

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

YASMIN PINTO RODRIGUES

**SENSOR COLORIMÉTRICO COMO INDICADOR DE ALTERAÇÃO DE pH EM
CARNE SUÍNA**

Bagé

2023

YASMIN PINTO RODRIGUES

**SENSOR COLORIMÉTRICO COMO INDICADOR DE ALTERAÇÃO DE pH EM
CARNE SUÍNA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Orientadora: Profa. Dra. Gabriela Silveira da Rosa

Coorientadora: Profa. Dra. Caroline Costa Moraes

Bagé

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

R696s Rodrigues, Yasmin Pinto
Sensor colorimétrico como indicador de alteração de pH em
carne suína / Yasmin Pinto Rodrigues.
68 p.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM ENGENHARIA, 2023.
"Orientação: Gabriela Silveira da Rosa".

1. carragenana. 2. inteligente. 3. monitoramento. I.
Título.

YASMIN PINTO RODRIGUES

SENSOR COLORIMÉTRICO COMO INDICADOR DE ALTERAÇÃO DE pH EM CARNE SUÍNA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Dissertação defendida e aprovada em: 19 de setembro de 2023.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Gabriela Silveira da Rosa
Orientadora
UNIPAMPA

Profa. Dra. Caroline Costa Moraes
Coorientadora
UNIPAMPA

Profa. Dra. Catarina Motta de Moura
UNIPAMPA

Dra. Thamiris Renata Martiny
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2023, às 14:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CATARINA MOTTA DE MOURA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2023, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAROLINE COSTA MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2023, às 14:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Thamiris Renata Martiny, Usuário Externo**, em 21/09/2023, às 14:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1236004** e o código CRC **49879BFF**.

RESUMO

Com a crescente demanda por materiais que não agredam o meio ambiente, os biopolímeros surgem como uma alternativa de substituição dos plásticos convencionais. Adicionalmente, a necessidade de novas tecnologias no ramo da segurança alimentar bem como o aproveitamento de resíduos agroindustriais como fonte de matéria-prima tem chamado a atenção em estudos realizados nos últimos anos. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi produzir e caracterizar um sensor colorimétrico utilizando a k-carragenana como biopolímero, o glicerol como agente plastificante e incorporando extrato do epicarpo da jabuticaba (*Plinia cauliflora*), com o intuito de identificar a deterioração da carne suína via alteração do pH. O extrato contendo os bioativos foi produzido pela técnica de maceração e caracterizado para conteúdo de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e antocianinas totais, apresentando resultados de $192,44 \pm 2,42 \text{ mg}_{\text{GAE}} \cdot \text{g}^{-1}$; $78,10 \pm 2,34 \%$; $4136,13 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Na cromatografia líquida de alta eficiência foi possível observar que o composto fenólico em maior abundância no extrato era a cianidina-3-glucosídeo. Os sensores foram preparados na forma de filmes pela técnica de *casting*. A incorporação do extrato na composição do filme elevou a espessura do filme de 0,05 mm para 0,14 mm, a permeabilidade de vapor d'água de $4,47 \times 10^{-10} \pm 1,48 \times 10^{-11} \text{ Kg m}^{-1} \text{ Pa}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para $9,99 \times 10^{-10} \pm 8,46 \text{ Kg m}^{-1} \text{ Pa}^{-1} \text{ s}^{-1}$, a tensão de ruptura de $1,01 \pm 0,14 \text{ MPa}$ para $4,65 \pm 0,64 \text{ MPa}$ e também a capacidade de alongamento de $5,11 \pm 0,50 \%$ para $36,02 \pm 0,29 \%$. Os resultados indicaram que quando utilizado para monitorar armazenamento de carne suína ocorreu a mudança de coloração no sensor conforme o pH da carne aumentou, conforme o esperado, onde foi avaliada a mudança via escala *Cielab*. A variação de pH foi de $5,82 \pm 0,01$ para $6,81 \pm 0,02$ durante 9 dias de análise e diferença de coloração no sensor (ΔE) de 13,40 sendo essa diferença considerada pela literatura de fácil percepção ao olho humano. Ainda, foi possível quantificar os compostos nitrogenados liberados pela carne suína durante o armazenamento. Os resultados indicaram aumento gradativo, inicialmente de $0,063 \pm 0,02 \text{ mg/g}$ para $0,94 \pm 0,02 \text{ mg/g}$ de NH_3 volatilizada. Desta forma, o filme biopolimérico obtido através da k-carragenana e do extrato do epicarpo da jabuticaba

apresentou-se com características favoráveis a aplicação como sensor colorimétrico indicativo de degradação da carne suína via alteração do pH.

Palavras-Chave: carragenana, inteligente, monitoramento.

ABSTRACT

With the growing demand for materials that do not harm the environment, biopolymers emerge as an alternative to replace conventional plastics. In addition, the need for new technologies in the field of food safety as well as the use of agro-industrial waste as a source of raw material has drawn attention in studies carried out in recent years. Thus, the objective of the present work was to produce and characterize a colorimetric sensor using k-carrageenan as a biopolymer, glycerol as a plasticizing agent and incorporating jabuticaba epicarp extract (*Plinia cauliflora*), in order to identify observations of pork meat via pH change. The extract contains the bioactives and was produced by the maceration technique and characterized for the content of total phenolic compounds, antioxidant activity and total anthocyanins, presenting results of 192.44 ± 2.42 mgGAE.g⁻¹; $78.10 \pm 2.34\%$; 4136.13 mg.100 g⁻¹, respectively. In high performance liquid chromatography it was possible to observe that the phenolic compound in greater abundance in the extract was cyanidin-3-glucoside. The sensors were prepared in the form of films using the casting technique. The incorporation of the extract in the composition of the film increased the film thickness from 0.05 mm to 0.14 mm, the water vapor permeability from $4.47 \times 10^{-10} \pm 1.48 \times 10^{-11}$ Kgm⁻¹Pa⁻¹s⁻¹ for $9.99 \times 10^{-10} \pm 8.46$ Kgm⁻¹Pa⁻¹s⁻¹, a breaking strength of 1.01 ± 0.14 MPa to 4.65 ± 0.64 MPa and also an elongation capacity of $5.11 \pm 0.50\%$ to $36.02 \pm 0.29\%$. The results indicated that when used to monitor pork storage, there was a change in color in the sensor as the pH of the meat increased, as expected, where the change was evaluated via the Cielab scale. The pH variation was from 5.82 ± 0.01 to 6.81 ± 0.02 during 9 days of analysis and difference in color in the sensor (ΔE) of 13.40, this difference being considered by the literature as easy to perceive by the eye human. Even so, it was possible to quantify the nitrogen compounds released by pork during storage. The results indicated a gradual increase, initially from 0.063 ± 0.02 mg/g to 0.94 ± 0.02 mg/g of volatilized NH₃. Thus, the biopolymer film obtained from k-carrageenan and jabuticaba epicarp extract presented characteristics developed for application as a colorimetric sensor indicative of manipulation of pork via pH alteration.

Keywords: carrageenan, intelligent, monitoring

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interface das embalagens com os alimentos	18
Figura 2 - Estrutura genérica das antocianinas	31
Figura 3 - Preparo do extrato e desenvolvimento do filme	36
Figura 4 - Aplicação do filme como potencial sensor	37
Figura 5- Esquema do teste preliminar e experimento real.....	40
Figura 6 - Aparato experimental utilizado para análise de PVA	42
Figura 7 - Aparato experimental para análise de compostos nitrogenados.....	44
Figura 8 - Preparo da biomassa	46
Figura 9 - Cromatograma obtido via HPLC	47
Figura 10 - Aspecto dos filmes biopoliméricos	48
Figura 11 - Sensor sem contato direto com a carne suína e refrigerado.....	49
Figura 12 - Ensaio sem contato: monitoramento da cor.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas de embalagens inteligentes utilizadas em alimentos (continua).....	19
Quadro 2 - Exemplos selecionados de novos dispositivos aplicados na tecnologia dos alimentos (continua).....	23
Quadro 3 - Sensores inteligentes a base de matrizes biopoliméricas com extratos ricos em antocianinas (continua).....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização do extrato	46
Tabela 2 - Caracterização dos compostos bioativos do extrato	47
Tabela 3 - Resultados referentes ao segundo teste.....	50
Tabela 4 - Quantificação da amônia volatilizada	52

LISTA DE SIGLAS

AA – Atividade antioxidante

AT – Antocianinas totais

CFT – Compostos fenólicos totais

GPESP - Grupo de Pesquisas Engenharia de Sistemas Particulados

HPLC - *High performance liquid chromatography*

pH – Potencial hidrogenionico

PET - Politereftalato de etila

NBVT – Nitrogênio básico volátil total

RFID - *Radio Frequency Identification*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	Segurança de alimentos e as embalagens.....	17
3.1.1	Novas tecnologias em dispositivos e sensores para alimentos.....	20
3.2	Deterioração dos alimentos e o uso de sensores inteligentes.....	26
3.3	Biopolímeros	29
3.3.1	Aditivos naturais	30
3.3.1.1	Jabuticaba	32
3.3	Filmes biopoliméricos aplicados como sensores.....	33
4	METODOLOGIA.....	36
4.1	Preparo da biomassa	37
4.2	Preparo e caracterização do extrato	38
4.3	Preparo do sensor colorimétrico.....	39
4.4	Caracterizações do sensor colorimétrico.....	40
4.5	Volatilização dos compostos nitrogenados.....	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
6	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O interesse no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis inteligentes está aumentando à medida que os fabricantes de alimentos tentam melhorar a sustentabilidade e o impacto ambiental de seus produtos, mantendo sua qualidade e segurança (SANI *et al.*, 2020).

Os padrões de sustentabilidade, maior segurança do produto e elevada qualidade são importantes na segurança dos alimentos e para atender a esses requisitos, embalagens inteligentes são usadas no setor alimentício. Esses sistemas podem monitorar permanentemente o *status* de qualidade de um produto e compartilhar as informações com o cliente (MULLER e SCHIMID, 2019).

Os materiais de embalagem inteligente contêm componentes de detecção que fornecem uma indicação de mudanças nos atributos dos alimentos, tais como alterações em sua qualidade, maturidade ou segurança. Por exemplo, um sensor inteligente pode fornecer uma mudança de cor mensurável em resposta a uma deterioração na qualidade dos alimentos (SANI *et al.*, 2020).

A elaboração de sensores inteligentes pode ser feita à base de polímeros sintéticos ou de biopolímeros. Entre os biopolímeros destacam-se a quitosana, amido, gelatina, celulose, K-carragenana (SUN *et al.*, 2019). Os sistemas inteligentes podem ser capazes de realizar funções inteligentes como detectar, registrar, rastrear e comunicar, com o intuito de prolongar a vida útil, aumentar a segurança, melhorar a qualidade, fornecer informações e até mesmo alertar sobre possíveis problemas no produto alimentício (JARAMILO *et al.*, 2017).

Para formular novos materiais que possuem potencial para uso como sensores, uma das abordagens economicamente viáveis é utilizar resíduos vegetais. Esses componentes podem ser usados como fontes principais ou como aditivos menores, o que resulta em melhor desempenho ou diferentes funcionalidades aos sensores (ZHANG e SABIANI, 2021).

As antocianinas são os pigmentos mais importantes das plantas vasculares e são responsáveis pelas cores rosa, vermelho, violeta e azul de vegetais e frutas e apresentam diferentes formas químicas e cores em função do pH. Assim, as matérias-primas ricas em antocianinas são consideradas promissoras no ramo de indicadores inteligentes de pH para monitorar o frescor dos alimentos, uma vez que

o processo de deterioração deste geralmente é acompanhado por mudanças de pH (SANI *et al.*, 2020)

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos nessa área, como no estudo de Vo e Dang (2019), onde antocianinas foram extraídas do repolho roxo e uma mudança sequencial de cor foi observada com sucesso nos filmes indicativos de pH envolvendo parcialmente a barriga de porco, indicando a deterioração da carne. Luchese *et al.* (2018) utilizaram resíduo de mirtilo incorporado ao biofilme de fécula de mandioca como indicador de pH no monitoramento da qualidade da carne de frango, Wu *et al.* (2019) utilizaram nanocristais de quitosana/quitina incorporando antocianinas de farelo de arroz negro para monitoramento da deterioração de frutos do mar (camarão) via alteração da cor do filme.

No estudo realizado por Terrazas (2019), ao caracterizar a jabuticaba observou que a maior quantidade de antocianinas está no epicarpo, e ainda em seu estudo, o epicarpo liofilizado apresentou maior teor de antocianinas quando comparado com a matéria-prima *in natura*, comprovando que a liofilização torna a extração de compostos mais eficiente, mantendo a qualidade dos compostos bioativo.

Face ao exposto, buscando desenvolver um produto ambientalmente correto e com características promissoras o presente estudo justifica-se como alternativa para o desenvolvimento de um sensor colorimétrico biodegradável de k-carragenana, elaborado pela técnica de *casting*, incorporados com extrato de casca de jabuticaba como aditivo natural, com o intuito de identificar, via alteração da cor, a deterioração da carne suína via mudança de pH.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo principal desenvolver um sensor colorimétrico que permita a indicação de alteração no pH da carne suína devido à deterioração natural do alimento.

2.2 Objetivos específicos

- Obter e caracterizar o extrato da casca de jabuticaba;
- Obter e caracterizar um filme biopolimérico e inteligente contendo extrato de jabuticaba quanto às suas propriedades físicas, mecânicas, de barreira, morfológicas e ópticas;
- Aplicar o filme na forma de sensor colorimétrico para o monitoramento do pH de carne suína e indicativo de deterioração;
- Quantificar os compostos nitrogenados voláteis liberados pela carne suína no período de armazenamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Segurança de alimentos e as embalagens

A embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentícia graças às suas múltiplas funções, pois além de conter o produto, ela é muito importante na sua conservação, mantendo qualidade e segurança e atuando como barreira contra fatores responsáveis pela deterioração química, física e microbiológica do alimento (JORGE, 2013).

A demanda por novos desenvolvimentos na área de embalagens tem sido impulsionada principalmente pelo ganho no tempo de vida de prateleira dos produtos, visando diminuir as perdas de alimentos, que hoje, é uma das principais preocupações mundiais (FERREIRA, 2012).

