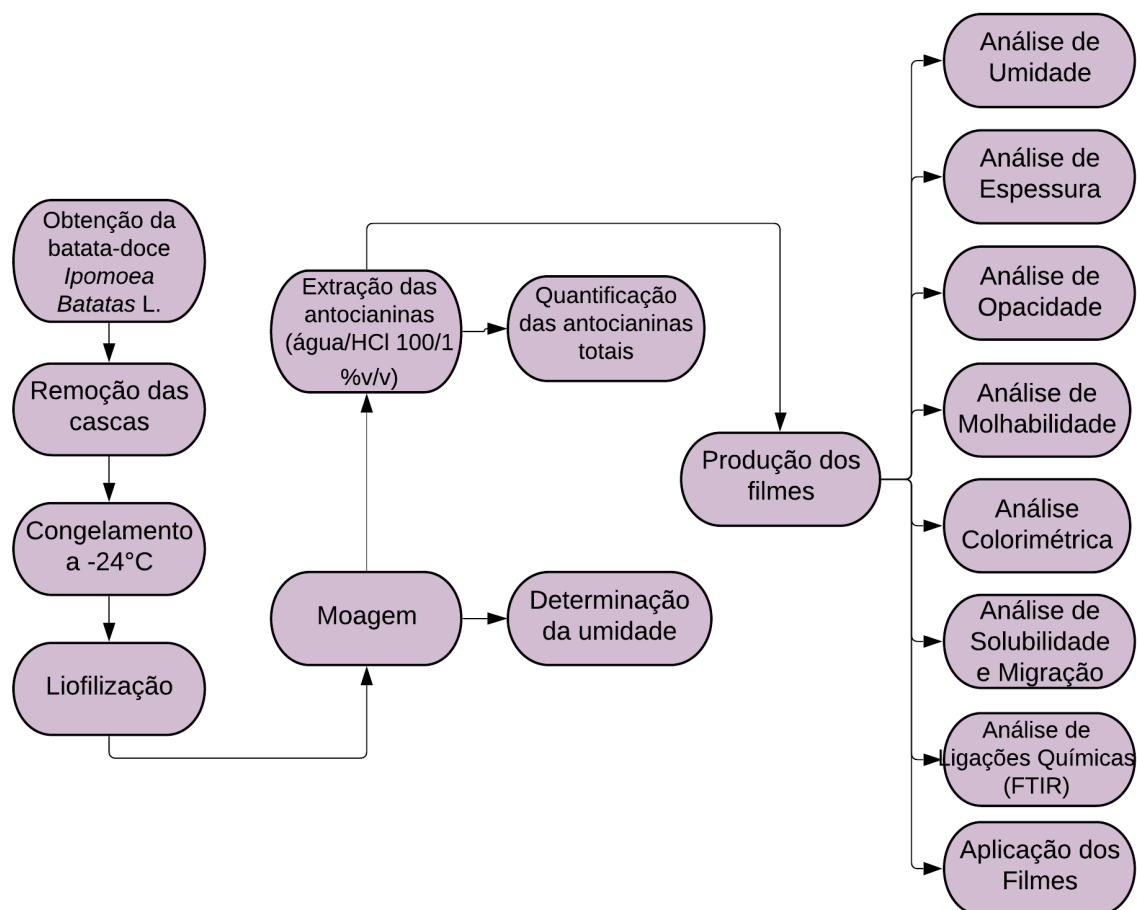
A fim de aumentar o benefício das propriedades dos filmes, nos filmes produzidos a partir de PVA com quitosana é possível adicionar agentes, como compostos fenólicos, os quais possuem altas propriedades antioxidantes, para melhorar a segurança e qualidade dos alimentos (KANATT, 2012).

Portanto, pressupondo que os filmes formados através de quitosana e PVA são seguros no uso como embalagem de alimentos e que extratos naturais, como as antocianinas, podem ser misturados nos filmes, é possível desenvolver uma embalagem inteligente (PEREIRA JR; DE ARRUDA; STEFANI, 2015). Desta forma, pode-se observar a modificação da cor da embalagem através da variação do pH do alimento, o qual determina os estágios de degradação dos alimentos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As principais etapas do processo estão apresentadas na Figura 6, representando os estágios necessários para a obtenção dos resultados.

Figura 6 - Fluxograma das etapas elaboradas neste trabalho.



Fonte: A autora (2019).

4.1 Material

A casca da batata-doce foi utilizada como fonte de antocianinas, assim, esta matéria-prima foi adquirida no mercado local da cidade de Florianópolis-SC, no mês de agosto de 2019. O ácido clorídrico (37% VH Tex, Brasil) foi utilizado na extração das antocianinas. A quitosana e o polivinil álcool foram utilizados como macromoléculas. Foram utilizadas soluções tampão para a caracterização das antocianinas. A água destilada foi usada como solvente de todos os sistemas em estudo.

4.2 Acondicionamento das cascas da batata-doce

Primeiramente, as batatas-doces foram lavadas com água corrente e as cascas foram retiradas manualmente, utilizando um descascador, sendo que, a espessura da casca retirada não ultrapassou 1 mm (TODARO et al., 2019).

Na sequência, as cascas foram congeladas a $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ em placas de Petri e desidratadas utilizando um liofilizador. O material desidratado foi submetido à moagem em um moinho de facas de aço inox (Moinho Multiuso Tecnal TE-631/2) com o intuito de reduzir o tamanho das partículas e aumentar a área de contato. O pó resultante foi acondicionado em frasco escuro a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Todas as etapas descritas acima estão exibidas na Figura 7.

Figura 7 – Processo de preparação da casca da batata-doce: lavagem, descascamento, congelamento em placas de Petri e pó obtido da moagem em moinho de facas.



Fonte: A autora (2019).

A umidade (U) da casca da batata-doce foi determinada após a liofilização, em duplicata, utilizando a metodologia da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC) (1990), utilizando uma balança analítica (AS 220/C72, Radwag). Primeiramente, os cadinhos foram secos por 24 horas em uma estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ a fim de retirar a umidade existente. Na sequência, os cadinhos foram resfriados dentro de um dessecador contendo sílica (umidade relativa $\approx 0\%$), por 30 minutos, e finalmente foram pesados em balança analítica. Então, foi adicionado 1 g do pó liofilizado da batata-doce em cada cadinho, os quais voltaram à estufa por mais 24 horas para obter a massa seca da amostra. Calculou-se a umidade do pó liofilizado utilizando a Equação 1:

$$U (\%) = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

Sendo m_o , a massa inicial da amostra (g) e m_f , a massa final da amostra (g) após a secagem em estufa.

4.3 Extração das antocianinas

Para extrair as antocianinas foi utilizado o método proposto por Capello et al., (2019) através de água acidificada como solvente (água/HCl, 100/1 %v/v) à temperatura constante, utilizando a mesma relação soluto/solvente e então avaliando o tempo de extração das antocianinas.

Para a extração em duplicata, foi utilizado um Erlenmeyer com 98,3 mL de água destilada e 2,7 mL de ácido clorídrico, totalizando 101 mL de solvente, o qual foi misturado com 0,51 g do pó das antocianinas liofilizadas. A solução foi colocada no Shaker (TE-424, Tecnal, São Paulo) a 100 rpm e 35 °C, com os balões de Erlenmeyer envoltos em papel alumínio para proteger as antocianinas da luminosidade.

Decorrido o tempo da extração, a solução foi filtrada com papel filtro para a remoção dos sólidos provenientes da casca da batata-doce. Os extratos obtidos foram armazenados em frascos escuros, a 4°C, em ausência de luz.

4.3.1 Quantificação das antocianinas totais

Conforme o procedimento de método diferencial de pH apresentado por Giusti e Wrolstad (2001), a concentração de antocianinas totais no extrato foi determinada. Inicialmente foram preparadas duas diluições da amostra em tubos de ensaio, uma contendo 0,5 mL do extrato de antocianinas dissolvido em 4,5 mL de solução tampão de cloreto de potássio 0,025 M (pH 1,0), e a outra contendo 0,5 mL do extrato de antocianinas dissolvido em 4,5 mL de solução tampão de acetato de sódio 0,4 M (pH 4,5), em duplicata (ZHAI et al., 2017).