A necessidade por aumento de tempo de vida útil dos alimentos está sendo muito investigada, visto o grande número de perdas que ocorrem, principalmente devido à quebra da cadeia do frio (PASCHOA, 2016). Spagnol *et al.*, (2018) relatam que há variações inevitáveis das condições de conservação dos produtos durante as etapas da cadeia de frio, as quais causam alteração da vida útil de alimentos perecíveis. Seja no transporte ou até mesmo nas câmaras frias de armazenagem, há flutuação de temperatura em torno da condição ideal, sendo que ainda hoje, na maioria dos sistemas, o monitoramento da temperatura é realizado por pouquíssimos sensores.

Conforme BRASIL (1999) fica a cargo da Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) a competência de regulamentar, controlar e fiscalizar os produtos e serviços que envolvam risco à saúde pública, dentre eles, embalagens para alimentos.

As embalagens em geral são isentas da obrigatoriedade de registro junto à ANVISA, o que não as dispensa de cumprir as exigências estabelecidas nos regulamentos técnicos em vigor. Já as embalagens obtidas por novas tecnologias como, por exemplo, embalagens de PET reciclado para contato direto com alimentos, têm obrigatoriedade de registro preliminar à sua comercialização. (ANVISA, 2022)

Ao longo da cadeia de exposição de um alimento existem variações de

temperaturas que podem favorecer o desenvolvimento de microrganismos e, portanto, comprometendo a segurança microbiológica do mesmo e reduzindo sua vida de prateleira. (PASCHOA, 2016)

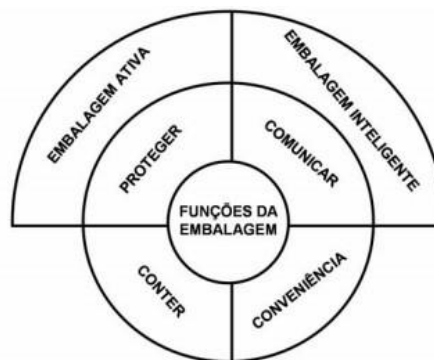
O acondicionamento de alimentos existe para tornar a nossa vida mais fácil. É preciso, portanto, o acondicionamento para conservar e proteger os alimentos do ambiente exterior, e para informar os consumidores sobre as características de um dado alimento. Logo, mesmo os produtos mais frescos e não embalados poderão necessitar de um recipiente ou embalagem para serem transportados (FERREIRA, 2012).

As novas tecnologias aplicáveis às embalagens alimentícias incluem os processos de reciclagem para obtenção de materiais destinados ao contato com alimentos e outras tecnologias que possam resultar em interação do material com o alimento diferente do processo tradicional (ANVISA, 2020).

Scuadra (2018) reportou que uma embalagem pode ser ao mesmo tempo ativa e inteligente, pois tem atuações distintas. Enquanto a embalagem ativa interage com o produto, controlando sua qualidade, a inteligente interage com o consumidor, por meio de sensores de qualidade, e mostra o estágio de tal produto.

Na Figura 1 é possível identificar algumas funções das embalagens de alimentos e a maneira como elas agem.

Figura 1 - Interface das embalagens com os alimentos



Fonte: (BRAGA; PERES, 2010)

As quatro principais funções básicas das embalagens convencionais

estão indicadas na Figura 1: conter, proteger, comunicar e conferir conveniência. Contudo, as embalagens convencionais lentamente estão perdendo espaço para as embalagens ativas e inteligentes, as quais interagem com o produto. Por meio dessa interação, essas embalagens podem prolongar a vida de prateleira dos produtos, assegurando sua qualidade e proporcionando maiores informações aos consumidores sobre o estado final do produto quando comparadas às embalagens convencionais.

As embalagens ativas, segundo Nascimento *et al.*, (2021) são utilizadas pela indústria alimentícia com o intuito de manter a qualidade e aumentar a vida útil dos seus produtos.

Por definição, uma embalagem inteligente é um tipo de embalagem que avalia a qualidade e/ou segurança do alimento embalado e transmite esta informação ao ambiente externo, diferente de uma embalagem convencional que tem apenas a finalidade de proteger e conter o produto, evitando seu contato direto com o ambiente externo (LUCHESE, 2018).

Os indicadores e/ou sensores inteligentes fazem parte do sistema de embalagens inteligentes e podem ser descritos como o sistema ativo da embalagem. Tais sensores podem ser aplicados para monitorar várias propriedades dos alimentos, podendo ser um componente integral ou apenas uma parte inerente da embalagem (FRANCO, 2017).

No Quadro 1 estão apresentados os sistemas de embalagens inteligentes, com seus respectivos tipos de aplicação e eficácia em alimentos.

Quadro 1 - Sistemas de embalagens inteligentes utilizadas em alimentos (continua)

Sistema	Tipo de aplicação	Eficácia
Indicadores	Indicadores de integridade Indicadores de frescor Indicadores de Tempo/ temperatura	Fornecer informações sobre qualidade do produto Rastreamento do produto Indicações visuais do histórico de temperatura Qualidade e segurança de alimentos

Quadro 1 - Sistemas de embalagens inteligentes utilizadas em alimentos (conclusão)

Sensores	<p>Sensores de gás</p> <p>Sensores de oxigênio baseado na fluorescência</p> <p>Biosensor</p>	<p>Quantificar e monitorar estados de gás</p> <p>Detectar deterioração ou contaminação microbiana</p> <p>Detectar e transmitir informações</p>
Portadores de dados	Etiquetas identificadas por rádio frequência	Identificação e rastreabilidade automáticas do produto

Fonte: Adaptado de (SOARES *et al.*, 2009)

Paschoa (2016) comenta que em vez de se imprimir uma data de validade na embalagem de um produto sujeito a ações microbianas, uma embalagem inteligente informará a validade real de um alimento e não a validade baseada em estatísticas de um produto que pode ter sido exposto a diversas condições desfavoráveis e que se encontra impróprio com a data de validade ainda dentro do prazo de consumo.

No entanto, a demanda atual dos consumidores por produtos alimentícios mais duráveis torna necessário o desenvolvimento de materiais ecologicamente corretos e também funcionais, como embalagens com compostos ativos que possam melhorar a qualidade dos produtos que abrangem, contribuindo ainda mais para o valor nutricional dos alimentos. (JARAMILLO *et al.*, 2017; FILIPINI, 2019). A partir dessa perspectiva, tem surgido a necessidade de um maior número de pesquisas quanto ao desenvolvimento e aplicação de embalagens mais tecnológicas, capazes de suprir a atual necessidade dos consumidores e do mercado (FREIRE *et al.*, 2020).

3.1.1 Novas tecnologias em dispositivos e sensores para alimentos

Embora as embalagens tradicionais tenham contribuído grandemente

com os primeiros desenvolvimentos do sistema de distribuição de alimentos, elas não são suficientes para atender às novas exigências dos consumidores por produtos mais próximos ao natural, contendo menos conservantes e que sejam seguros, surge daí a necessidade de novas tecnologias promissoras no mercado. (SOARES *et al.*, 2009)

O setor de alimentos pode ser considerado um nicho promissor na aplicação desta tecnologia, visto os inúmeros processos degradativos e parâmetros de conservação de alimentos que necessitam ser monitorados como pH, frescor, temperatura, umidade, carga microbiana, presença de gases, liberação de compostos, entre outros. (FILIPINI, 2019)

Dentre as novas tecnologias, no que diz respeito ao grupo de embalagens inteligentes, o grande grupo pode ser dividido em: embalagens carreadoras de dados e embalagens indicadoras. Na categoria de carreadoras de dados estão inseridos os códigos de barras e etiquetas RFID (*Radio frequency identification*) (SOARES *et al.*, 2009)

A tecnologia da etiqueta RFID permite que os consumidores saibam qual a validade dos alimentos na embalagem, mesmo antes de comprá-lo, e foi desenvolvida para substituir os códigos de “data de validade” impressos nas embalagens, que atualmente contribuem para uma enorme quantidade de alimentos desperdiçados a cada ano, pois utilizam como base cálculos conservadores (SOARES *et al.*, 2009).

Carolino (2020) cita que as etiquetas surgem como tendências, pois as mesmas têm a capacidade não só de funcionarem como indicadores de temperatura, mas também como sistemas de informação, em tempo real, aos usuários. Esses dados vão desde a identificação do produto até atividades ligadas à rastreabilidade do produto ao longo da cadeia de suprimentos (logística). Elas podem ser tanto afixadas diretamente ao produto quanto às embalagens.



Pesquisadores têm trabalhado no desenvolvimento de sensores de gás para determinação e quantificação rápida deste elemento, nos quais a presença pode ser avaliada por meio da mudança de coloração do indicador, fornecendo informações que viabilizam ou não o consumo do produto. Sua presença no interior de embalagens pode resultar na perda do alimento, cuja remoção é fundamental à indústria alimentícia (FREIRE *et al.*, 2020).

Conforme Zaragozá *et al.*, (2015), o frescor é um importante contributo para a qualidade dos produtos da pesca e constitui uma grande preocupação para a indústria e os consumidores.


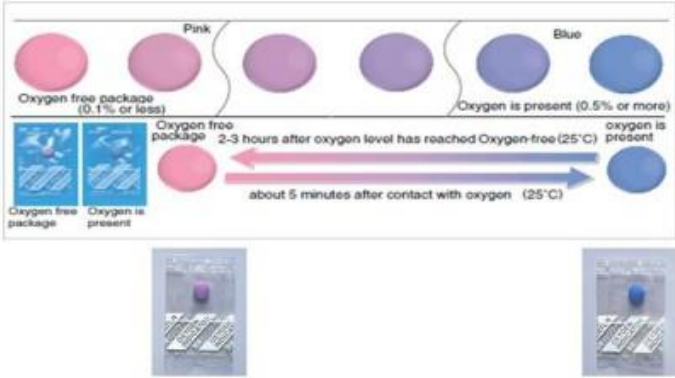
Um bom exemplo é o rótulo já utilizado em cervejas, que funciona como um dispositivo que tem sua cor alterada com a temperatura. Nesse caso, um selo muda de cor avisando ao consumidor que a bebida está ou não em uma temperatura adequada para o consumo (PASCHOA, 2016).

Baseado nisso, o Quadro 2 apresenta alguns exemplos selecionados em relação aos novos dispositivos em relação à tecnologia dos alimentos.

Quadro 2 - Exemplos selecionados de novos dispositivos aplicados na tecnologia dos alimentos (continua)

Sistemas	Aplicação em Alimentos	Funcionalidade
Indicadores de frescor		<p>O indicador Freshcode® está impregnado com tinta inteligente, que captura a emissão de gases voláteis liberados durante a deterioração do frango em embalagens de atmosfera modificada.</p> <p>(CAROLINO, 2020)</p>
		<p>O indicador eO é formado por pétalas de gel que permitem o crescimento de microrganismos fermentadores. A mudança de pH, em função do ácido láctico produzido durante o crescimento microbiológico provoca uma alteração na cor da etiqueta, mudando de verde para rosa. (SARANTOPOULOS; COFCEWICZ, 2015)</p>

Quadro 2 - Exemplos seleccionados de novos dispositivos aplicados na tecnologia dos alimentos (continua)

<p>Indicadores de tempo/temperatura</p>	 <p>The image shows a Tempix cold chain indicator. On the left is a package of ground meat with a label that reads 'LABEL WITH TEMPERATURE INDICATOR' and 'TEMPIX'. To the right are two barcode labels. The first is labeled 'UNBROKEN COLD CHAIN' and shows a barcode with the number 7 318690 042433. The second is labeled 'BROKEN COLD CHAIN' and shows a barcode with the number 7 318690 04243. Both labels feature the Tempix logo and the text 'GARANTADO KYLESDA'.</p>	<p>O indicador comercial Tempix é baseado no conceito de difusão. A substância que sofre difusão tem formato de uma das barras do código de barras do produto. A última barra do código segue estável até que determinada temperatura externa seja atingida, quando então ela muda de estado físico, inviabilizando a leitura do código de barras e consequentemente a comercialização do produto. (SARANTOPOULOS; COFCEWICZ, 2015)</p>
<p>Indicadores de oxigênio</p>	 <p>The diagram illustrates the Mitsubishi Gas Company oxygen indicator. It shows a sequence of color changes: pink, purple, and blue. The pink color indicates 'Oxygen free package (0.1% or less)'. The purple color indicates 'Oxygen free package 2-3 hours after oxygen level has reached Oxygen-free (25°C)'. The blue color indicates 'Oxygen is present (0.5% or more)'. Below the diagram, two packages are shown: one with a pink indicator and one with a blue indicator. A double-headed arrow between the packages is labeled 'about 5 minutes after contact with oxygen (25°C)'.</p>	<p>A Mitsubishi Gas Company patenteou e comercializou os indicadores de oxigênio cromogênico para uso em embalagens de alimentos (chamados de “Ageless Eye®”). A cor do indicador muda de rosa para azul na presença de oxigênio (MITSUBISHI GAS CHEMICAL, 2022).</p>

Quadro 2 - Exemplos selecionados de novos dispositivos aplicados na tecnologia dos alimentos (conclusão)

Portadores de dados		<p>Utilização de tags RFID para verificar a contaminação dos alimentos instantaneamente e à distância. O sistema RFID usa uma pequena antena incorporada em um adesivo ou etiqueta que é fornecido por ondas de rádio em uma frequência específica.</p> <p>(CAROLINO, 2020)</p>
---------------------	--	---

Fonte: Autora (2023).

Apesar das novas tecnologias serem muito promissoras no mercado da tecnologia de alimentos, ainda existe a questão ambiental por trás. A utilização de polímeros naturais na formação de embalagens e/ ou dispositivos flexíveis vem sendo intensamente estudada em âmbito mundial, visando substituição parcial dos polímeros sintéticos, principalmente devido ao problema ambiental de acúmulo de lixo de difícil degradação, devido a isso, a utilização de biopolímeros para o desenvolvimento de produtos para esse setor é importante (MACIEL; FRANCO; YOSHIDA, 2012).

3.2 Deterioração dos alimentos e o uso de sensores inteligentes

Visto que existe uma grande quantidade de compostos nutritivos presentes nos alimentos e uma grande diversidade de espécies microbianas que os contaminam, existem na mesma proporção um grande número de reações químicas que ocorrem durante a alteração da qualidade dos alimentos (LACASSE, 1995).

A degradação de alimentos envolve qualquer alteração que torne o alimento inaceitável para o consumo humano. Ela pode ocorrer devido a diversos fatores, dentre eles: danos físicos devido a batidas, pressão, congelamento, secagem e radiação, atividades de enzimas dos próprios tecidos animais e vegetais, alterações químicas não induzidas por microrganismos ou por enzimas de ocorrência natural, atividade de bactérias, fungos e leveduras (FORSYTHE, 2013).

Tendo em vista a vulnerabilidade à deterioração, os alimentos são classificados como não perecíveis (ou estáveis), semi perecíveis e perecíveis. A classificação depende de fatores intrínsecos, como a atividade de água, o pH, a presença de agentes antimicrobianos naturais, dentre outros. (FORSYTHE, 2013) A carne, por exemplo, é considerada um excelente meio de cultura para os microrganismos, pois apresenta fatores intrínsecos e extrínsecos que favorecem o crescimento microbiano. Sendo alguns destes: alta atividade de água, pH favorável para a maioria dos microrganismos e elevado teor de nutrientes. Além disso, não possui em sua composição constituintes antimicrobianos (ALCANTARA; CRISTINA; MORAIS, 2012).

A qualidade das carnes e propriedades de segurança de consumo é

altamente dependente dos materiais e tecnologias empregados na fabricação de embalagens para alimentos perecíveis (VIDAL, 2021).

Quando carne, peixe ou aves sofrem degradação, diferentes indicadores de deterioração podem ser encontrados, indicando degradação de lipídios, degradação de proteínas e degradação de adenosina trifosfato (ATP). A velocidade de degradação depende do tipo de produto, temperatura de armazenamento, ou até mesmo métodos de abate (MUSTAFA; ANDREESCU, 2018).

Portanto, quando o alimento está deteriorando, reações químicas estão ocorrendo neste, e muitas vezes não são imperceptíveis ao consumidor, pois sua aparência continua típica de um produto fresco. Um dos parâmetros que pode ser usado como controle e que pode se levar em consideração é a mudança de pH nestes produtos (REBELLO, 2009).

Existem diversos fatores que implicam na deterioração da carne, desde o transporte do animal até o abatedouro até o momento em que o produto é exposto na prateleira para o consumidor final. Um exemplo seria o estresse pré-abate, onde a reserva de glicogênio dos músculos dos animais pode ser parcialmente exaurida; resultando no estabelecimento do *rigor mortis* (endurecimento dos músculos) na primeira hora, mesmo antes do processo de resfriamento. Isso ocorre porque a reserva energética não é suficiente para sustentar o metabolismo anaeróbico e produzir ácido lático capaz de fazer baixar o pH (BORGES; SOUZA, 2019).

Normalmente, a deterioração dos alimentos é causada pela degradação de micro organismos, resultando na liberação de NBVT (nitrogênio básico volátil total) que tem como principal composto volátil a amônia (CHAYAVANICH; THIRAPHIBUNDET; IMYIM, 2020).

Visto que o pH é um parâmetro indicativo de deterioração da carne, inovações como os sensores colorimétricos são amplamente utilizados como indicadores de alteração de pH porque a detecção pode ser feita a olho nu (FANG *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2006; KONGLIANG *et al.*, 2014).

Sendo a cor um parâmetro sensorial de fácil percepção, a correlação pH/cor em uma embalagem é de grande apelo científico e tecnológico (PASCHOA, 2016).

Correlacionado a isso, há algum tempo utilizam-se indicadores naturais

na composição dos sensores colorimétricos, como compostos do repolho roxo, a jabuticaba, casca de feijão preto, cenoura, amora, uva entre outros (PASCHOA, 2016). Alguns pigmentos naturais são termossensíveis, ou seja, ocorrem alterações em sua estrutura e cor quando expostos ao calor. Maciel; Franco; Yoshida (2012) citam alguns exemplos desses tipos de pigmentos: betalainas, urucum, antocianinas, pigmento de *Monascus*, clorofilas, carmim de cochonilha e curcumina.

Os indicadores naturais são importantes para oferecer maior facilidade de compreensão dos conceitos químicos, por envolver nem sempre o uso de reagentes e por serem de baixo custo, aliado ao baixo impacto ambiental. (GUIMARÃES; ALVES; FILHO, 2012). Exemplo desse grupo de substâncias naturais são as antocianinas.

Dentre o grupo dos aditivos naturais, a utilização de extratos de frutas e resíduos agroindustriais apresenta um grande potencial na produção de novas tecnologias, devido à presença de compostos antioxidantes e sensíveis à mudança de coloração frente à variação de pH (FILIPINI, 2019). O desenvolvimento de novos produtos que contenham esses aditivos naturais é importante, podendo esses serem compostos por biopolímeros em sua composição.

Embora os indicadores de pH sintetizados quimicamente sejam altamente eficientes, como verde de bromocresol, vermelho neutro e polianilina, a toxicidade potencial limitou a aplicação em embalagem de alimentos. Portanto, os indicadores naturais de pH são desejáveis devido à segurança e aos recursos naturais. (SUN *et al.*, 2020)

Nesta última década inúmeros estudos foram desenvolvidos visando a produção e caracterização de filmes biodegradáveis à base de macromoléculas naturais, como proteínas de soro de leite, gelatina, zeína, quitosana, quinoa, amido de mandioca, proteína de soja, pectina, alginato, entre outros. Esses filmes possuem potencial para serem aplicados como sensores.

Os biopolímeros são macromoléculas cuja fonte não vem do petróleo, mas de recursos renováveis e que podem ser biodegradáveis. São considerados uma alternativa mais interessante na indústria de plásticos porque sua degradação é muito mais rápida (MACIEL; FRANCO; YOSHIDA, 2012).

3.3 Biopolímeros

Biopolímeros são biomateriais bioativos que têm a capacidade de interagir com tecidos naturais, podendo ser naturais ou sintéticos. A matéria-prima principal para a sua manufatura é uma fonte de carbono renovável, geralmente um carboidrato derivado de plantios comerciais de larga escala como cana-de-açúcar, milho, batata, trigo e beterraba; ou um óleo vegetal extraído de soja, girassol, palma ou de outra planta oleaginosa (PASCHOA, 2016).

Os biopolímeros apresentam algumas vantagens devido à sua biodegradabilidade, segurança e boa propriedade de formação de filme. (CHI *et al.*, 2020). Conforme Ma e Whang (2016) os biopolímeros são a primeira escolha para fazer filmes devido a preocupações com problemas ambientais.

Esses materiais são geralmente classificados de acordo com o método de produção em: polímeros diretamente extraídos de fontes naturais como plantas (amido e celulose) e animais (quitina); e também podem ser classificados por polímeros produzidos por síntese química (PEREIRA, 2017).

Dentre esses materiais, os polissacarídeos são materiais formadores de filmes viáveis e um recurso natural abundante. Os filmes produzidos a partir dessa matéria-prima têm boas propriedades como barreiras, inclusive para oxigênio e dióxido de carbono, porém fraca barreira ao vapor de água (MA; WANG, 2016).

A carragenana, um polissacarídeo sulfatado extraído de algas marinhas vermelhas (*Rhodophyceae*), é uma alternativa para polímeros sintéticos devido à sua excelente formação de filme, propriedades de barreira e biodegradabilidade (SUN *et al.*, 2020). Esse biopolímero apresenta propriedades geleificantes, viscosificantes e emulsificantes, sendo empregadas em indústrias dos ramos alimentício, farmacêutico e cosmético, por exemplo (ÁVILA, 2020a).

Esse biopolímero é tradicionalmente classificado em subtipos, entre os quais estão a *iota* e a *kappa* carragenana, cada subtipo sendo extraído de fontes distintas (BRAGA, 2010). A *k-carragenana* extraída de algas vermelhas é um polissacarídeo aniônico que é um espessante comum na indústria alimentícia (CHI *et al.*, 2020).

Assim, dentre as vantagens citadas, a carragenana apresenta-se como

um biopolímero promissor para utilização na formulação de filmes com potencial para serem aplicados como sensores, sendo uma alternativa ao uso dos sensores colorimétricos comerciais.

3.3.1 Aditivos naturais

Os aditivos naturais representam uma alternativa interessante a ser adotada pelas indústrias de alimentos em substituição aos compostos artificiais, conforme comentam Lachno *et al.*, (2019) sendo que existe uma tendência crescente na busca por alimentos saudáveis entre os consumidores. Nesta vertente, as plantas e frutas surgem como uma fonte promissora de pigmentos naturais bioativos com potencial aplicação no setor alimentício.

Muitos desses indicadores naturais possuem como substâncias ativas, responsáveis pela mudança de coloração, compostos conhecidos como antocianinas (NUNES; JANSEN; QUINÁIA, 2021).

As antocianinas são moléculas muito promissoras para desenvolver este tipo de aditivos alimentares, pois permitem obter diferentes tonalidades de cor, além de proporcionarem efeitos bioativos de interesse para a conservação do alimento e para a saúde do consumidor (ROCHA, 2020).

O termo antocianinas vem do grego *anthos* que significa flor e *Kianos*, azul. As antocianinas englobam um conjunto de pigmentos vegetais, solúveis em água. São responsáveis pelas cores vermelha, azul e roxa de flores, frutos, caules, algumas folhas e raízes (TERRAZAS, 2019).

As antocianinas pertencem ao grupo dos flavonóides, que por sua vez, fazem parte do grupo de pigmentos naturais com estruturas fenólicas variadas. As antocianinas são os componentes de muitas frutas vermelhas e hortaliças escuras. Seu espectro de cor vai do vermelho ao azul, apresentando-se também como uma mistura de ambas as cores resultando em tons de púrpura (PASCHOA, 2016). Estes compostos apresentam diferentes cores e intensidades, como mencionado anteriormente, dependendo da sua concentração e também da absorvância de luz complementar da clorofila, sendo esta combinação a responsável por algumas cores especialmente de frutas, flores e alguns vegetais (PIRES, 2020).

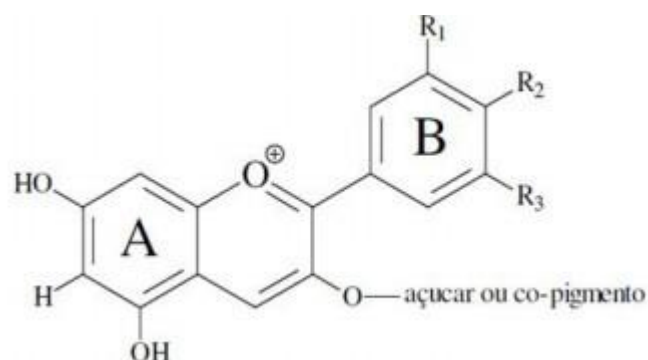
A sensibilidade da antocianina às mudanças de pH sugere este

composto como promissor na aplicação em embalagens inteligentes. (HOFMANN *et al.*, 2019). Hofmann *et al.*, (2022) acrescentam que devido a tal sensibilidade, elas têm um bom potencial para aplicação em embalagens inteligentes de alimentos.

Algumas das vantagens que podem ser apontadas em relação à utilização de pigmentos naturais, em substituição aos indicadores convencionais, incluem o fato dos indicadores naturais estarem disponíveis em tecidos vegetais de várias espécies de plantas facilmente encontradas na natureza (GUIMARÃES; ALVES; FILHO, 2012).

Pires (2020) comenta que existem mais de 700 antocianinas, de fontes naturais, e que estas foram caracterizadas estruturalmente. Apesar deste elevado número de antocianinas, apenas seis são comumente encontrados na natureza. Na Figura 2 é apresentada a estrutura genérica das antocianinas.

Figura 2 - Estrutura genérica das antocianinas



Fonte: VOLP *et al.* (2008)

A propriedade de atuar como pigmento natural ocorre devido à estrutura em dois anéis aromáticos interligados por um heterociclo oxigenado (Figura 2). Em geral, o anel oxigenado apresenta um grupo glicosídico (açúcar) na posição 3 em meio básico, que, por sua vez, facilmente se desprende em meio ácido, por sofrer hidrólise. Os grupos R1, R2 e R3 são ramificações de cadeias carbônicas oxigenadas ou não, ou ainda grupos hidroxilas, que configuram vários tipos de antocianina, como: Cianidina, Peonidina, Delfinidina, Malvinidina e Petunidina (MONTEIRO; FREITAS, 2020).

Segundo Terrazas (2019) as diferentes estruturas das antocianinas estão

associadas: ao número de grupos hidroxilas na molécula e ao grau de metilação desses grupos; a natureza e número de açúcares ligados à molécula; a posição da ligação, natureza e número de ácidos ligados aos açúcares da molécula.

A estabilidade das antocianinas é determinada maioritariamente pela sua estrutura química, mas também depende da combinação de diversos fatores como a temperatura, a luz, o pH, presença de outros compostos fenólicos, íons metálicos, oxigénio, copigmentos, entre outros. Estes compostos fenólicos são bastante instáveis em matrizes alimentares sendo muito suscetíveis à degradação (PIRES, 2020).

Esses compostos, assim como indicadores de pH comerciais, possuem colorações diferentes para a sua forma ácida e básica e, por serem ácidos ou bases fracas que coexistem em um equilíbrio químico, devido a este ponto que é possível notar a mudança na coloração da solução (NUNES; JANSEN; QUINÁIA, 2021).

Diferentes extratos ricos em antocianinas vêm sendo estudados como potenciais indicadores naturais de mudança de pH em alimentos. Os extratos podem ser obtidos de diferentes fontes naturais, conforme corroboram Cardoso *et al.*, (2011), dentre elas podem ser citadas as frutas como o açaí, ameixa, amora, cereja, figo, jabuticaba, framboesa, uva, maçã, morango e acerola e os vegetais, como o repolhoroxo, batata roxa, berinjela, entre outros.

3.3.1.1 Jabuticaba

A jabuticabeira (*Plinia sp.*) é uma árvore frutífera nativa das regiões centro, sul e sudeste do Brasil, originária do bioma Mata Atlântica, possuindo centro secundário de disseminação no Paraguai e Argentina, porém com baixa comercialização e consumo, por ser uma fruta de alta perecibilidade e grande geração de resíduo (TERRAZAS, 2019; SANTOS; ABREU; TORRES, 2020).

O fruto de jabuticaba é uma baga, subgloboso, quando maduro, liso, com 1,6 a 2,2 cm de diâmetro, contendo de uma a quatro sementes. A casca (epicarpo) apresenta coloração roxa escura (que se dá devido a presença de antocianinas) e a polpa esbranquiçada (SANTOS; ABREU; TORRES, 2020; HOFFMANN *et al.*, 2022).