Em 35, 60 e 80 minutos foram retiradas as amostras do extrato de antocianinas e colocadas nos tubos de ensaio, os quais foram agitados em um agitador Vortex e deixados em repouso durante 15 minutos. Então, foi utilizado um espectrofotômetro UV-Vis (U-2900, Hitachi) para medir a absorbância em comprimentos de onda de 522 e 699 nm. A concentração de antocianinas totais (T_{ant}) foi quantificada em mg/L através da Equação 2:

$$T_{ant} = \frac{[(A_{\lambda_{vis-max}} - A_{699})_{pH1.0} - (A_{\lambda_{vis-max}} - A_{699})_{pH4.5}] \times MW \times DF \times 1000}{\varepsilon \times l} \quad (2)$$

Sendo $A_{\lambda_{vis-max}}$, a absorbância a 522 nm; A_{699} , a absorbância a 699 nm; MW, a massa molecular da cianidina (449,2 g/mol); DF, o fator de diluição (geralmente 10); 1000, o fator de conversão de gramas para miligramas; ε , a absorvidade molar da cianidina (26.900 L/mol.cm) e l, o comprimento da cubeta usada no espectrofotômetro (1 cm) (GIUSTI; WROLSTAD, 2001).

Com base nas análises do teor de antocianinas totais, as melhores condições para a extração das antocianinas da casca da batata-doce foram determinadas, as quais foram utilizadas nas próximas etapas experimentais.

4.3.2 Análise Colorimétrica Visual

A fim de verificar como o extrato se comporta em diferentes faixas de pH e se é possível utilizá-lo como corante indicador de pH (CHOI et al., 2017), um teste de análise colorimétrica visual foi realizado. Sob um agitador magnético, colocou-se um béquer e adicionou-se uma pequena quantidade de extrato (≈ 3 mL). Foi adicionado hidróxido de sódio 1 M gota a gota até que o pH mudasse, o qual foi medido com o auxílio do pHmetro, observando a mudança de cor do extrato entre pH 1 a 13.

4.4 Produção dos filmes biodegradáveis

A partir da análise da concentração de antocianinas no extrato foram produzidos filmes com 0,1% de antocianinas (g de antocianinas/100 g de macromolécula total). Esta concentração foi adotada de acordo com o estudo de Merz (2019), que obteve resultados satisfatórios para filmes de quitosana, polivinil álcool e antocianinas extraídas do jambolão com a mínima concentração de 0,1%. Os filmes foram produzidos pela dispersão da quitosana em pó diretamente no extrato de antocianinas (1% m/v), sob agitação magnética constante durante 30 minutos (HALÁSZ; CSÓKA, 2018).

Paralelamente, uma solução de polivinil álcool (1% m/v) foi preparada pelo aquecimento do polivinil álcool em água, a uma temperatura de 70 °C, sob agitação mecânica constante por 30 minutos (PEREIRA et al., 2015). Após o tempo decorrido, a solução de polivinil álcool foi agitada magneticamente enquanto esfriava até atingir a temperatura

ambiente, para que não degradasse as antocianinas no processo de mistura com a solução de quitosana.

Desta forma, as duas soluções poliméricas foram misturadas em uma proporção 70/30 (% v/v) solução de quitosana/solução de polivinil álcool e agitadas magneticamente durante 30 minutos. A solução resultante foi filtrada em uma bomba a vácuo e então espalhou-se 30 g da solução em placas de Petri, as quais foram dispostas à secagem na capela em temperatura ambiente por 48 horas. Posteriormente, os filmes foram retirados das placas de Petri, transportados para sacos plásticos transparentes e mantidos em dessecadores contendo uma solução supersaturada de NaBr com umidade relativa de 60%, até atingirem equilíbrio (aproximadamente sete dias). Os filmes sem antocianinas foram considerados como controle.

4.5 Caracterização dos filmes

4.5.1 Umidade

A umidade dos filmes foi determinada pelo método gravimétrico apresentado previamente na seção 4.2 em duplicata.

4.5.2 Espessura

A espessura dos filmes foi medida através de um micrômetro eletrônico (Mitutoyo) com precisão de 0,001 mm, em duplicata. Foram escolhidos dez pontos aleatórios em cada filme para as medidas e então foi feita a média dos valores obtidos.

4.5.3 Opacidade

A opacidade dos filmes foi determinada a partir do método de Liu et al. (2017) em duplicata. Foram cortados dois pedaços retangulares dos filmes e as espessuras foram medidas em três partes diferentes deles através de um micrômetro. Após isso, os filmes foram colocados em cubetas para medir as absorbâncias de cada um em 600 nm. A opacidade foi calculada pela Equação 3:

$$\text{Opacidade} = \frac{A}{x} \quad (3)$$

Sendo A, a absorvância em 600 nm e x, a média das espessuras dos filmes (mm).

4.5.4 Molhabilidade

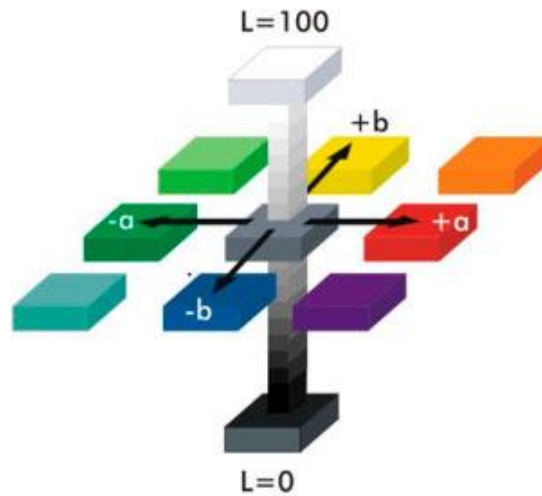
A molhabilidade superficial dos filmes foi especificada com base nas medidas do ângulo de contato. Primeiramente, foram cortados dois pedaços retangulares de dois filmes diferentes, os quais foram colados com fita dupla face em uma lâmina de vidro. Utilizou-se um goniômetro de ângulo de contato (Ramé-Hart 250) à temperatura ambiente que depositou três gotas de água através de uma seringa, em regiões distintas na superfície dos filmes (FLAKER et al., 2016). Para cada gota foram feitas dez medidas com intervalo de um segundo entre elas.

O goniômetro possui uma câmera que captura como a gota se deposita sobre o filme e o ângulo de contato entre a gota de água e a superfície dos filmes foi determinado utilizando o software do equipamento. Para fins de comparação entre os filmes, foi determinado que a análise se daria no tempo de cinco segundos após a gota encontrar a superfície do filme.

4.5.5 Análise colorimétrica dos filmes

Primeiramente, foi avaliada a cor dos filmes, sendo estes dispostos dentro de uma câmara com luz controlada. Diferentes fotografias da superfície dos filmes foram registradas utilizando uma câmera digital. 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, sendo os parâmetros considerados: L*, a variação da luminosidade, do preto ao branco; a*, a variação de cor, do verde (-) ao vermelho (+); e b*, a variação de cor, do azul (-) ao amarelo (+) (FRANCIS et al., 1975). Estes parâmetros representam um componente da cor nos filmes, sendo que se baseiam no princípio do olho humano no discernimento das cores, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Representação da cor através da escala Cielab.



Fonte: Zetty Arenas (2005).

A diferença total de cor ΔE foi calculada pela Equação 4:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

Sendo $\Delta L^* = L^*$ da amostra $- L^*$ padrão; $\Delta a^* = a^*$ da amostra $- a^*$ padrão; e $\Delta b^* = b^*$ da amostra $- b^*$ padrão.

Para determinar a sensibilidade dos filmes ao pH, diferentes amostras de filmes foram cortadas em pedaços retangulares e colocados em uma placa padrão branca. Cada pedaço foi submetido em contato com uma solução tampão diferente (pH 1 a 13). Posteriormente, a análise da mudança de cor nos filmes foi determinada através da comparação com o filme controle.

4.5.6 Solubilidade e migração das antocianinas

Os testes de solubilidade e migração das antocianinas foram realizados de acordo com o método de Halász e Csóka (2018) em duplicata, em que foi simulado a solubilidade em água à 25 °C e o teor de antocianinas que se deslocaram do filme para a solução. Para as análises de solubilidade, primeiramente, os filmes foram cortados em três círculos de 2,5 cm de raio com o auxílio de um perfurador e pesados em balança analítica. Transferiu-se estes círculos para um béquer com 50 mL de água destilada, envolvendo o béquer que continha os filmes com antocianinas com papel alumínio para proteção contra à luminosidade. Os béqueres com os

filmes com antocianinas e o filme controle foram dispostos no Shaker à 25 °C e 100 rpm durante 24 horas.