Este fruto é rico em compostos fenólicos, distribuídos em maior proporção na casca do fruto. Os compostos fenólicos apresentam atividade antioxidante, além de atuarem como pigmentos naturais. (HOFFMANN *et al.*, 2022)

A principal parte da fruta destinada ao consumo e processamento é a polpa, entretanto, as cascas e sementes representam juntas aproximadamente 50% do peso total da fruta *in natura* (MARTINS *et al.*, 2011). Estima-se que cerca de 1,6 mil toneladas desses resíduos são descartadas anualmente no Brasil. Por se tratarem de materiais ricos em compostos bioativos, principalmente a casca, uma boa alternativa é a recuperação dessas substâncias bioativas através da produção de extratos (MIRANDA, 2019).

3.3 Filmes biopoliméricos aplicados como sensores

Filmes biopoliméricos surgem como alternativa capaz de aumentar a conservação e proteção do produto e evitar alterações em suas propriedades organolépticas, validando a segurança de consumo (VIDAL, 2021). A incorporação de pigmentos em materiais para a produção de sensores se apresenta como alternativa para identificação de alterações no estado de conservação de um alimento, pela mudança de coloração do mesmo.

No Quadro 3 são apresentados alguns trabalhos dos últimos 5 anos onde foram utilizados biopolímeros na matriz de sensores inteligentes e os extratos utilizados continham antocianinas.

Quadro 3 - Sensores inteligentes a base de matrizes biopoliméricas com extratos ricos em antocianinas (continua)

Tipo de sensor	Biopolímero	Aplicação	Autores
Sensor inteligente de pH à base de extrato de casca de jabuticaba	Amido	Sensor para determinação da deterioração em alimentos lácteos	(HOFFMANN <i>et al.</i> , 2022)

Quadro 3 - Sensores inteligentes a base de matrizes biopoliméricas com extratos ricos em antocianinas (conclusão)

Indicador inteligente de pH composto por extratos de antocianinas de batata-doce roxa	Ágar/amido de batata	Sensor para determinação da deterioração da carne suína	(CHOI <i>et al.</i> , 2017)
Sensor altamente sensível ao pH composto de pó de casca de uva	Carragenana	Monitoramento do pH em carne suína	(CHI <i>et al.</i> , 2020)
Sensor de pH com ação antioxidante com extrato de cereja da Manchúria (cereja nativa da Coreia)			(SUN <i>et al.</i> , 2020)
Sensor de pH incorporado com extrato de tegumento de soja preta	Quitossana	-	(WANG <i>et al.</i> , 2019)
Sensor de pH incorporado com extrato de morango chinês	Fécula de mandioca	Aplicação em carne suína para verificação do frescor	(YUN <i>et al.</i> , 2019)
Sensor de pH baseado em um corante natural extraído de rabanete vermelho	Amido/gelatina	Aplicado em carne de frango para verificar a degradação microbiana	(CHAYAVANICH, THIRAPHIBUNDE e IMYIM, 2019)

Fonte: Autora (2023)

No Quadro 3 é possível observar que todas as matérias-primas utilizadas na elaboração dos sensores são ricas em antocianinas, bem como as aplicações dos sensores são voltadas para o monitoramento do pH em alimentos. Yum et. al (2019) pontuam que antocianinas são consideradas indicadores inteligentes de pH promissores para monitorar o frescor dos alimentos, uma vez que o processo de deterioração dos alimentos geralmente é acompanhado por mudanças de pH. Além disso, grande parte dos estudos realizados foram aplicados para verificar o frescor da carne, onde de acordo com Vidal (2021), carnes e seus derivados são considerados produtos altamente perecíveis.

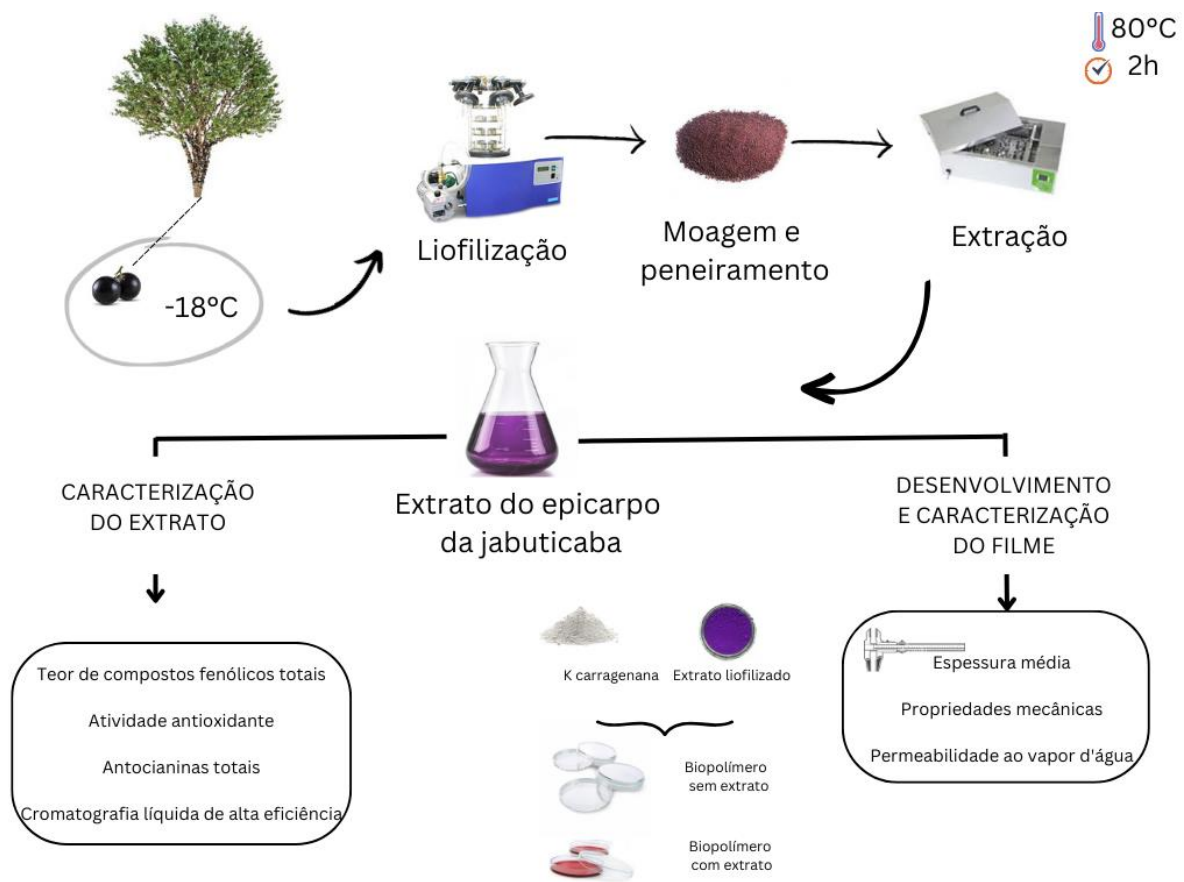
Em relação à carne suína, a mesma fresca é altamente suscetível à contaminação microbiana quando exposta ao ar, causando deterioração. A deterioração microbiológica pode produzir um alto nível de nitrogênio básico volátil total e alterar o valor do pH da carne suína (YUN *et al.*, 2019).

4 METODOLOGIA

Na presente seção são apresentados os materiais e procedimentos experimentais adotados na elaboração do sensor colorimétrico investigado no presente estudo. A metodologia apresentada para preparação da matéria-prima e preparo do filme biopolimérico é baseada no estudo de Ávila *et al.*, (2020b).

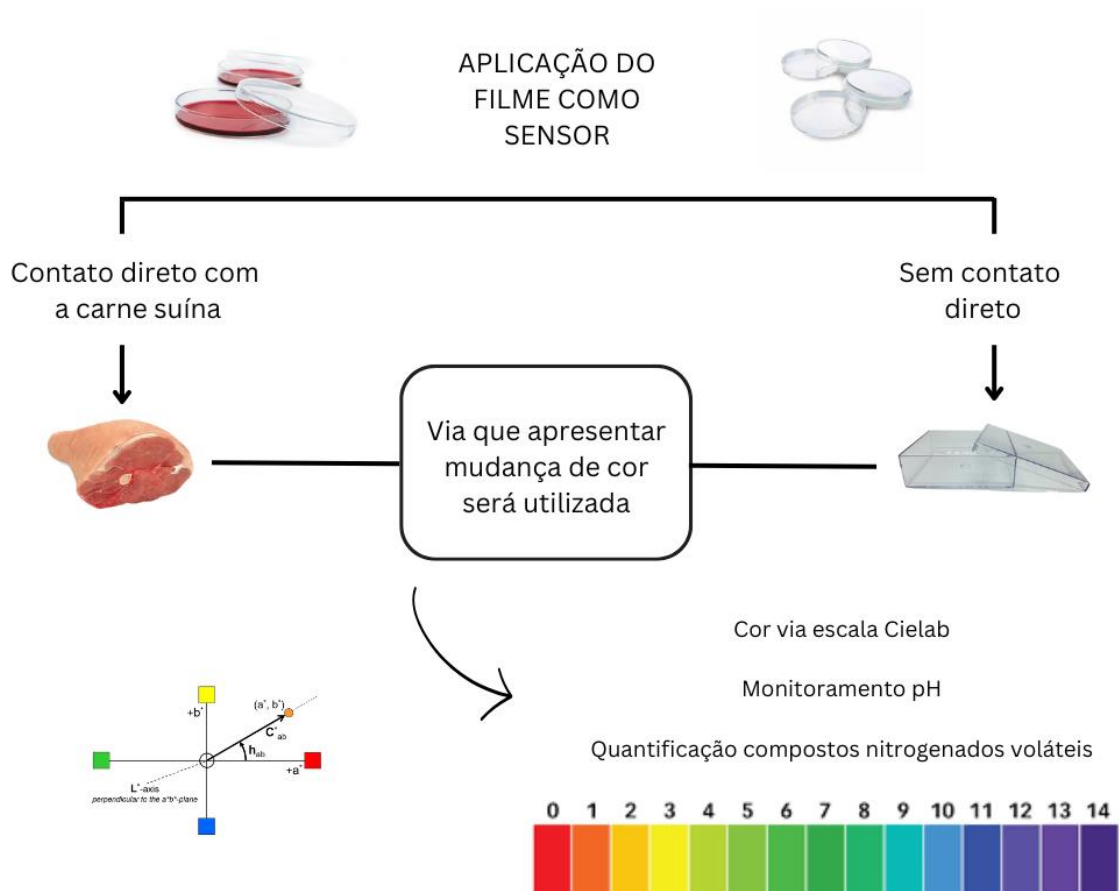
As Figuras 3 e 4 ilustram a metodologia utilizada no presente estudo, o preparo do extrato e desenvolvimento do filme e a aplicação do filme como sensor, respectivamente.

Figura 3 - Preparo do extrato e desenvolvimento do filme



Fonte: Autora (2023)

Figura 4 - Aplicação do filme como potencial sensor



Fonte: Autora (2023)

Os tópicos a seguir detalham como se deu cada etapa da metodologia do presente estudo.

4.1 Preparo da biomassa

Os frutos de jabuticaba (*Plinia cauliflora*) foram coletados em uma residência particular localizada em Santa Maria (-29.88926,-53.87125), Rio Grande do Sul, Brasil, respeitando a sazonalidade do fruto. Os frutos foram lavados em água corrente e descascados manualmente.

Os epicarpós (parte externa do fruto, que corresponde a casca) das jabuticabas foram higienizados com solução comercial de hipoclorito de sódio a 2% e enxaguados em água destilada, sendo então armazenadas a -18°C . Conforme metodologia descrita por Ávila et al (2020b), as cascas foram secas em liofilizador (Terroni, LS3000, São Carlos, Brasil) em -50°C por 48h e armazenadas em embalagens zip lock.

As amostras posteriormente foram reduzidas a um pó fino por um moinho analítico (IKA, A11, Darmstadt, Alemanha) e peneiradas (Malha Metálica 60, Indústria Metalúrgica Bertel, Caieiras, Brasil) para selecionar partículas com menos de 0,272 mm.

4.2 Preparo e caracterização do extrato

A extração foi realizada na proporção de 1:100 (biomassa triturada:solvente). O extrato da casca de jabuticaba foi obtido por maceração de acordo com a condição descrita por Ávila *et al.*, (2020b), usando solução etanólica (40%) como solvente e temperatura de extração de 80 °C durante 2 h. A escolha do solvente foi baseada em sua baixa toxicidade para uso com o extrato como aditivo para embalagens de alimentos. (ÁVILA *et al.*, 2022). O extrato foi submetido à filtração a vácuo, rotaevaporado, congelado, liofilizado (Terroni, LS3000, Brasil) e armazenado.

O extrato líquido foi caracterizado para conteúdo de fenóis, onde o método utilizado para estimar o teor de compostos fenólicos totais foi proposto inicialmente por Singleton e Rossi e se baseia no princípio de mudança de cor ocasionada pela redução do reagente Folin-Cicoalteau por compostos fenólicos. Ácido gálico (50 a 1000 mg.L⁻¹) foi usado para construir uma curva de calibração na faixa de (0 a 400 mg.L⁻¹). Assim, os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por grama de matéria seca. Todas as medições foram feitas em triplicata.

Posteriormente, a atividade antioxidante do extrato foi determinada, em triplicata, através da capacidade do extrato da casca da jabuticaba em sequestrar o radical livre DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), baseando-se na metodologia descrita por Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995).

O procedimento para determinação do teor de antocianinas totais foi feito em triplicata, a partir de medidas de absorbância do extrato em espectrofotômetro (Ultraspec1000, Amersham Pharmacia Biotech, Chiltern, REINO UNIDO), no comprimento de onda de 520 nm. A concentração medida de antocianina nas cascas de jabuticaba foi calculada por meio de uma curva padrão com concentrações variando de 5 a 100 mg.L⁻¹, e os resultados foram

expressos em mg de Cn-3-Glu equivalente por 100 g de matéria seca.

No que diz respeito a caracterização do extrato, através da cromatografia líquida de alta eficiência foi possível identificar e quantificar alguns dos compostos bioativos presentes no extrato de jabuticaba.

Os extratos foram centrifugados, filtrados com filtro de seringa de 0,45 μm e transferidos para frascos específicos para a cromatografia. No equipamento utilizado (Agilent 64) a separação ocorreu em uma coluna de fase reversa Eclipse Plus C18. A temperatura utilizada é de 30°C, com taxa de fluxo de eluente a 1 mL.min⁻¹, sendo o volume injetado de amostra fixado em 20 μL . Os solventes utilizados para a separação foram de 0,2% ácido acético (A), metanol P.A (B) e acetonitrila P.A (C). O gradiente de eluição dos solventes ocorre da seguinte maneira: inicia com 96% A; 2% B; 2%C, mudando para 80% A; 10% B; 10% C nos primeiros 5 min, 70;15;15% por mais 5 min, 50;25;25% por 10 min, retornando e finalizando com 96;2;2% por 10 min, totalizando uma análise/corrída de 30 min. A detecção dos compostos bioativos foi feita em comprimentos de onda de 280 e 520 nm para os fenólicos e antocianinas, respectivamente. A quantificação dos compostos foi feita utilizando curvas de calibração com padrões cromatográficos, sendo esses: ácido gálico, ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, kaempferol e cianidina-3-glicosídeo.

4.3 Preparo do sensor colorimétrico

O sensor foi desenvolvido através da técnica de *casting*, que consiste na evaporação de uma solução filmogênica aplicada sobre placas de Petri (material acrílico de 15 cm de diâmetro).

A solução filmogênica foi obtida usando 0,5 g de carragenana, solubilizada em 100 mL de água deionizada e 0,3 g de glicerol, sob agitação de 100 rpm e temperatura de 70 °C por 15 min. A mistura ocorreu com auxílio de um agitador magnético (NOVA ÉTICA), até completa homogeneidade. As soluções foram vertidas nas placas e inseridas em estufa de circulação forçada (BF2 ECF 480) à 40°C por 24 h para eliminação do solvente utilizado.

Foram formulados filmes controles, isentos de extrato da jabuticaba e filmes contendo 0,5 g de extrato liofilizado, conforme condições de otimização

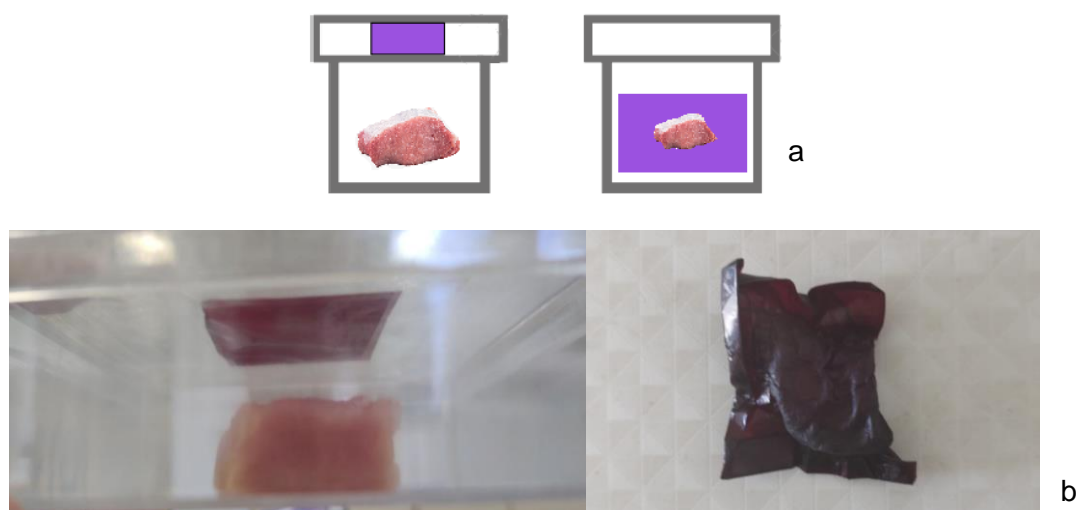
obtidas por Ávila (2020b). Após a secagem, os filmes foram acondicionados em dessecador contendo solução de ácido sulfúrico, para manter a umidade relativa em 50% no interior do mesmo.

4.4 Caracterizações do sensor colorimétrico

Nesta seção são apresentados os testes realizados a fim de caracterizar o sensor colorimétrico e o potencial de aplicação a fim de detectar a deterioração da carne suína via alteração do pH.

Foi realizado um teste inicial que teve o objetivo de definir se o sensor estaria em contato direto ou não com o produto. A Figura 5a apresenta de forma esquemática como se deu o experimento e Figura 5b experimento real

Figura 5- Esquema do teste preliminar e experimento real



Fonte: Autora (2023)

Em relação ao teste sem contato foram utilizadas caixas *gerbox* de poliestireno cristal transparente, onde no interior da caixa foram acondicionadas amostras de lombo suíno, e no interior da tampa foi fixado o sensor, de forma centralizada, assim como as amostras de carne suína. No teste com contato direto foram utilizados filmes para embalar amostras de lombo de carne suína, padronizadas em 2x2 cm, de forma a envolver todo produto. A embalagem foi selada a fim de evitar contato e interferência do meio externo.

O teste consistiu em monitorar alterações na coloração do sensor ao longo do tempo de forma visual, submetendo as amostras a temperatura ambiente e também sob refrigeração em torno de 8°C por 10 dias.

Após definir que o sensor deveria ser utilizado sem contato direto com a carne, foram realizados ensaios com intuito de monitorar o pH da carne suína ao longo dos dias, bem como definir a posição ideal do sensor na tampa da caixa *gerbox*. Durante esse ensaio experimental as alterações de cor do sensor foram analisadas através do aplicativo de *smartphone* Color Grab. As amostras ficaram refrigeradas durante todo período.

As coordenadas obtidas através do aplicativo Color Grab, foram utilizadas para os cálculos da diferença de coloração ΔE^* por meio da Equação 1. As medidas foram tomadas em três pontos aleatórios das superfícies dos sensores.

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta A^2 + \Delta B^2)^{1/2} \quad (1)$$

Posteriormente, com o objetivo de avaliar as características dos sensores foram realizadas análises das propriedades físicas, de barreira, mecânicas, estabilidade térmica e presença de grupos funcionais.

A espessura dos sensores foi obtida com um micrômetro digital (marca Insize, modelo IP65), com 10 medidas ao longo de sua extensão para analisar sua uniformidade, os resultados foram expressos como a média e desvio padrão dessas medidas.

No que diz respeito às propriedades mecânicas dos sensores, para avaliar a resistência à tração e módulo de elasticidade dos mesmos, foi realizado um ensaio de tração seguindo a norma D882 (ASTM, 2018), com um texturômetro (Stable Micro Systems, modelo TA.TX).

A tensão na ruptura foi calculada pela relação entre força e área da seção transversal inicial do sensor (Equação 2), enquanto que a porcentagem de alongação foi determinada por meio da Equação 3.

$$T = \frac{F_m}{A_{min}} \quad (2)$$

em que T é a tensão máxima relacionada à tração (Pa), F_m é a força máxima que antecede o momento de ruptura (N) e A_{min} é a área da seção transversal inicial do

sensor (m²).

$$\% \text{elonga\c{c}\~{a}o} = \frac{dr}{di} * 1000 \quad (3)$$

em que dr é a distância na ruptura percorrida pela garra (m) e di é o afastamento inicial entre garras (m).

Com o intuito de observar a capacidade de permeabilidade ao vapor de água dos sensores, foi adaptado em laboratório um teste de PVA seguindo as normas E96-96 (ASTM, 2016). Os sensores foram fixados na parte superior de frascos, onde, em seu interior havia 30 g de cloreto de cálcio anidro (CaCl_2), secos previamente para que a umidade relativa se encontre em 0% no interior do frasco. Os frascos foram colocados em dessecadores, onde a umidade relativa do meio foi mantida em 50% com solução de ácido sulfúrico. As amostras permaneceram durante 10 dias no dessecador e foram pesadas no início e no final da análise, com intuito de verificar o ganho de massa de CaCl_2 . A Figura 6 apresenta o aparato experimental utilizado para a análise de PVA.

Figura 6 - Aparato experimental utilizado para análise de PVA



Fonte: Autora (2023)

A taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) foi calculada pela Equação 4, onde, M_{ab} é a massa de umidade absorvida pelo CaCl_2 , t é o tempo que a amostra ficou no dessecador, A_{exp} é a área da superfície exposta do sensor.

$$TPVA = \frac{M_{ab}}{A_{exp} * t} \quad (4)$$

A permeabilidade ao vapor de água (PVA), dado em ($\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$) é apresentada na Equação 5 e foi calculada através da TPVA (taxa de

permeabilidade de vapor de água), espessura do filme L, e variação de pressão entre o sensor, ΔP .

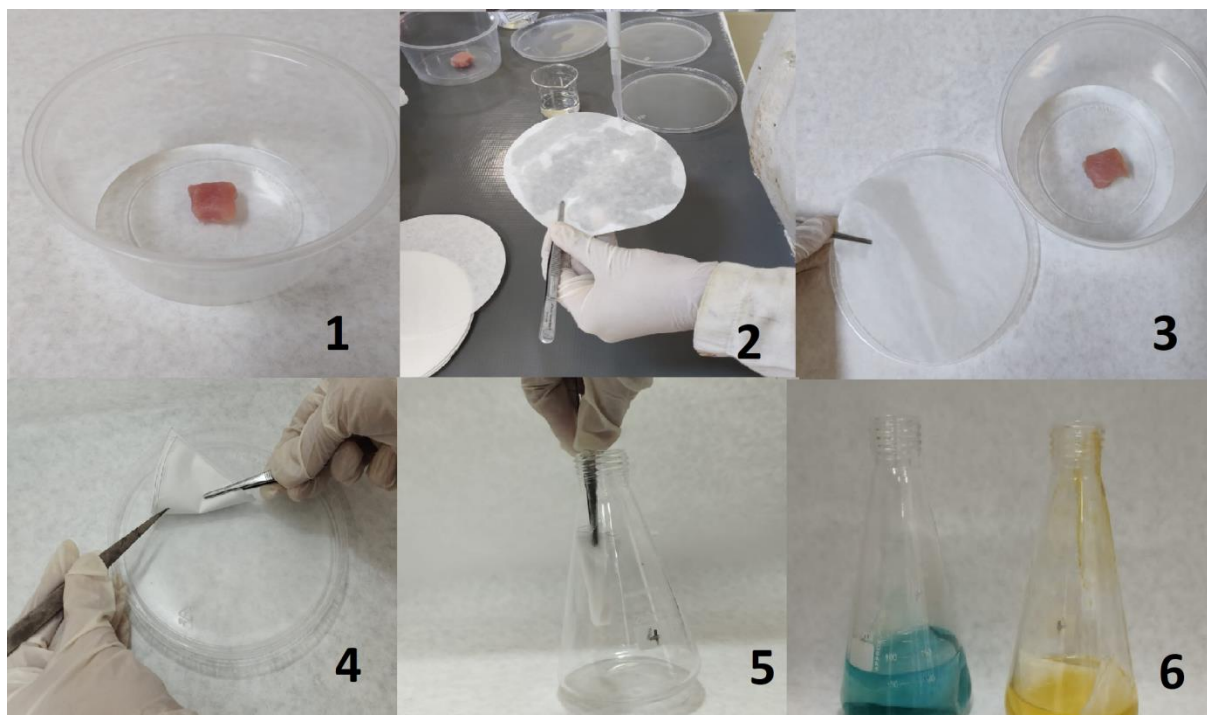
$$PVA = \frac{TPVA * L}{\Delta P} \quad (5)$$

4.5 Volatilização dos compostos nitrogenados

A deterioração dos alimentos causada pela degradação de microorganismos resulta na liberação de TVB-N (nitrogênio básico volátil total) que tem como principal composto volátil a amônia. Assim como o sensor muda de cor ao longo do tempo, e essa mudança de cor está relacionada à desprotonação das antocianinas pelos compostos TVB-N gerados a partir do processo de deterioração (CHAYAVANICH, 2019). Com o intuito de quantificar a amônia volatilizada, foi realizado um ensaio experimental pelo período de 09 dias (mesmo período do ensaio de monitoramento de cor), pelo método de captação estático, adaptado de Rosa (2010).

Na Figura 7 é possível observar o aparato experimental utilizado: a carne suína foi posicionada centralizada no interior de um recipiente plástico (1) (dimensões padronizadas: 2cmX2cm, massa padronizada 10g) e para captar a amônia volatilizada utilizou-se um disco de papel filtro qualitativo tratado com 1 mL de H_2SO_4 de concentração de 0,5 mol/L (2). O disco de papel (coletor), é mantido em posição horizontal a cerca de 6 cm acima da amostra, onde o disco é fixado na tampa do recipiente plástico (3), de modo que cubra toda área do topo do recipiente.

Figura 7 - Aparato experimental para análise de compostos nitrogenados



Fonte: Autora (2023)

As análises foram realizadas nos dias 01, 03, 06 e 09, da mesma maneira que o ensaio de monitoramento de cor. A análise consiste em recolher o coletor exposto à amônia, dobrá-lo (4) e colocá-lo em um *erlenmeyer* (5). A esse recipiente foi adicionado 75 mL de água destilada e três gotas de solução alcoólica de bromocresol verde (1,3 g em 200 mL de álcool etílico). O ácido remanescente no coletor foi então titulado com solução padronizada de NaOH 0,02 mol/L até o ponto de viragem do indicador de amarelo para azul (6). Para verificar a reprodutibilidade dos resultados com a amostra de carne foram realizadas análises em triplicata. De modo a comparar se a amônia volatilizada era pertencente à carne, o ensaio controle foi realizado com o recipiente e o coletor posicionado da mesma maneira, porém sem a amostra de carne suína. Após cada análise as amostras e o aparato experimental foram descartados. A quantidade de nitrogênio volatilizada sob a forma de NH_3 em cada período é calculada pela Equação (6).

$$\text{N (NH}_3\text{) (mg) volatilizado} = (V' - V^*) \cdot 0,28 \quad (6)$$

onde, V' o volume de NaOH 0,02 mol/L gasto na titulação do ácido contido no ensaio em branco e V^* o volume de NaOH 0,02 mol/L gasto na titulação do ácido nos ensaios com a amostra de carne suína.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 8 é exposta as etapas de preparo da biomassa, sendo (1) jabuticaba *in natura*, (2) epicarpo da jabuticaba liofilizado, (3) pó da casca da jabuticaba e (4) extrato da jabuticaba liofilizado.

Figura 8 - Preparo da biomassa



Fonte: Autora (2023).