Posteriormente, as amostras foram retiradas, filtradas e levadas para secar em estufa nos cadinhos a 105 °C durante 24 horas, e então pesadas (GONTARD et al., 1992). A solubilidade dos filmes em água foi calculada em porcentagem de material solubilizado, conforme a Equação 5:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{m_{si} - m_{sf}}{m_{si}} \times 100 \quad (5)$$

Sendo m_{si} a massa inicial e m_{sf} a massa final, ambos em base seca.

A quantidade de antocianinas presentes na solução tampão, ou seja, que migraram para a solução durante o processo de solubilidade dos filmes, foi quantificada pelo método colorimétrico apresentado na seção 4.3.1.

4.5.7 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier foi utilizada para avaliar as eventuais interações químicas entre os componentes do filme. Assim, foi cortado um quadrado (1 cm x 1 cm), o qual foi identificado e levado para análise no Laboratório Central de Análises, onde foi utilizado um espectrofotômetro com varreduras na faixa espectral entre 650 e 4000 cm^{-1} com média de 20 varreduras, utilizando a técnica de Reflexão Total Atenuada (ATR) a fim de alcançar maior resolução no espectro. Posteriormente, os resultados foram analisados em software.

4.5.8 Aplicação dos filmes em alimentos

Para a simulação da aplicação dos filmes em alimentos, foi adquirido um pedaço de carne bovina corte coxão mole em bifés no supermercado de Florianópolis/SC. A carne foi cortada em retângulos e colocadas em placas de Petri fechadas com o filme incorporado internamente na tampa da placa de Petri.

Foram analisadas três condições diferentes para as amostras, sendo a primeira colocada no freezer a -24 °C, a segunda na geladeira a 4 °C e a terceira deixada na estufa a 20 °C. As

amostras foram acompanhadas durante 72 horas com a captura de fotos diariamente através da câmera digital.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do teor de umidade do pó de batata-doce

A umidade da casca da batata-doce após liofilização foi de $9,93 \pm 0,16$. Este valor é próximo ao encontrado por Azhar e Hamdy (1981), que obtiveram teor de umidade da casca da batata-doce liofilizada de 8%, portanto, o resultado obtido está coerente com o valor encontrado na literatura.

De acordo com Castro et al., (2012), a casca da batata-doce crua apresenta 75,65% de umidade, ou seja, possui maior quantidade de água disponível do que a casca liofilizada. Assim, é mais vantajoso utilizar a casca liofilizada para maximizar o processo de extração, devido a maior concentração de antocianinas.

A liofilização é apontada como o método de secagem mais adequado para pigmentos que são sensíveis a altas temperaturas, como as antocianinas. A ação deste processo é fundamentada na desidratação da casca da batata-doce congelada pela sublimação e posteriormente pela dessorção (YAMASHITA et al., 2017).

5.2 Quantificação das antocianinas totais

A quantidade de antocianinas presentes no solvente (água acidificada) foi avaliada em função do tempo (35, 60 e 80 minutos). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1. De forma geral, é possível perceber que o extrato obtido em 60 minutos tem maior concentração de antocianinas comparado ao tempo de 35 e 80 minutos. O maior desvio padrão deste tempo de extração pode ser explicado por erros de leitura no experimento.

Tabela 1 - Concentração de antocianinas totais extraídas do pó da casca da batata-doce de acordo com o tempo de extração.

Tempo (min)	Concentração de antocianinas totais (mg/L)	Concentração de antocianinas totais (mg/100 g de batata-doce liofilizada)
35	$6,26 \pm 0,92$	$375,72 \pm 55,11$
60	$6,93 \pm 1,25$	$415,80 \pm 75,14$
80	$6,51 \pm 0,17$	$390,75 \pm 10,02$

Fonte: A autora (2019).

A concentração de antocianinas totais corresponde aos valores encontrados na literatura, como o especificado por Cascon et al., (1984) que constataram uma variação de 100 a 430 mg/100g em base seca para a batata-doce.

Contudo, o extrato obtido obteve um valor superior ao encontrado por Quispe Guerrero (2003), que alcançou uma concentração de 186,67 mg/100g em base seca para a batata-doce.

De acordo com Guindani et al., (2014), o melhor solvente para a extração é o metanol, porém este composto é tóxico e não pode ser empregado na área alimentícia. A solução para isto é aplicar como solvente a água acidificada, que é capaz de extrair uma grande concentração de antocianinas e pode ser aplicada à área alimentícia por não ser um solvente tóxico.

Patil et al., (2009) extraíram antocianinas com água e água acidificada e concluíram que o sistema de água acidificada é mais eficiente na extração, devido a presença de ácido clorídrico, o qual é capaz de estabilizar os pigmentos das antocianinas e reduzir o pH ao ponto máximo de absorbância das antocianinas. No entanto, a concentração de ácido clorídrico não deve ultrapassar 1% para ser viável o emprego na área alimentícia.

A Figura 9 mostra, primeiramente, o extrato obtido após o tempo de extração e o extrato após ser filtrado. Ambos com coloração vermelha típica das antocianinas em meio ácido, com estrutura na forma do cátion flavilium.

Figura 9 - Extrato de antocianinas antes e após ser filtrado obtido do pó da casca da batata-doce.

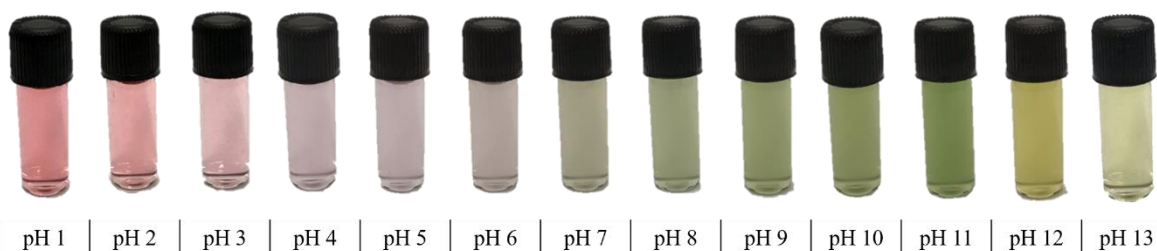


Fonte: A autora (2019).

5.3 Análise colorimétrica visual

A variação do pH 1 ao 13 no extrato, com suas respectivas mudanças colorimétricas, está reproduzida na Figura 10.

Figura 10 - Alteração colorimétrica das antocianinas no extrato com a variação do pH.



Fonte: A autora (2019).

Analisando a Figura 10, verificou-se que as antocianinas em pH ácido (pH 1) apresentam cor avermelhada, passando para rosa (pH 2 e 3) e levemente violeta (pH 4 a 5). Em pH 6 houve a presença de cor de transição entre violeta e verde. À medida que o pH foi se tornando básico (pH 7) começou a ficar verde até chegar na tonalidade verde intenso (pH 11). Então, passou a ter coloração amarela (pH 12 e 13).

Esta variação colorimétrica é explicada pela mudança da estrutura das antocianinas com a variação do pH. Quando as antocianinas apresentam cor vermelha, sua estrutura está na forma do cátion flavilium e conforme o pH aumenta, produz formas quinoidais, exibindo cor violeta ou azul. E, assim que o pH aumenta, forma a chalcona, que apresenta cor amarela.

Este resultado foi semelhante ao obtido por Choi et al., (2017) como exposto na Figura 11, começando com vermelho, passando para rosa até chegar violeta. Então, com o aumento do pH o filme se tornou verde.

Figura 11 - Variação da cor das antocianinas com a modificação do pH.



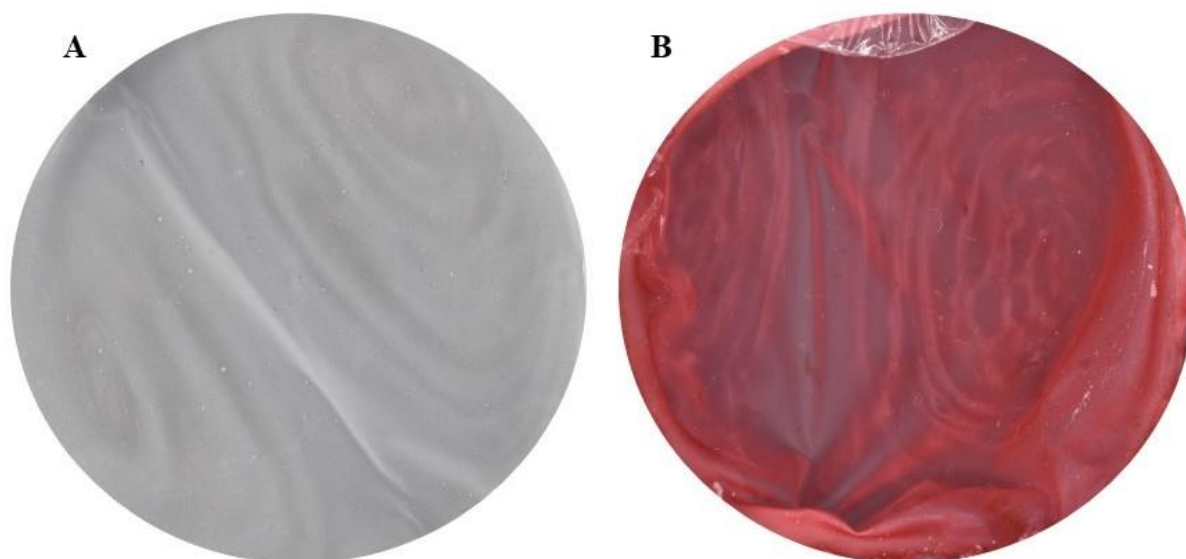
Fonte: Choi et al., (2017).

O resultado do presente trabalho indica que o extrato de antocianinas da casca da batata-doce pode ser utilizado como indicador colorimétrico na indústria de alimentos para uma ampla faixa de pH.

5.4 Caracterização dos Filmes

A Figura 12 apresenta os filmes produzidos. É possível notar que o filme controle aparentou ser um pouco mais homogêneo do que o filme com antocianinas.

Figura 12 - Filme controle composto por quitosana e polivinil álcool (A) e filme composto por quitosana e polivinil álcool com adição de 0,1% de antocianinas (B).



Fonte: A autora (2019).

5.4.1 Análise do teor de umidade

O teor de umidade dos filmes está expresso na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool.

Concentração de antocianinas (%)	Teor de Umidade (%)
0	18,56 ± 1,55
0,1	20,07 ± 2,20

Fonte: A autora (2019).

Analisando os resultados da Tabela 2, foi observado que não houve variação da umidade entre os filmes. Assim, a adição de antocianinas não alterou a higroscopicidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool. Em outro estudo, Qin et al., (2019) estudaram filmes constituídos de amido de mandioca e antocianinas do *Lycium ruthenicum* Murr, conhecido como goji preto, e constataram que os filmes com antocianinas e os filmes apenas com amido não obtiveram diferenças quanto ao teor de umidade.

5.4.2 Análise da espessura

Os resultados da espessura feitos em duplicata dos filmes contendo antocianinas e dos filmes controle estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Espessura dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool.

Concentração de antocianinas (%)	Espessura (μm)
0	$53,37 \pm 0,01$
0,1	$91,92 \pm 0,02$

Fonte: A autora (2019).

Comparando a espessura obtida na formação dos filmes controle e dos filmes com antocianinas, constatou-se que os filmes com antocianinas são mais espessos que os filmes controle. O valor mais elevado da espessura dos filmes com antocianinas pode ser explicado através da repulsão eletrostática entre as antocianinas, a quitosana e o polivinil álcool a pH 1.

Este mesmo resultado foi encontrado por Yong et al., (2019), que desenvolveram filmes com extrato da polpa da batata-doce e quitosana e a espessura dos filmes aumentou com a incorporação das antocianinas. E também por Prietto et al., (2017), que avaliaram filmes compostos por amido de milho e extrato de antocianinas da casca de feijão preto e repolho roxo e concluíram que a espessura dos filmes está diretamente relacionada com a concentração de sólidos nos filmes, sendo então, a adição das antocianinas o fator que contribuiu para maior espessura dos filmes.

5.4.3 Análise da opacidade

A opacidade dos filmes foi calculada e os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Opacidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool.

Concentração de antocianinas (%)	Opacidade (mm^{-1})
0	$27,87 \pm 1,29$
0,1	$17,44 \pm 3,52$

Fonte: A autora (2019).

Avaliando a Tabela 4, percebeu-se que os filmes controle apresentaram valores maiores para a opacidade do que os filmes com antocianinas, ou seja, o filme controle é menos transparente. Estes resultados podem ser explicados pela espessura dos filmes. No geral, o filme controle foi mais compacto que o filme contendo antocianinas. Neste último, as cadeias poliméricas da quitosana e do polivinil álcool foram afastadas como consequência da diminuição do pH, promovendo uma maior espessura e menor opacidade no filme.

Este resultado não era esperado, devido aos diversos estudos da literatura que mostram que a adição de compostos como as antocianinas, aumentam a opacidade dos filmes conforme exposto por Zhang et al., (2019), Wu et al., (2019) e Qin et al., (2019).

Todavia, o valor obtido para os filmes com antocianinas ainda são muito elevados comparados com Liu et al., (2017) que obtiveram $3,12 \text{ mm}^{-1}$ para a opacidade e Qin et al., (2019) com $2,73 \text{ mm}^{-1}$.

Desta forma, concluiu-se que mesmo sendo menos opacos que os filmes controle, os filmes com antocianinas podem ser aplicados como embalagens de alimentos, que ainda protegerão os alimentos, sendo uma barreira à luz UV, evitando a perda de nutrientes e a descoloração (ZHANG et al., 2019).

5.4.4 Análise da molhabilidade

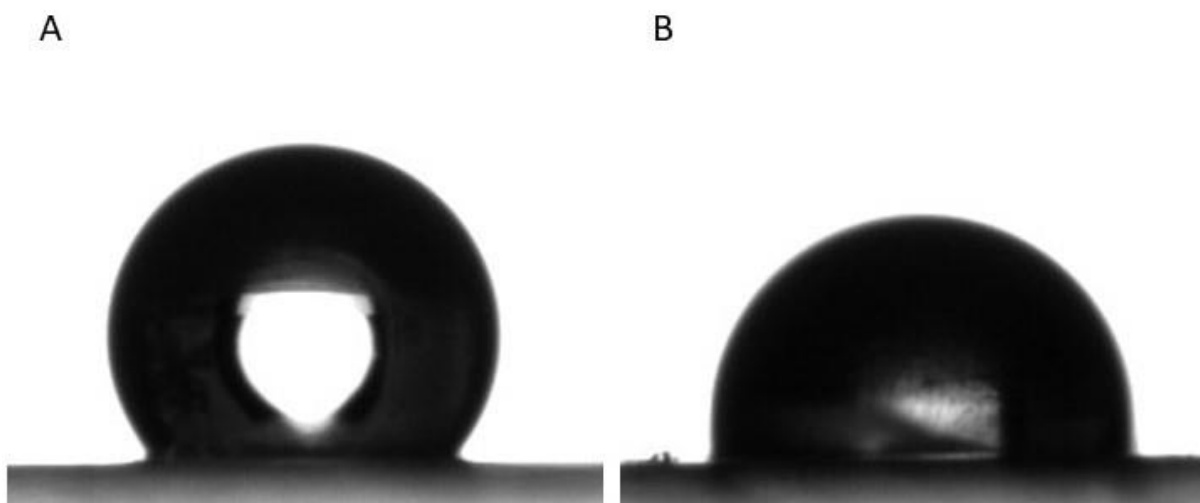
A molhabilidade dos filmes calculada pelo ângulo de contato entre o filme e a gota de água está representada na Tabela 5. A Figura 13 demonstra a gota de água na superfície dos filmes sem antocianinas e com 0,1% de antocianinas.

Tabela 5 - Ângulo de contato formado entre a gota de água e os filmes à base de quitosana e polivinil álcool.

Concentração de antocianinas (%)	Ângulo de Contato
0	$118,05 \pm 7,27$
0,1	$89,09 \pm 6,48$

Fonte: A autora (2019).