O extrato caracterizado apresentou o conteúdo para compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante (AA) e antocianinas totais (AT) mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização do extrato

	CFT (mg GAE g ⁻¹)	AA (%)	AT (mg cianidina-3- glicosídeo.100g ⁻¹)
Epicarpo da jabuticaba	192,44±2,42	78,10±2,34	4136,13

Média ± desvio médio, n=3

Fonte: Autora (2023)

Os resultados de atividade antioxidante e fenóis foram próximos aos reportados por Ávila (2020a), que encontrou 81,00% e 199,34 mg_{GAE}.g⁻¹ para compostos fenólicos totais, respectivamente. Entretanto os valores de antocianinas totais foram inferiores (1458,11 mg.100 g⁻¹). Neves et. al (2021) ao avaliarem diferentes espécies de jabuticaba, encontraram valores em torno de 81,69% para atividade antioxidante do extrato da casca da *Plinia Cauliflora* e 1196,48 mg/100g de antocianinas totais, para extração realizada com água, metanol e ácido fórmico

como solvente de extração. Vale ressaltar que a safra das jabuticabas pode ser um fator determinante para tal diferença, visto que as condições experimentais para obtenção do extrato foram as mesmas.

Os compostos fenólicos individuais quantificados através da cromatografia líquida de alta eficiência estão apresentados na Tabela 2 e o cromatograma na Figura 9. No extrato avaliado foram identificados ácidos fenólicos (gálico, caféico, p-cumárico, ferúlico) e antocianinas (cianidina-3-glicosídeo).

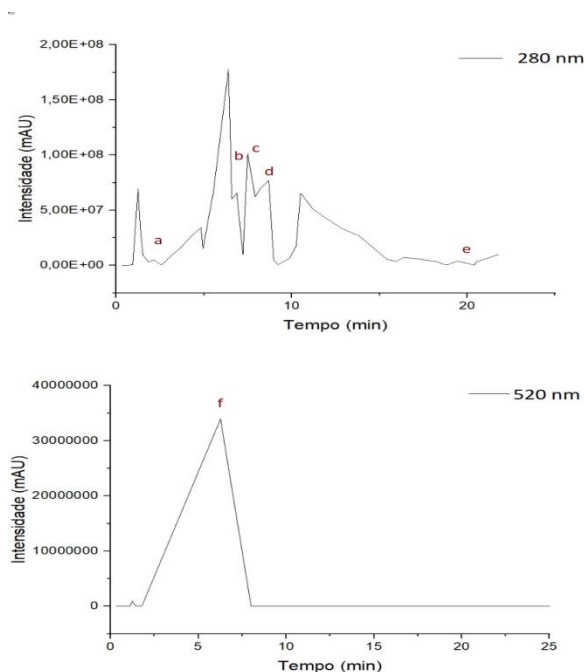
Tabela 2 - Caracterização dos compostos bioativos do extrato

Composto	Concentração ($\mu\text{g/mL}$)
Ácido cafeíco (b)	$81,72 \pm 9,31$
Ácido gálico (a)	$6,09 \pm 0,44$
Ácido p-cumárico (c)	$50,27 \pm 6,16$
Ácido ferúlico (e)	$37,64 \pm 10,69$
Kaempferol (d)	$220,35 \pm 69,67$
Cianidina-3-glicosídeo (f)	$222,09 \pm 29,88$

Média \pm desvio médio, n=3

Fonte: Autora (2023).

Figura 9 - Cromatograma obtido via HPLC



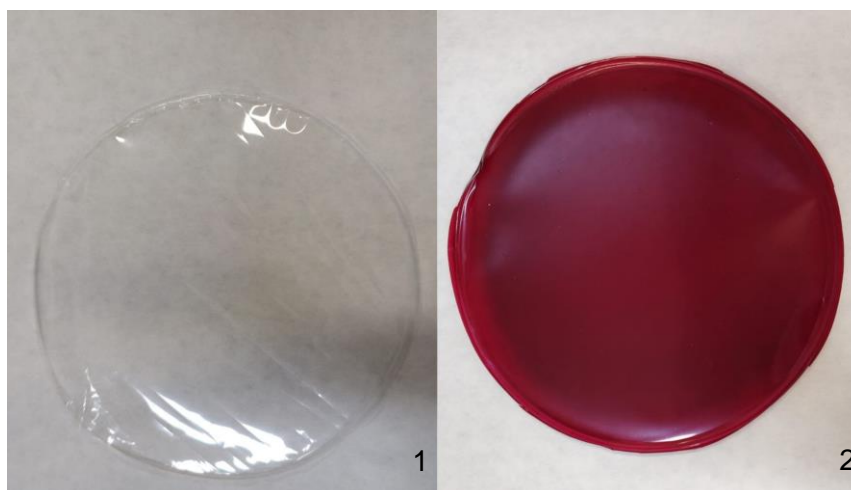
Fonte: Autora (2023)

Inada *et. al* (2020) quantificaram o teor fenólico de diferentes partes do fruto por cromatografia líquida de alta eficiência e relataram que o epicarpo tem a maior quantidade. Os extratos de diferentes espécies de jabuticaba analisados por Neves *et. al* (2021) apresentaram maior teor de antocianinas quando comparados a outras frutas e cascas como morango, ameixa, framboesa, mirtilo (VIEIRA *et. al* 2019). No presente estudo confirmou-se o elevado teor de antocianinas, em que observa-se a cianidina como composto encontrado em maior concentração.

Neves *et al.* (2021) identificaram e quantificaram a composição fenólica de diferentes espécies de jabuticaba, encontraram valores de $7,26 \pm 2,03$ mg/100g de ácido gálico, sendo também o composto encontrado em menor concentração, assim como no presente estudo.

No que diz respeito às características físicas, os sensores produzidos (extrato e controle) mostraram-se homogêneos, uniformes, não quebradiços e flexíveis, sendo facilmente removidos da placa, conforme exposto na Figura 10, sendo (1) controle e (2) com extrato da casca da jabuticaba (sensor).

Figura 10 - Aspecto dos filmes biopoliméricos

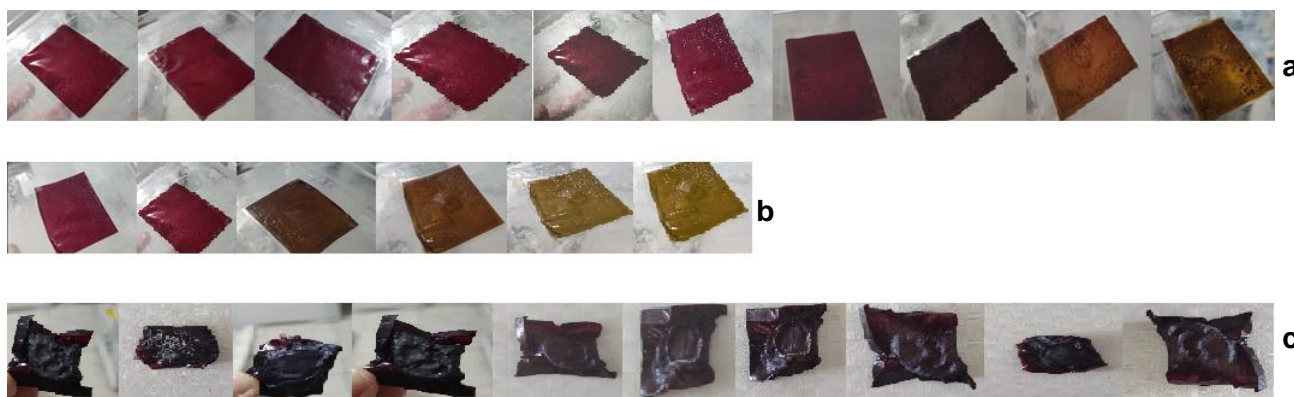


Fonte: Autora (2023).

A Figura 11 apresenta os resultados obtidos durante o primeiro teste utilizando o sensor sem contato com a carne suína e sob refrigeração (6a), sem

contato direto e em temperatura ambiente (6b) e em contato direto sob refrigeração (6c), respectivamente.

Figura 11 - Sensor sem contato direto com a carne suína e refrigerado



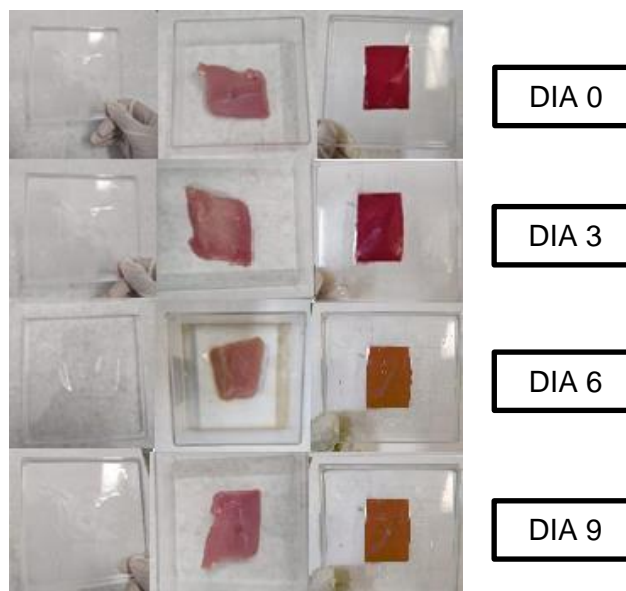
Fonte: Autora (2023).

Os filmes controle (ausentes de extrato) não apresentaram mudança de coloração, permanecendo transparentes do primeiro ao último dia do teste. O filme com extrato apresentou mudança de coloração ao longo do tempo. Por fim, optou-se por adotar nos experimentos posteriores o não contato direto entre o produto alimentício e o sensor, visto que a olho nu, a percepção referente à mudança de cor foi mais notória do que no produto embalado em contato direto biofilme/carne suína.

O período de teste em temperatura ambiente foi menor, visto que no 6º dia a carne suína estava em processo de deterioração, visto que a temperatura ambiente nos dias do teste estava em torno de 35°C. Por isso, optou-se por padronizar os testes seguintes.

Os resultados do segundo teste são apresentados na Tabela 3, que se refere ao monitoramento das características de cor e medição do pH em um período de 09 dias, em amostras sem contato, conforme Figura 12.

Figura 12 - Ensaio sem contato: monitoramento da cor



Fonte: Autora (2023).

Tabela 3 - Resultados referentes ao segundo teste

Dia	pH	b*	a*	L	ΔE
00	5,82±0,01	55,06±0,77	26,96±0,11	32,3±1,26	-
03	5,91±0,01	53,83±0,42	28,20±0,20	29,16±0,04	3,58
06	5,91±0,01	48,36±0,04	29,56±0,08	25,80±0,26	9,69
09	6,81±0,02	47,10±0,40	36,70±0,80	27,66±0,15	13,40

média±desvio médio, n=3

Fonte: Autora (2023).

Segundo Vidal (2021), o pH de uma carne suína considerada fresca não excede o valor de 6,2, ponto onde a proteína está propensa à retenção de água, criando um ambiente suscetível ao crescimento microbiano. Estudos revelam que os processos degradativos durante o armazenamento da carne resultam na produção

de amônia, aminas e sulfetos orgânicos aumentam o pH (BEKHIT *et al.*, 2021). O aumento nos valores de pH exibidos pela carne suína é consequência da formação de compostos característicos do processo de deterioração, tais como complexos de amônias e aminas, gerados pela decomposição de substâncias como proteínas e lipídios (CHOI *et al.*, 2017). Já a diferença de coloração obtida pelo método CieLab, serve para indicar a diferença de cores entre duas amostras são distinguíveis a olho nu para valores de ΔE superiores a 6,0 (VIDAL, 2021). Já segundo Prietto *et al.* (2017), o olho humano é capaz de perceber variações de ΔE de no mínimo 5 enquanto valores acima de 12 implicam em uma diferença absoluta de cor. No presente estudo, as diferenças de colorações foram calculadas considerando o dia 00, ou seja, a diferença de coloração entre o dia 00 e o dia 03 foi de 3,58, enquanto a diferença entre o dia 00 e o dia 09 foi de 13,40, já a diferença no sexto dia em comparativo ao dia 00 foi de 9,69, que apesar de menor, ainda é perceptível ao olho humano.

Luchese *et al.* (2018) desenvolveram filmes indicadores de pH com pigmentos de antocianinas extraídos de mirtilos. Os filmes obtidos submersos em soluções tampão em diferentes valores de pH. Os valores de ΔE encontrados variaram entre 3,8 e 11,4, sendo consideradas perceptíveis pelo olho humano. Assim, os valores determinados no estudo demonstram que as pessoas seriam capazes de distinguir com clareza as alterações de coloração nos filmes.

Em estudo realizado com antocianinas extraídas do rabanete vermelho e amido/gelatina, aplicadas em carne de frango e camarões brancos, o ΔE aumentou progressivamente em todas as amostras testadas e condições de armazenamento indicando a liberação de NBVT do processo de deterioração. Para as amostras de camarão branco, a mudança de cor dos filmes foi mais rápida do que as amostras de frango porque os camarões brancos foram mais facilmente deteriorados do que a carne de frango (CHAYAVANICH; THIRAPHIBUNDET; IMYIM, 2020).

Ma e Wang (2016) utilizaram as antocianinas extraídas do epicarco da uva incorporadas em goma de celulose para preparo de um filme de detecção de pH colorimétrico na deterioração do leite e observaram que os filmes eram visivelmente vermelhos para $\text{pH} < 7$ e levemente verdes para $\text{pH} > 7$, onde em um período de ensaio de 15 dias, em comparativo com o filme controle (ausente de extrato), obtiveram ΔE de 38,60 em comparativo do último dia de ensaio com o filme controle, o que os classifica como facilmente perceptíveis pelo olho humano.

Em relação às análises referentes à volatilização dos compostos nitrogenados os resultados encontrados são expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantificação da amônia volatilizada

NH ₃ Volatilizada (mg/g)			
Dia 01	Dia 03	Dia 06	Dia 09
0,63±0,2	0,11±0,07	0,40±0,04	0,94±0,02

Média±desvio médio, n=3

Fonte: Autora (2023).

É possível observar que a quantidade de amônia volatilizada aumenta com o passar dos dias, o que corrobora com o dado anterior, onde o valor de ΔE é maior no final do ensaio. Zhao *et al.*, (2015) avaliaram amostras de pernil de porco embaladas a vácuo para observar que o TVB-N aumentou ao longo de um período de armazenamento refrigerado de 21 dias a 0°C, pela metodologia de Malle e Poumeyrol (1989). A metodologia consistia em homogeneizar 100 g de amostra em ácido tricloroacético a 6% a 5000 rpm por 30s. O conteúdo homogeneizado foi filtrado através de papel de filtro e o TVBN no filtrado foi liberado adicionando 1% de K₂CO₃ e difundindo com ácido bórico a 1% e depois titulado com HCl. Os resultados dos conteúdos de TVBN foram expressos em mg/100 g de carne. Os autores encontraram valores de 6,79±0,86 mg/100g para o dia 07 e 8,81±1,47 mg/100g para o dia 21. A diferença dos valores encontrados no presente estudo se dá provavelmente devido à falta de oxigênio na embalagem a vácuo e à baixa temperatura de armazenamento utilizada.