Figura 13 - Representação da gota de água na superfície dos filmes controle (A) e filmes com 0,1% de antocianinas (B).



Fonte: A autora (2019).

Analisando a Tabela 5, pode-se notar que o filme contendo 0,1% de antocianinas teve ângulo de contato menor do que o filme controle, no entanto, ainda que seja menos hidrofóbico comparado ao filme controle, pode ser considerado um filme altamente hidrofóbico.

Estes resultados também foram encontrados por Gutiérrez e Alvarez (2018), que obtiveram filmes com extrato de blueberry com menor ângulo de contato do que os filmes controle. Este resultado pode ser explicado devido à natureza hidrofílica da casca da batata-doce utilizada como extrato contendo antocianinas.

Ainda, segundo Gutiérrez e Alvarez (2018), mais análises devem ser feitas para explicar estes resultados, como a energia da superfície. Assim, esta energia pode ser suficiente para a gota de água espalhar na superfície do filme, mesmo a superfície sendo hidrofóbica.

5.4.5 Análise colorimétrica dos filmes

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros da escala CIElab, sendo: L*, a variação da luminosidade, do preto ao branco; a*, a variação de cor, do verde (-) ao vermelho (+); e b*, a variação de cor, do azul (-) ao amarelo (+).

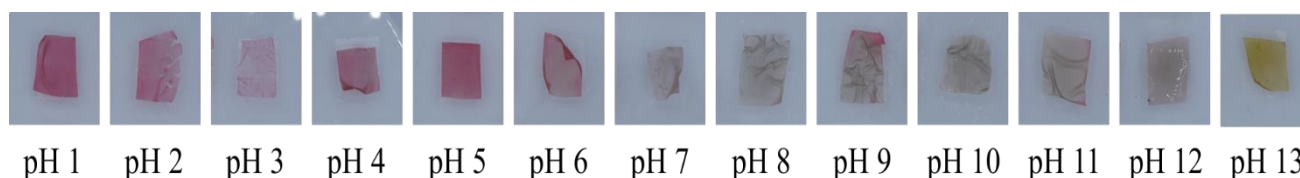
Tabela 6 - Variação dos parâmetros L*, a* e b* para os filmes à base de quitosana e polivinil álcool.

Concentração de antocianinas (%)	L*	a*	b*	ΔE^*
0	97,51 \pm 0,34	-0,45 \pm 0,52	-2,01 \pm 0,34	1,04
0,1	51,96 \pm 4,01	38,82 \pm 5,61	10,55 \pm 5,75	39,53

Fonte: A autora (2019).

A Figura 14 mostra a variação da cor com a mudança do pH nos filmes com antocianinas.

Figura 14 - Alteração da cor no filme com antocianinas com a mudança do pH (1 a 13).



Fonte: A autora (2019).

Analisando a Figura 14, pode-se perceber que os filmes com antocianinas mudam a coloração ao entrar em contato com diferentes pH, passando da cor rosa para um tom esverdeado até chegar na coloração amarela em pH 13.

Como mostrado na Tabela 6, os filmes contendo antocianinas obtiveram maiores valores de a*, b* e ΔE^* , ao passo que o valor de L* decresceu em relação ao filme controle. O aumento do valor de a* indica que o filme tende à coloração vermelha e o aumento do valor de b* revela a propensão do filme à coloração amarela. O decréscimo no valor de L* deve-se à maior coloração do filme, já que o filme controle é praticamente branco. O valor do ΔE^* aumentou com a adição das antocianinas no filme, indicando que o filme ficou mais colorido.

Yong et al., (2019) atingiram resultados semelhantes aos encontrados neste estudo, indicando que a adição das antocianinas nos filmes mudam a coloração destes e aumentam os parâmetros a^* , b^* e ΔE^* bem como diminuem a luminosidade dos filmes, representada pelo parâmetro L^* .

5.4.6 Análise da solubilidade e da migração

A solubilidade dos filmes em água destilada está representada na Tabela 7.

Tabela 7 - Solubilidade dos filmes à base de quitosana e polivinil álcool em água destilada a 25 °C.

Concentração de antocianinas (%)	Solubilidade (%)
0	66,74 ± 18,34
0,1	69,86 ± 2,90

Fonte: A autora (2019).

Considerando a Tabela 7, é possível constatar que os filmes contendo antocianinas apresentam solubilidade em água um pouco superior aos filmes controle, ou seja, a adição de antocianinas aumenta a solubilidade em água. Esta elevação deve-se à interação entre a quitosana e as antocianinas, causando um aumento nas zonas hidrofílicas disponíveis para absorção de água (PRIETTO et al., 2017).

Os resultados obtidos são similares aos encontrados por Prietto et al., (2017), que obtiveram filmes indicadores com adição de antocianinas provenientes do feijão preto com 66,3% de solubilidade.

É muito importante identificar o parâmetro de solubilidade dos filmes, devido a esta ser a propriedade de resistência à água e que assegura a integridade do filme. Além disso, para algumas aplicações é necessário que o filme contenha certa insolubilidade para manter-se íntegro na sua função de embalar e proteger o alimento (YOSHIDA et al., 2014).

Pela alta solubilidade dos filmes, os filmes não devem ser incorporados diretamente em contato com alimentos que apresentam alta atividade de água como carnes. Assim, devem ser introduzidos na embalagem de forma que só entrem em contato com os compostos voláteis liberados pelo alimento (PRIETTO et al., 2017).

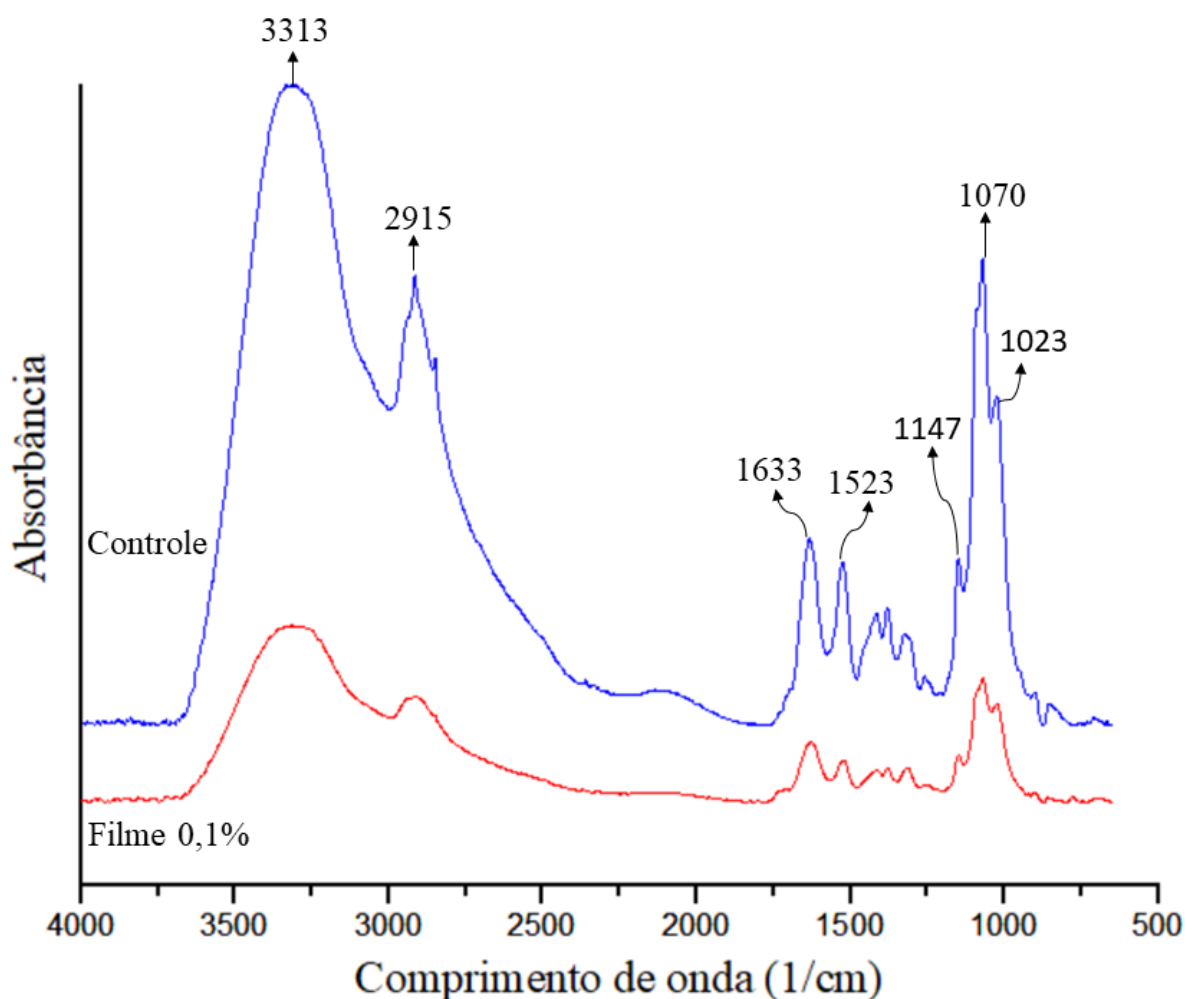
A porcentagem de antocianinas que migraram para o soluto no processo de solubilidade em água foi de 7,73%. Este resultado está próximo ao encontrado por Halász e

Csóka (2018), que obtiveram 6,7% de antocianinas migradas em filmes contendo quitosana e antocianinas, as quais eram provenientes do extrato do bagaço de arônia (chockeberry preto).

5.4.7 Análise da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier – FTIR

A Figura 15 exibe os espectros de absorção na região do infravermelho para o filme controle e o filme com 0,1% de antocianinas.

Figura 15 - Espectros de Infravermelho para o filme controle (azul) e para o filme com antocianinas (vermelho).



Fonte: A autora (2019).

A espectroscopia de infravermelho foi utilizada para verificar as interações químicas entre os polímeros e o filme indicador com antocianinas, analisando os espectros característicos de acordo com as vibrações dos átomos.

A vibração do alongamento do grupo hidroxila O-H está representada na banda 3313 cm^{-1} indicando as ligações de hidrogênio entre as antocianinas e o filme polimérico. No pico 2915 cm^{-1} pode ser observado o estiramento da ligação C-H (PEREIRA JUNIOR et al., 2014).

A banda característica em 1633 cm^{-1} é atribuída ao alongamento da ligação C=O do grupo amida (YONG et al., 2019) enquanto que a banda de absorção em 1523 cm^{-1} , corresponde às vibrações do estiramento da ligação C=C dos anéis aromáticos (CHOI et al., 2019).

O espectro em 1147 cm^{-1} é devido ao alongamento assimétrico da ponte C-O-C sendo característico da estrutura sacarídica, assim como na banda 1070 cm^{-1} , a qual resulta do alongamento da ligação C-O (LIU et al., 2017).

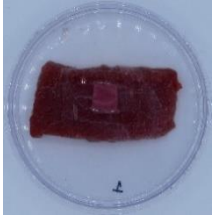
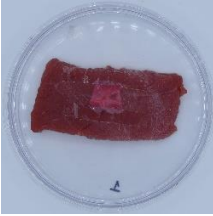
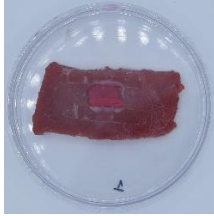
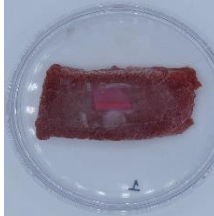
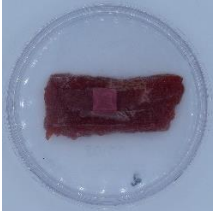

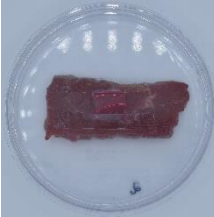
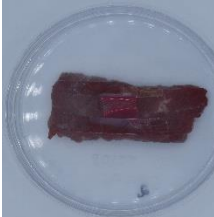
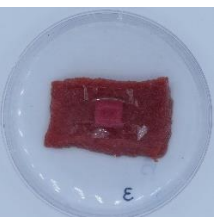
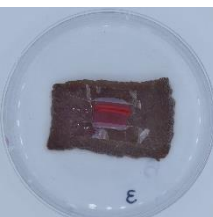
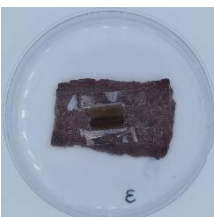
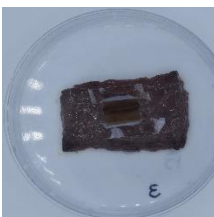
Já a banda em 1023 cm^{-1} , refere-se às deformações C-H de anéis aromáticos. Pode-se concluir, então, que as antocianinas presentes nos filmes se fixaram à matriz polimérica, pois foi constatado no espectro a presença de anéis aromáticos estendidos, os quais são característicos das antocianinas (CHOI et al., 2017).

Os espectros entre os filmes de quitosana e PVA e os filmes de quitosana, PVA e antocianinas são semelhantes entre si. Contudo, as bandas dos filmes contendo antocianinas são menos acentuadas na matriz polimérica por causa da baixa concentração do extrato de antocianinas nos filmes.

5.4.8 Análise da aplicação dos filmes

A aplicação dos filmes como embalagens de carne bovina em três condições de armazenamento e durante 72 horas está representada no Quadro 1.

Quadro 1 - Mudança de cor nos filmes com 0,1% de antocianinas em três condições: carne bovina congelada a -24 °C, carne bovina refrigerada a 4 °C e carne bovina em estufa a 20 °C durante 72 horas.

Temperatura (°C)	Tempo (h)			
	0	24	48	72
-24	pH = 5,53 	pH = 5,07 	pH = 5,15 	pH = 5,89 
4	pH = 5,53 	pH = 5,24 	pH = 5,73 	pH = 5,92 
20	pH = 5,53 	pH = 5,69 	pH = 7,32 	pH = 8,38 

Fonte: A autora (2019).

A deterioração da carne ocorre devido ao ambiente, temperatura e umidade em que o produto está inserido. Além disso, a carne se apresenta como um meio de cultura favorável à contaminação microbiana devido a suas características de alta atividade de água, rica em substâncias nitrogenadas e pH 5,6, o qual é propício ao desenvolvimento da maioria dos microrganismos (BORGES; FREITAS, 2002). Assim, os compostos nitrogenados presentes podem levar à mudança da estrutura das antocianinas, formando pseudobases carbitol, responsáveis pela mudança na coloração dos filmes.

Analisando os resultados obtidos, notou-se que os filmes não tiveram sua coloração alterada quando a carne bovina permaneceu congelada a -20 °C, assim como não houve grande variação de pH. Em refrigeração a 4 °C, percebeu-se que o filme começou a mudar sua estrutura no tempo de 72 horas, porém, permaneceu com a coloração original e pH pouco alterado.

No entanto, o filme que ficou armazenado na estufa a 20 °C começou a se deteriorar em 24 horas, com nítida mudança de coloração em 48 horas, tornando-se verde escuro, coloração coerente com a apresentada pelo extrato de antocianinas na seção 5.1. Além disso, atingiu uma mudança expressiva no pH passando a ser alcalino, comprovando a mudança na estrutura das antocianinas e eficiência do filme inteligente como indicador de pH.

6 CONCLUSÃO

A partir dos ensaios e das análises desenvolvidas, pode-se concluir que a utilização da casca da batata-doce como resíduo para o desenvolvimento de embalagens inteligentes e sustentáveis é um método eficaz, tal como as antocianinas extraídas são capazes de promover filmes indicadores de pH.

Assim, utilizando água acidificada durante 60 minutos foi possível obter o extrato e utilizá-lo para a formação dos filmes. Os filmes - contendo quitosana, polivinil álcool e antocianinas - mostraram-se higroscópicos o suficiente a ponto de permitirem a sua utilização como embalagens de alimentos, apresentando espessura característica de filmes contendo antocianinas. Outrossim, exibiram coloração representativa nos experimentos deste estudo, ou seja, foi possível observar a intensa coloração inicial e a variação na cor de acordo com a mudança do pH 1 ao 13, passando pelas tonalidades vermelha, rosa, verde e amarela, as quais descrevem as mudanças estruturais das antocianinas.