No estudo realizado por o Li *et al.*, (2019), o conteúdo de TVB-N foi quantificado por 9 dias, onde amostras de supermercados locais diferentes foram armazenadas a 4°C, usando o Automatic Kjeldahl Analyzer (K9840; Hanon Instruments, Jinan, China). No dia 03 de análise, encontraram valores em torno de 6 a 100 g de carne, enquanto no dia 09, de 9 a 18 mg/100 g de carne, o que variou de acordo com a amostra analisada. No estudo é citado que de acordo com o padrão nacional de segurança alimentar da China (GB/T 9959.2–2008), o limite superior tolerável de TVB-N em carne suína fresca e congelada é de 15 mg/100 g. Os autores também avaliaram o pH das amostras, e os valores aumentaram

significativamente após 7 dias de armazenamento e mostraram uma tendência crescente, indicando intensa degradação de proteínas por microorganismos. A mesma tendência foi observada no presente estudo, onde a mudança de pH de 5,82 para 6,91 ocorreu no período de 09 dias de análise.

Em contrapartida, a adição de conservantes estabilizadores do pH da carne suína armazenadas em embalagem a vácuo resultou em baixos teores de TVB-N (<12,5 mg/100 g) após 21–42 dias de armazenamento (Yang *et al.*, 2018). Os dados indicaram que todos os conservantes foram capazes de inibir o crescimento bacteriano e prolongar a vida útil da carne suína, no entanto, vale ressaltar que os conservantes raramente são usados para preservar a carne de porco crua pois os efeitos dos conservantes na segurança alimentar ainda precisam ser mais explorados.

Frank *et al.*, (2019), com o objetivo de definir limites realistas de prazo de validade de produtos cárneos, avaliaram a cadeia de frio entre China e Austrália, no transporte de carne bovina dentro da rede de distribuição Chinesa, em um período de 140 dias, em condições de temperatura de 0,5°C. Este estudo relatou que as flutuações de temperatura de armazenamento de amostras de exportação resultaram em um efeito significativo nos níveis de TVB-N quando comparadas com amostras de controle que foram mantidas em uma temperatura mais controlada. A carne controle permaneceu fresca mesmo após 140 dias, enquanto a carne exportada não estava fresca após 84 dias de estudo. Tais flutuações na cadeia do frio justificam que a aplicação de um sensor colorimétrico é uma maneira de identificar se a carne alterou o pH e encontra-se imprópria pra consumo.

Em estudo relatado por Bekiht *et al.*, (2019), pode-se observar que diferenças nos níveis de TVBN entre as espécies talvez sejam decorrentes da *ante mortem* (fenômeno chamado de depleção de glicogênio), o que acaba influenciando o pH final, bem como condições de manuseio que influenciam a proliferação microbiana, também ocasionam em um grande impacto no pH final e na quantidade de exsudatos.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos referentes às caracterizações dos sensores desenvolvidos

Tabela 5 - Caracterização dos sensores desenvolvidos

Sensor	Espessura (mm)	PVA ($\text{Kg m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$)	σ (MPa)	E (%)
Controle	0,05±0,08	$4,47 \times 10^{-10} \pm 1,48 \times 10^{-11}$	1,01±0,14	5,11±0,50
Inteligente	0,14±0,00	$9,99 \times 10^{-10} \pm 8,46 \times 10^{-11}$	4,65±0,64	36,02±0,29

Média±desvio médio, n=3

Fonte: Autora (2023).

Através dos dados obtidos é possível identificar que os sensores com extrato apresentam maior espessura que o controle. Esse comportamento sucede devido à maior massa de componentes presentes na formulação do sensor. Sun *et. al* (2020) ao caracterizar um sensor de pH com ação antioxidante com extrato de cereja da Manchúria (cereja nativa da Coreia), constataram que quanto maior o teor de extrato adicionado, maior era a espessura do sensor, e justifica tal resultado pois as antocianinas, ricas em grupos hidroxila, agem como pontes e se ligam firmemente com o biopolímero e o plastificante, de modo a formar uma estrutura de rede. Rosa *et. al.*, (2020) observaram aumento da espessura do filme de carragenana quando incorporadas diferentes concentrações de extrato de folha de oliveira, confirmando a ação do extrato no que se refere ao incremento na espessura dos mesmos.

Como uma função importante no ramo alimentício, todo material em contato com os alimentos deve evitar ou pelo menos diminuir a transferência de umidade entre o alimento e a atmosfera circundante, a permeabilidade ao vapor de água do filme deve ser a mais baixa possível (ZAVAREZE, 2012). Em relação ao PVA, o sensor com extrato apresentou maior permeabilidade comparado ao sensor controle. Vários estudos com filmes de carragenana mostraram o mesmo comportamento, como Benvegnú *et al.*, (2022) que encontraram valores de permeabilidade em torno de $3,75 \times 10^{-11} \text{ g m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$ para o controle e $5,00 \times 10^{-11} \text{ g m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$ para o filme com extrato.

Os dados relatados na literatura para resistência à tração e alongamento dos filmes de carragenana são maiores do que os obtidos neste trabalho para a amostra controle. Isso pode ser atribuído às diferenças na preparação, composição e proporções das soluções formadoras de filme.

Ávila (2020b) encontrou para resistência à tração do filme controle de carragenana valores em torno de 10,69 MPa, e para filmes incorporados com extrato

do epicarpo da jabuticaba em diferentes concentrações, valores em torno de 6,08 MPa, enquanto para o alongamento do controle com extrato obteve 21,30 e 28,26%, respectivamente.

Visto isso, de maneira geral, os filmes elaborados neste estudo exibiram características que os tornam aplicáveis como sensor colorimétrico para indicação de deterioração da carne suína via alteração do pH devido a resposta de cor perceptível ao olho humano que foi confirmada devido ao comportamento crescente do pH e da liberação dos compostos nitrogenados voláteis.

6 CONCLUSÕES

O extrato oriundo do epicarpo da jabuticaba mostrou ser uma importante fonte de compostos fenólicos, o que de fato reforça a ideia de recuperar compostos bioativos de resíduos agroindustriais para aplicação como aditivos naturais na indústria de embalagens alimentícias. O extrato obtido apresentou altos valores de compostos fenólicos, antocianina total e atividade antioxidante. A partir da condição utilizada no processo, obteve-se um resultado de $78,10 \pm 2,34\%$ de atividade antioxidante, $192,44 \pm 2,42$ mg GAE.g⁻¹ (b.s.) de compostos fenólicos totais e $4136,13 \pm 34,12$ mg.100g⁻¹ (b.s.) para o teor de antocianinas totais.

Além disso, na caracterização de compostos fenólicos, o resultado revelou que dentre os compostos identificados, o cianidina-3-glicosídeo constituía a maioria dentre os demais, o que corrobora para incorporar o extrato na composição de um filme inteligente, visto que as características das antocianinas são favoráveis para tal aplicação.

Para o desenvolvimento dos filmes a utilização da técnica de *casting* mostrou-se satisfatória. Foi possível obter filmes homogêneos e de fácil remoção das placas, tanto o controle quanto o adicionado de extrato apresentaram uniformidade e ausência de materiais particulados. O filme biopolimérico obtido apresentou características que possibilitam seu uso como sensor. Este apresentou uma resposta satisfatória na mudança de coloração como indicativo de deterioração da carne suína via mudança de pH, onde a variação de pH foi de $5,82 \pm 0,01$ para $6,81 \pm 0,02$ durante 9 dias de análise e diferença de coloração no sensor (ΔE) de 13,40, o que segundo a literatura é considerado de fácil percepção para o olho humano. Foi observada crescente liberação de compostos nitrogenados voláteis durante os 09 dias de armazenamento da carne suína, variando de $0,63 \pm 0,2$ mg para $9,47 \pm 0,2$ mg de NH₃ volatilizada.

A incorporação do extrato na composição do filme aumentou a espessura do filme de 0,05 mm para 0,14 mm, a permeabilidade de vapor d'água de $4,47 \times 10^{-10} \pm 1,48 \times 10^{-11}$ Kgm⁻¹Pa⁻¹s⁻¹ para $9,99 \times 10^{-10} \pm 8,46$ Kgm⁻¹Pa⁻¹s⁻¹, a tensão de ruptura de $1,01 \pm 0,14$ MPa para $4,65 \pm 0,64$ MPa e também a capacidade de alongamento de $5,11 \pm 0,50$ % para $36,02 \pm 0,29$ %.

De maneira geral, os sensores elaborados neste estudo exibiram características que os tornam potenciais materiais aplicados juntamente à embalagem de alimentos, especificamente a carne suína, visto que a liberação dos compostos nitrogenados presentes na carne e as antocianinas presentes na composição do extrato resultaram na mudança de cor do sensor, sendo essa uma resposta positiva para aplicação como indicativo de deterioração da carne suína via alteração do pH, além de interessantes características mecânicas e resposta colorimétrica de fácil percepção ao olho humano.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M.; MORAIS, I. C. L.; SOUZA, C. M. O. C. C. Principais Microrganismos envolvidos na deterioração das características sensoriais de derivados cárneos. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. V.6, n.1. p. 1 – 18, jan – jun (2012). 2012.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Registros e alterações nas embalagens dos alimentos. 14 dez, 2022. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/en/registros-autorizacoes/alimentos/produtos/embalagem>. Acesso em: 26 abril 2022.

ANVISA 2020. Embalagens (materiais em contato com alimentos). 19 out. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/perguntas-e-respostas-arquivos/embalagens-materiais-em-contato-com-alimentos.pdf/view>. Acesso em 26 abril 2022.

AVILA, L. B.; PINTO, D.; SILVA, L. F. O; FARIAS, B. S; MORAES, C. C; ROSA, G. S.; DOTTO, G. L. Antimicrobial Bilayer Film Based on Chitosan / Electrospun Zein Fiber Loaded with Jaboticaba Peel Extract for Food Packaging Applications. **Polymers**. 2022 , v. 14 , 5457. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym14245457>. Acesso em 03 mar. 2023.

ÁVILA, L. B. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE EMBALAGENS ATIVAS E INTELIGENTES A PARTIR DE POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS UTILIZANDO EXTRATO DE CASCA DE JABUTICABA (*Plinia cauliflora*) COMO ADITIVO NATURAL**. Orientadora: Dr^a. Gabriela Silveira da Rosa. Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete. Tese de dissertação de mestrado em Engenharia. p. 124, 2020a.

AVILA, L. B. et al. Recovery of Bioactive Compounds from Jaboticaba Peels and Application into Zein Ultrafine Fibers Produced by Electrospinning. **Polymers**, 2020b, vol 12, 2916. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12122916>

Acesso em 14 nov 2022.

BEKHIT, A. E. D. A.; HOLMAN, B. W. B.; GITERU, S. G.; HOPKINS, D. L. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 109, n. July 2020, p. 280–302, 2021.

BENVEGNÚ, I. A.; , CONTESSA, C. R.; MORAES, C.C.; DA ROSA G.S.
EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA PRÓPOLIS MARROM ATUANTES COMO BARREIRA ANTIMICROBIANA EM FILMES BIOPOLIMÉRICOS DE CARRAGENANA. XL Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Uberlândia/MG, 2022. Disponível em:
<http://enemp2022.com.br/trabalhos finais/SEP21.pdf>

BORGES, A. C., BORGES, A. C. C.; SOUZA, S. M. de O. Controle de temperatura: importância e influência na qualidade da carne bovina. **Pubvet**, 13(07). Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n7a366.1-14>. Acesso em 25 ago. 2023

BRAGA, L. R.; PERES, L. Novas tendências em embalagens para alimentos: Revisão. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 69–84, Curitiba, 2010. II. Disponível em:
<https://pesquisa.bvsalud.org/porta l/resource/pt/lil-570192>. Acesso em 15 jan. 2023.

BIZERBA. Qué es un indicador TTI? Disponível em:
<https://slideplayer.es/slide/1110524/> Acesso em: 20 set 2022.

BRASIL. Art 8º da Lei n. 9782/99. 1999. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9782.htm. Acesso em 26 abril 2022.

CARDOSO, L. M.; LEITE, J. P. V.; PELUZIO, M. C. G. Efeitos biológicos das antocianinas no processo aterosclerótico. **Revista Colombiana de ciências químico farmacêuticas**. V. 40, n. 1, p. 116–138, jun. 2011. Disponível em:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-

[74182011000100007#:~:text=As%20antocianinas%20possuem%20grande%20potencial,em%20reduzir%20fatores%20pr%C3%B3%20Dinflamat%C3%B3rios](#). Acesso em 14 fev. 2023.

CAROLINO, J. **TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS EM EMBALAGENS ATIVAS E INTELIGENTES PARA ALIMENTOS: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DOS DEPÓSITOS DE PATENTES NOS SEGMENTOS DE CAFÉ, CARNE BOVINA E FRUTAS**. Tese de doutorado em propriedade Intelectual e Inovação. Orientador: Dr. Sergio Medeiros Paulino de Carvalho. Instituto Nacional da Propriedade Indústria. , p. 167, 2020.

CHAYAVANICH, K.; THIRAPHIBUNDET, P.; IMYIM, A. Biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 226, p. 117601, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117601>. Acesso em 02 abril 2023.

CHI, W.; CAO, L.; SUN, G.; MENG, F.; ZHANG, C.; LI, J.; WANG, L. Developing a highly pH-sensitive κ -carrageenan-based intelligent film incorporating grape skin powder via a cleaner process. **Journal of Cleaner Production**, v. 24, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118862> Acesso em 25 mar 2023.

CHOI, I.; LEE, J. Y.; LACROIX, M.; HAN, J. Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. **Food Chemistry**, v. 218, p. 122–128, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.050> Acesso em 15 fev. 2023.

DA ROSA, G. S.; VANGA, S. K.; GARIEPY, Y.; RAGHAVAN, V. Development of Biodegradable Films with Improved Antioxidant Properties Based on the Addition of Carrageenan Containing Olive Leaf Extract for Food Packaging Applications. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 1, p. 123–130, 2020.

FANG, W.; WANG, Z.; ZONG, S.; CHEN, H.; ZHU, D.; ZHONG, Y.; CUI, Y. PH-

controllable drug carrier with SERS activity for targeting cancer cells. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 57, p. 10–15, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.01.042>. Acesso em 14 jan 2023.