Desta forma, o resultado obtido foi satisfatório, atingindo os objetivos propostos neste estudo descritos na seção 2.1, o que pode ser demonstrado e validado pelo experimento feito em carne bovina, fazendo com que o filme, através das antocianinas, assumisse o papel de embalagem inteligente, colaborando na qualidade e na segurança dos alimentos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar as propriedades mecânicas dos filmes;
- Analisar a aplicação em um período de tempo maior;
- Avaliar a incorporação de um biopolímero menos higroscópico.

8 REFERÊNCIAS

AHVENAINEN, Raija; HURME, Eero. Active and smart packaging for meeting consumer demands for quality and safety. *Food Additives & Contaminants*, v. 14, n. 6-7, p. 753-763, 1997.

AKOETEY, Winifred; BRITAIN, Margaret Mead; MORAWICKI, Ruben Omar. Potential use of byproducts from cultivation and processing of sweet potatoes. *Ciência Rural*, v. 47, n. 5, 2017.

ANANGA, Anthony et al. Production of anthocyanins in grape cell cultures: a potential source of raw material for pharmaceutical, food, and cosmetic industries. In: *The Mediterranean genetic code-grapevine and olive*. IntechOpen, 2013.

ANVISA, 2002. Regulamento Técnico para Rotulagem de Alimentos. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_259_2002.pdf/e40c2ecb-6be6-4a3d-83ad-f3cf7c332ae2>. Acesso em: 09 jun. 2019.

AZHAR, A.; HAMDY, M. K. Alcohol fermentation of sweet potato. I. Acid hydrolysis and factors involved. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 23, n. 4, p. 879-886, 1981.

BORGES, JOÃO TOMAZ DA SILVA; FREITAS, Arlan Silva. Aplicação do Sistema Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) no processamento de carne bovina fresca. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 20, n. 1, 2002.

BRIDGERS, E. Nicole; CHINN, Mari S.; TRUONG, Van-Den. Extraction of anthocyanins from industrial purple-fleshed sweetpotatoes and enzymatic hydrolysis of residues for fermentable sugars. *Industrial crops and products*, v. 32, n. 3, p. 613-620, 2010.

BRIDLE, P; TIMBERLAKE, C. F. Anthocyanins as natural food colours—selected aspects. *Food chemistry*, v. 58, n. 1-2, p. 103-109, 1997.

CABRITA, Luis; FOSSEN, Torgils; ANDERSEN, Øyvind M. Colour and stability of the six common anthocyanidin 3-glucosides in aqueous solutions. *Food Chemistry*, v. 68, n. 1, p. 101-107, 2000.

CAPELLO, Cristiane et al. Full title: Adsorption and desorption of eggplant peel anthocyanins on a synthetic layered silicate. **Journal of Food Engineering**, 2019.

CARMONA, Paula Andrea Osorio. Caracterização morfoagronômica, físico-química e tolerância ao nematoide-das-galhas de genótipos de batata-doce avaliados no Distrito Federal. 2015.

CASCON, S. C. et al. **Corantes de batata-doce roxa para uso em alimentos**. EMBRAPA-CTAA, 1984.

CASTANEDA-OVANDO, Araceli et al. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food chemistry**, v. 113, n. 4, p. 859-871, 2009.

CASTRO, Clemente de et al. Determinação dos teores de umidade, cinzas e proteína em batata-doce, comercializadas na cidade de Natal/RN. **Associação Brasileira de Química**, 2012.

CAZÓN, Patricia et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136-148, 2017.

CEVALLOS-CASALS, B. A.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. A. Bioactive and functional properties of purple sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). In: **I International Conference on Sweetpotato. Food and Health for the Future 583**. 2001. p. 195-203.

CHOI, Inyoung et al. Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 218, p.122-128, mar. 2017.

CHUANG, Wen-Yuan et al. Properties of the poly (vinyl alcohol)/chitosan blend and its effect on the culture of fibroblast in vitro. **Biomaterials**, v. 20, n. 16, p. 1479-1487, 1999.

CLIFFORD, Michael N. Anthocyanins–nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 1063-1072, 2000.

DA COSTA, LEANDRO ARAÚJO et al. CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA.

DE ANDRADE JÚNIOR, Valter C. et al. Productive and qualitative characteristics of the vines and roots of sweet potato. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 584-589, 2012.

EL DEEN, Marwa Mohamed Kamal et al. The Intelligent Colorimetric Timer Indicator Systems to develop label Packaging Industry in Egypt. **International Design Journal**, v. 4, n. 2, 2014.

FAI, Ana Elizabeth Cavalcante; STAMFORD, Thayza Christina Montenegro; STAMFORD, Tânia Lúcia Montenegro. Potencial biotecnológico de quitosana em sistemas de conservação de alimentos. **Revista iberoamericana de polímeros**, v. 9, n. 5, p. 435-451, 2008.

FAVO TECNOLOGIA, 2018. Disponível em: <<http://favotecnologia.com.br/catalogo-de-plantas-batata-doce/>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

FLAKER, Christian HC et al. Montmorillonite dispersion in water affects some physical properties of gelatin-based nanocomposites films. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 6, n. 2, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Global food losses and food waste–Extent, causes and prevention. **Food and Agricultural organization of the United Nations**, 2011.

FRANCIS, Frederick John et al. **Food colorimetry: theory and applications**. AVI Publishing Co. Inc., 1975.

FRANCIS, Frederick John; MARKAKIS, Pericles C. Food colorants: anthocyanins. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 28, n. 4, p. 273-314, 1989.

FREITAS, Adilson Alves de. **Reatividade química e fotoquímica de antocianinas em sistemas organizados**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FURUTA, Shu et al. High tert-butylperoxyl radical scavenging activities of sweet potato cultivars with purple flesh. **Food Science and Technology International, Tokyo**, v. 4, n. 1, p. 33-35, 1998.

GARAVAND, Farhad et al. Improving the integrity of natural biopolymer films used in food packaging by crosslinking approach: A review. **International journal of biological macromolecules**, v. 104, p. 687-707, 2017.

GHAANI, Masoud et al. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 1-11, 2016.

GIUSTI, M. Mónica; WROLSTAD, Ronald E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, n. 1, p. F1. 2.1-F1. 2.13, 2001.

GODA, Yukihiro et al. Two acylated anthocyanins from purple sweet potato. **Phytochemistry**, v. 44, n. 1, p. 183-186, 1997.

GONTARD, Nathalie; GUILBERT, Stephane; CUQ, JEAN-LOUIS. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of food science**, v. 57, n. 1, p. 190-195, 1992.

GUINDANI, M. et al. Estudo do processo de extração dos compostos fenólicos e antocianinas totais do Hibiscus Sabdariffa. In: **XX congresso de engenharia química. Florianópolis–Santa Catarina**. 2014. p. 2-7.

HALLIWELL, Barry. Food-derived antioxidants. Evaluating their importance in food and in vivo. **Food science and agricultural chemistry**, 1999.

HAN, Jung H. A review of food packaging technologies and innovations. In: **Innovations in food packaging**. Academic Press, 2014. p. 3-12.

HOGAN, S. A.; KERRY, J. P. Smart packaging of meat and poultry products. **Smart packaging technologies for fast moving consumer goods**, p. 33-54, 2008.

HUAMÁN, Zósimo. **Botánica sistemática y morfología de la planta de batata o camote**. International Potato Center, 1992.

IBGE, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

ISLAM, Md Shahidul et al. Anthocyanin compositions in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 66, n. 11, p. 2483-2486, 2002.

ISLAM, Shahidul. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaf: its potential effect on human health and nutrition. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 2, p. R13-R121, 2006.

JORGE, Neuza. Embalagens para alimentos. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2013.

KANATT, Sweetie R. et al. Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 290-297, 2012.

KATO, Hiroko; TAN, Keng T.; CHAI, Douglas. **Barcodes for mobile devices**. Cambridge University Press, 2010.

KERRY, J. P.; O'GRADY, M. N.; HOGAN, S. A. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. **Meat science**, v. 74, n. 1, p. 113-130, 2006.

KOBORI, Cíntia Nanci; JORGE, Neuza. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e agrotecnologia**, p. 1008-1014, 2005.

KONG, Jin-Ming et al. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, v. 64, n. 5, p. 923-933, 2003.

KUREK, Mia et al. Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. **Food hydrocolloids**, v. 84, p. 238-246, 2018.