FERREIRA, M. P. F.; **EMBALAGENS ATIVAS PARA ALIMENTOS: CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES**. Tese de doutorado em ciências dos materiais. Orientador: Dr. César Liberato Petzhold. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/77261>>

FILIPINI, G. D. S. **DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS A PARTIR DE POLÍMEROS E EXTRATO NATURAL DE JAMBOLÃO**. Dissertação de mestrado em ciência e engenharia de alimentos. Orientadora: Vilásia Guimarães Martins. 2019. Disponível em: <https://repositorio.furg.br/handle/1/8384> Acesso em 01 mar 2023.

FORSYTHE, S. T. **Microbiologia da segurança de alimentos**, Artmed, 2 ed., 607p. Porto Alegre, 2013

FRANCO, M. R. **Sensor de pH impresso, colorimétrico e qualitativo para avaliar a qualidade da carne de frango “in natura”**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Ouro Preto. p.123, 2017.

FRANK, D. et al. Shelf life extension of vacuum packaged chilled beef in the Chinese supply chain. A feasibility study. *Meat Science*, v. 153, n. February, p. 135–143, 2019.

FREIRE, B. C. F.; RABELO, J. L. G.; MACÊDO, R. C. B.; SOARES, K. M. P. Inovações e atualidades em tecnologia de embalagens para alimentos: uma revisão. **Anais dos Workshops do CIONIMAS I CONIMAS e III CONIDIS/2019**. Vol 1. Campina Grande: Realize Editora, p. 715-729, 2020.

GUIMARÃES, W.; ALVES, M. I. R.; FILHO, N. R. A. Antocianinas em extratos vegetais: aplicação em titulação ácido-base e identificação via cromatografia líquida/espectrometria de massas. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1673–1679, 2012.

GENEROSO, A. L. **Membrana de Celulose Bacteriana Regenerada Aplicada em Embalagens de Alimentos** São Carlos 2021, , 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15483>>

HOFFMANN, T.G.; AMARAL D. P.; OLIVEIRA, J. T.; ANGIOLETTI, B. L.; BARBIERI, M. R.; CARVALHO, L. F.; BERTOLI. S. L.; SOUZA. S. K.

EMBALAGEM INTELIGENTE À BASE DE JABUTICABA COM

POTENCIAL APLICAÇÃO EM ALIMENTOS LÁCTEOS. *In:* 15° Congresso

Brasileiro de Polímeros. Blumenau, SC, 27-31 out. 2019. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/337720984> EMBALAGEM INTELIGENT E A BASE DE JABUTICABA COM POTENCIAL APLICACAO EM ALIMENT OS LACTEOS/citations. Acesso em 20 out 2022.

HOFFMANN, T. G. et al. Intelligent pH-sensing film based on jaboticaba peels extract incorporated on a biopolymeric matrix. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 3, p. 1001–1010, 2022.

INADA, K. O. P. et al. Bioaccessibility of phenolic compounds of jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) peel and seed after simulated gastrointestinal digestion and gut microbiota fermentation. **Journal of Functional Foods**, v. 67, n. February, p. 103851, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103851>

JARAMILLO, C. M.; YEPES, O. O.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, 2017, v. 176, p. 187–194. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079>. Acesso em: 28 jan. 2023.

JORGE, N. Neuza Jorge. [s.l: s.n.].

KEDZIERSKI, M. et al. Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual plastic waste management behaviours.

Science of the Total Environment, v. 740, p. 139985, 2020.

KONGLIANG, X.; GAO, A.; LI, C.; LI, M. Highly water-soluble and pH-sensitive colorimetric sensors based on a D- π -A heterocyclic azo chromosphere, **Sensors and Actuators. B: Chemical**, Volume 204, 2014, P 167-174, ISSN 0925-4005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.07.090>. Acesso em 12 fev. 2023.

LACASSE, D., **Introdução à Microbiologia Alimentar**, Ciência e Técnica, Instituto Piaget, Lisboa, 1995

LACHNO, A. S.; DUTRA, R.; SEVERO, J.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA L. R. C. Bioaditivos e aditivos naturais em alimentos: Corantes, antioxidantes e aromatizantes. **Boletim Técnico-Científico**, v. 5, n. 2, p. 77–93, 2019. Disponível em: <https://periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/boletim-tecnico-cientifico/article/view/233> Acesso em 12 dez 2022.

LI, N.; ZHANG, Y.; WU, Q.; GU, Q.; CHEN, M.; ZHANG, Y.; SUN, X. High-throughput sequencing analysis of bacterial community composition and quality characteristics in refrigerated pork during storage. **Food Microbiology**, v. 83, n. 100, p. 86–94, 2019.

LI, Z. Z.; NIU, C. G.; ZENG, G. M.; LIU, Y. G.; GAO, P. F.; HUANG, G. H.; MAO, Y. A. A novel fluorescence ratiometric pH sensor based on covalently immobilized piperaziny-1,8-naphthalimide and benzothioxanthene. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 114, n. 1, p. 308–315, 2006.

LUCHESE, C.L.; ABDALLA, V.F.; SPADA, J.C.; TESSARO, I.C. Evaluation of blueberry residue incorporated cassava starch film as pH indicator in different simulants and foodstuffs. **Food Hydrocoll**, 2018, v. 82, p. 209–218. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.010>. Acesso em: 22 jan. 2023.

MA, Q.; WANG, L. Preparation of a visual pH-sensing film based on tara gum

incorporating cellulose and extracts from grape skins. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 235, p. 401–407, 2016.

MACIEL, V. B. V.; FRANCO, T. T.; YOSHIDA, C. M. P. Alternative intelligent material for packaging using chitosan films as colorimetric temperature indicators. **Polimeros**, v. 22, n. 4, p. 318–324, 2012.

MÜLLER, P.; SCHMID, M. Intelligent packaging in the food sector: A brief overview. **Foods**, v. 8, n. 1, 2019

MUSTAFA, F.; ANDREESCU, S. Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. **Foods**, 2018, v. 7, n. 10. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods7100168>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MITSUBISHI Gas Chemical. **AGELESS EYE**, Oxygen Indicator. 2020. Disponível em: <https://www.mgc.co.jp/eng/products/sc/ageless-eye.html>. Acesso em: set 2022.

MORAES, M. C. B. DE. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL ATIVO À BASE DE EXTRATO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE LARANJA**. Viçosa, 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/2653>

NASCIMENTO, S. S.; DELFINO, A.V.; ABREU, F.C.; SANTOS, D.M. Prospecção Tecnológica sobre Embalagens Ativas para Alimentos. **Cadernos de prospecção**, 2021, p. 1310–1325. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v14i4.42633>. Acesso em: 28 jan. 2023.

NEVES, N. DE A. et al. Identification and quantification of phenolic composition from different species of Jaboticaba (*Plinia* spp.) by HPLC-DAD-ESI/MSn. **Food Chemistry**, v. 355, n. March, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129605>

NUNES, C.; JANSEN, A.; QUINÁIA, S. OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS PRESENTES NO FEIJÃO-PRETO E IMPREGNAÇÃO DO EXTRATO EM MATRIZ POLIMÉRICA NATURAL PARA USO COMO

INDICADOR DE pH. **Química Nova**, v. 45, n. 1, p. 113–120, 2021.

PASCHOA, A. DOS S. **Sensor orgânico, tipo embalagem colorimétrica, para monitoramento de pH de alimentos**. p. 93, 2016.

PEREIRA, P. F. D. M. **DESENVOLVIMENTO DE FILMES À BASE DE BIOPOLÍMEROS PARA APLICAÇÃO COMO EMBALAGENS INTELIGENTES**. Rio de Janeiro, 2017.

PIRES, A. S. **Sensores de pH baseados em antocianinas para aplicação em embalagens alimentares**. 2020.

PRIETTO, L.; MIRAPALHETE, T. C.; PINTO, V. Z.; et al. pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from black bean seed coat and red cabbage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 492–500, 1 jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.006>. Acesso em 03 mar 2023

REBELLO, F. **NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS ÀS EMBALAGENS DE ALIMENTOS**. REVISTA AGROGEOAMBIENTAL, 2009, p. 156-164. Disponível em:

<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/225/221>. Acesso em: 17 fev. 2021.

ROCHA, R. Y. L. DA. **Desenvolvimento de um corante natural bioativo rico em antocianinas a partir de framboesa vermelha**. [s.l: s.n.].

SANI, M. A.; MOHAMMADIAN, E. R.; JONG W. J.; SEID, M. pH-sensitive (halochromic) smart packaging films based on natural food colorants for the monitoring of food quality and safety. **Trends in Food Science and Technology**, v. 105, n. August, p. 93–144, 2020

SARANTOPOULOS, C.; COFCEWICZ, L. S. **EMBALAGENS INTELIGENTES PARA ALIMENTOS PERECÍVEIS**. Boletim de tecnologia e desenvolvimento de embalagens, 2015, v. 27, n. 3, p. 1–9. Disponível em:

http://www.ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v27n3/artigos/v27n3_artigo2.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

SCUADRA. **Entenda agora tudo sobre o que é embalagem ativa**. Disponível em: <https://www.scuadra.com.br/blog/entenda-agora-tudo-sobre-o-que-e-embalagem-ativa/#:~:text=Uma%20embalagem%20pode%20ser%20ao,o%20est%C3%A1gio%20de%20tal%20produto>. 2018. Acesso em 01 maio 2022.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetria de fenólicos totais com reagentes de ácido fosfomolibdico-fosfotúngstico. *Am J Enol Vitic.* 1965. v. 16, p. 144-158.

SOARES, N. D. F.; SILVA, W. A.; PIRES, A. C. S.; CAMILLOTO, G. P.; SILVA, P. S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**. 3438-5112-1-Pb. v. 56, n. 4, p. 370–378, 2009.

SPAGNOL, W. A. et al. Monitoramento da cadeia do frio: Novas tecnologias e recentes avanços. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 2–8, 2018.

SUN, G.; CHI, W.; XU, S.; WANG, L. Developing a simultaneously antioxidant and pH-responsive κ-carrageenan/hydroxypropyl methylcellulose film blended with *Prunus maackii* extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 155, p. 1393–1400, 2020.

TERRAZAS, M. B. **Desenvolvimento, caracterização e aplicação de filmes indicadores contendo antocianinas da casca de jaboticaba (*Plinia jaboticaba*)**. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, p. 59, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/203197>. Acesso em: 24 jan. 2023.

TIMESTRIP. **Indicadores completos da tira de tempo**. Disponível em: <https://timestrip.com/indicator-labels/temperature-indicators/timestrip-complete>

Acesso em: out. 2022.

VOLP, A.C.P.; RENHE, I. R. T.; BARRA, K.; STRINGHETA, P. Flavonóides: Antocianinas Características e propriedades na nutrição e saúde. **Revista Brasileira Nutrição Clínica**, 2008. p.144. DOI:10.1016/B978-0-12-811440-7.00007-7.

VIDAL, I. D. F. S. **SENSOR COLORIMÉTRICO COM ANTOCIANINAS APLICADO A EMBALAGENS INTELIGENTES PARA DETECÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE CARNES SUÍNAS VIA ALTERAÇÃO DO pH**. Dissertação de pós graduação em engenharia química. Ouro Branco MG, 2021.

VIEIRA, L. M., MARINHO, L. M. G., ROCHA, J.d. C. G., BARROS, F. A. R., & STRINGHETA, P. C. (2019). Chromatic analysis for predicting anthocyanin content in fruits and vegetables. **Food Science and Technology**, 39(2), 415–422. <https://doi.org/10.1590/fst.32517>.

VO, T.; DANG, T. Chitosan / Poly (vinyl alcohol) / Anthocyanin Extracted from Red Cabbage. **Polymers**, 2019, v. 11, n. 1088, p. 1–12. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130482>. Acesso em: 23 jan. 2023

WANG, X.; YONG, H.; GAO, L.; LI, L.; JIN, M.; LIU, J. Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. **Food Hydrocolloids**, 2019, v. 89, n. August 2018, p. 56–66. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.019>. Acesso em: 24 jan. 2023

WU, C.; SUN, J.; ZHENG, P.; KANG, X.; CHEN, M.; LI, Y.; GE, Y.; HU, Y.; PANG, J. Preparation of an intelligent film based on chitosan/oxidized chitin nanocrystals incorporating black rice bran anthocyanins for seafood spoilage monitoring. **Carbohydrate Polymers**, 2019, v. 222, n. June, p. 115006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115006>. Acesso em: 22 jan. 2023.

XIE, K.; GAO, A.; LI, C.; LI, M. Highly water-soluble and pH-sensitive colorimetric sensors based on a D- π -A heterocyclic azo chromosphere. **Sensors and Actuators**, B: Chemical, v. 204, p. 167–174, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.07.090>. Acesso em: 26 jan. 2023.

YANG, C.; QI, Y.; ZHENG, J.; FAN, X.; LIANG, P.; SONG, C.. Efficacy of various preservatives on extending shelf life of vacuum-packaged raw pork during 4°C storage. **Journal of Food Protection**, v. 81, n. 4, p. 636–645, 2018.

YUN, D.; CAI, H.; LIU, Y.; XIAO, L.; SONG, J.; LIU, J. Development of active and intelligent films based on cassava starch and Chinese bayberry (: Myrica rubra Sieb. et Zucc.) anthocyanins. **RSC Advances**, v. 9, n. 53, p. 30905–30916, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C9RA06628D>. Acesso em: 25 jan. 2023.

ZARAGOZÁ, P.; FUENTES, A.; RICO, M. R.; VIVANCOS, J. L.; SEGOVIA, I. F.; ROS-LIS, J.; M. BARAT, MARTÍNEZ-MÁÑEZ, R. Development of a colorimetric sensor array for squid spoilage assessment, **Food Chemistry**, Volume 175, 2015, Pages 315-321, ISSN 0308-8146, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.156>. Acesso em 12 jul. 2023

ZAVAREZE, E. D. R. Development of oxidised and heat–moisture treated potato starch film. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 344 –350, 2012 .

ZHAO, F. et al. Microbial changes in vacuum-packed chilled pork during storage. **Meat Science**, v. 100, p. 145–149, 2015.

ZHANG, H.; SABLANI, S. Biodegradable packaging reinforced with plant-based food waste and by-products. **Current Opinion in Food Science**, 2021, v. 42, p. 61–68. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.003>. Acesso em: 25 jan. 2023.