KUSWANDI, Bambang et al. Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety. **Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety**, v. 5, n. 3-4, p. 137-146, 2011.

LEBOT, Vincent; NDIAYE, André; MALAPA, Roger. Phenotypic characterization of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] genotypes in relation to prediction of chemical quality constituents by NIRS equations. **Plant Breeding**, v. 130, n. 4, p. 457-463, 2011.

LIANG, Tieqiang et al. A pH and NH₃ sensing intelligent film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and red cabbage anthocyanins anchored by carboxymethyl cellulose sodium added as a host complex. **Food hydrocolloids**, v. 87, p. 858-868, 2019.

LIU, Jun et al. Preparation and characterization of protocatechuic acid grafted chitosan films with antioxidant activity. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 457-466, 2017.

LOPES, Toni et al. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 13, n. 3, 2007.

LUCHESE, Cláudia Leites. Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos. 2018.

MARSH, Kenneth; BUGUSU, Betty. Food packaging—roles, materials, and environmental issues. **Journal of food science**, v. 72, n. 3, p. R39-R55, 2007.

MARTÍNEZ-SALA, Alejandro S. et al. Tracking of returnable packaging and transport units with active RFID in the grocery supply chain. **Computers in Industry**, v. 60, n. 3, p. 161-171, 2009.

MERZ, Barbara et al. Desenvolvimento e caracterização de filmes indicadores contendo antocianinas do fruto do jambolão (*Syzygium cumini*). 2019.

MOHANRAJ, Remya; SIVASANKAR, Subha. Sweet Potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam)-A valuable medicinal food: A review. **Journal of medicinal food**, v. 17, n. 7, p. 733-741, 2014.

MOULIN, Monique Moreira et al. A comparison of RAPD and ISSR markers reveals genetic diversity among sweet potato landraces (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 139-147, 2012.

MURILO, D. V.; SANTOS, J. E. Avaliação de clones de batata-doce quanto à resistência a insetos do solo. **Revista Caatinga**, v. 12, n. 1-2, p. 13-16, 1999.

NANOPACK, 2018. The future of packaging is already here. Disponível em: <<https://www.nanopack.eu/2018/02/09/future-packaging-already/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

PAINE, Frank A. **The packaging user's handbook**. Springer Science & Business Media, 2012.

PARK, J.-S.; PARK, J.-W.; RUCKENSTEIN, E. Thermal and dynamic mechanical analysis of PVA/MC blend hydrogels. **Polymer**, v. 42, n. 9, p. 4271-4280, 2001.

PATIL, Ganapathi et al. Extraction, dealcoholization and concentration of anthocyanin from red radish. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 48, n. 1, p. 364-369, 2009.

PELIZER, Lúcia Helena; PONTIERI, Márcia Helena; DE OLIVEIRA MORAES, Iracema. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.

PEREIRA JUNIOR, Valdir Aniceto et al. Desenvolvimento e caracterização de indicador de tempo-temperatura a partir de quitosana, PVA e antocianinas para aplicações em embalagens inteligentes. 2014.

PEREIRA JR, Valdir Aniceto; DE ARRUDA, Iza Natália Queiroz; STEFANI, Ricardo. Active chitosan/PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 180-188, 2015.

PRIETTO, Luciana et al. pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from black bean seed coat and red cabbage. **LWT**, v. 80, p. 492-500, 2017.

QUISPE GUERRERO, R. A. **Estudio de la extracción de antocianinas del camote morado (Ipomoea batatas (L.) lam)**. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Facultad de Industrias Alimentarias, 2003.

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.

SCHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in food science & technology**, v. 7, n. 8, p. 263-268, 1996.

SENANAYAKE, Suraji A. et al. Comparative analysis of nutritional quality of five different cultivars of sweet potatoes (Ipomea batatas (L) Lam) in Sri Lanka. **Food science & nutrition**, v. 1, n. 4, p. 284-291, 2013.

SIGURDSON, Gregory T. et al. Molar absorptivities (ϵ) and spectral and colorimetric characteristics of purple sweet potato anthocyanins. **Food chemistry**, v. 271, p. 497-504, 2019.

SILVA-PEREIRA, Mayra Cristina et al. Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration. **Lwt - Food Science And Technology**, [s.l.], v. 61, n. 1, p.258-262, abr. 2015.

SILVA, S. et al. Anthocyanin extraction from plant tissues: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 14, p. 3072-3083, 2017.

STAFF, Dte. Each year, half the fruits, vegetables world produces are wasted: FAO. **Down to Earth**, 13 nov. 2018. Disponível em: < <https://www.downtoearth.org.in/news/health/each->

year-half-the-fruits-vegetables-world-produces-are-wasted-fao-62085>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SUDA, Ikuo et al. Physiological functionality of purple-fleshed sweet potatoes containing anthocyanins and their utilization in foods. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 37, n. 3, p. 167-173, 2003.

SUN-WATERHOUSE, Dongxiao. The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 5, p. 899-920, 2011.

SUTIL DE OLIVEIRA ROESLER, Patricia Vieira et al. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no oeste do Paraná. **Acta Scientiarum: Agronomy**, p. 117-122, 2008.

SRINIVASA, P. C.; THARANATHAN, R. N. Chitin/chitosan—Safe, ecofriendly packaging materials with multiple potential uses. **Food reviews international**, v. 23, n. 1, p. 53-72, 2007.

TANG, Chao et al. Effects of polysaccharides from purple sweet potatoes on immune response and gut microbiota composition in normal and cyclophosphamide treated mice. **Food & function**, v. 9, n. 2, p. 937-950, 2018.

TEOW, Choong C. et al. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food chemistry**, v. 103, n. 3, p. 829-838, 2007.

TERAHARA, N. et al. Characterization of acylated anthocyanins in callus induced from storage root of purple-fleshed sweet potato, *Ipomoea batatas* L. **BioMed Research International**, v. 2004, n. 5, p. 279-286, 2004.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in food science & technology**, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003.

TODARO, Aldo et al. Recovery of anthocyanins from eggplant peel. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 434-439, 2009.

TSIRONI, Theofania et al. Application and validation of the TTI based chill chain management system SMAS (Safety Monitoring and Assurance System) on shelf life optimization of vacuum packed chilled tuna. **International journal of food microbiology**, v. 128, n. 1, p. 108-115, 2008.

URANGA, Jone et al. Development of active fish gelatin films with anthocyanins by compression molding. **Food hydrocolloids**, v. 84, p. 313-320, 2018.

VEIGA-SANTOS, P.; DITCHFIELD, Cynthia; TADINI, Carmen Cecília. Development and evaluation of a novel pH indicator biodegradable film based on cassava starch. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 120, n. 2, p. 1069-1079, 2011.

VIÉGAS, LARISSA PAIVA; SILVA, Ester CC; RODRÍGUEZ, Rubén JS. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro.

WANG, Joseph. **Analytical electrochemistry**. John Wiley & Sons, 2006.

WANT, Roy. Enabling ubiquitous sensing with RFID. **Computer**, n. 4, p. 84-86, 2004.

WU, Chunhua et al. Preparation of an intelligent film based on chitosan/oxidized chitin nanocrystals incorporating black rice bran anthocyanins for seafood spoilage monitoring. **Carbohydrate Polymers**, p. 115006, 2019.

WU, Y. et al. Moisture loss and lipid oxidation for precooked ground-beef patties packaged in edible starch-alginate-based composite films. **Journal of food science**, v. 66, n. 3, p. 486-493, 2001.

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. Wiley.

YAMASHITA, Camila et al. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT**, v. 84, p. 256-262, 2017.

YONG, Huimin et al. Development of antioxidant and intelligent pH-sensing packaging films by incorporating purple-fleshed sweet potato extract into chitosan matrix. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 216-224, 2019.

YOSHIDA, Cristiana MP et al. Chitosan biobased and intelligent films: Monitoring pH variations. **LWT-Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 83-89, 2014.

ZETTY ARENAS, Ana Maria. **Filme biodegradável à base de fécula de mandioca como potencial indicador de mudança de pH**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ZHAI, Xiaodong et al. Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. **Food Hydrocolloids**, v. 69, p. 308-317, 2017.

ZHANG, Xin et al. Effect of grafting method on the physical property and antioxidant potential of chitosan film functionalized with gallic acid. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 89, p.1-10, abr. 2019.