



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

JACQUELINE DE MELO LIMA

REVESTIMENTOS DE GELATINA EXTRAÍDOS DE PELE DA TILÁPIA
(*Oreochromis niloticus*) ENRIQUECIDOS COM ÁCIDO FERÚLICO NA QUALIDADE
DE FILÉS DE ATUM (*Thunnus albacares*)

FORTALEZA
2023

JACQUELINE DE MELO LIMA

REVESTIMENTOS DE GELATINA EXTRAÍDOS DE PELE DA TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) ENRIQUECIDOS COM ÁCIDO FERÚLICO NA QUALIDADE DE FILÉS DE ATUM (*Thunnus albacares*)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Ciência e Tecnologia do Pescado.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L698r Lima, Jacqueline de Melo.

Revestimentos de gelatina extraídos de pele da tilápia (*Oreochromis niloticus*) enriquecidos com ácido ferúlico na qualidade de filés de atum (*Thunnus albacares*) / Jacqueline de Melo Lima. – 2023.

79 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza.

1. gelatina. 2. revestimento. 3. compostos fenólicos. 4. atum. I. Título.

CDD 639.2

JACQUELINE DE MELO LIMA

REVESTIMENTOS DE GELATINA EXTRAÍDOS DE PELE DA TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) ENRIQUECIDOS COM ÁCIDO FERÚLICO NA QUALIDADE DE FILÉS DE ATUM (*Thunnus albacares*)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Ciência e Tecnologia do Pescado.

Aprovada em: 06/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Lorena Alves Leite
Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)

Prof.^a Dra. Francisca Gleire Rodrigues de Meneses
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha família: meu esposo e meu querido filho por serem tão afáveis comigo. E meus amados pais Geraldo e Odete (*in memoriam*), por todo amor incondicional que recebi e sempre olharão por mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por estar sempre me guiando e iluminando meus caminhos e fazendo das minhas escolhas o meu sucesso.

A minha família: meu esposo Ronaldo Melo e meu amado filho Joaquim Melo de quem sempre tenho o abraço amoroso que me dá forças para continuar à caminhada.

Ao Meu Orientador prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza, pelo apoio, colaboração e orientação na realização desse trabalho.

Ao prof. Men de Sá Moreira de Souza Filho e a Prof.^a Dra. Francisca Gleire por toda ajuda científica e colaboração desse trabalho.

Ao meu amigo Dr. Diego Alves, por toda ajuda, apoio e companhia na realização desse trabalho.

A todos que fazem parte dos Laboratórios:

Tecnologia do Pescado (LATEPE), em especial a Cláudia Brandão, Cláudia Cinthia, Sara Monalisa, Davi Cerqueira, Ikaro Xavier, Wilame, Karen Castro, Gabrieli Silva, Cynthia Maria, Maria Leonilda, Biatriz Costa, Katharina Gama e o Pedro Ian.

Também aos Srs. Sidcleiton e Ivanildo José, por toda ajuda, atenção, carinho, pois é, nos detalhes e na simplicidade que vemos a amizade.

Laboratório de Tecnologia da Biomassa (EMBRAPA) nas pessoas do Adriano, Lyndervan, Matheus e Jéssica.

Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP), toda equipe: Débora Amarante, Célio Henrique, Igor Dantas e os demais que ajudaram na realização das análises microbiológicas.

Embrapa Agroindústria Tropical pela disponibilização de sua estrutura de laboratórios.

FUNCAP, pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho, gratidão.

“Uns barcos são abandonados, outros continuam a navegares”. (Pe. João Batista).

RESUMO

O grande crescimento populacional ao redor do globo acarreta uma maior demanda mundial por fornecimento de alimento de qualidade, que visa atender consumidores cada vez mais exigentes. Esse fator acaba por pressionar as indústrias alimentícias a buscarem constantemente o desenvolvimento de novos procedimentos tanto para processar, como para embalar e comercializar seus produtos. O uso de revestimentos pode ser uma alternativa para esse mercado, pois ajuda a prolongar a vida útil do pescado. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi desenvolver revestimentos comestíveis à base de gelatina da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), incorporando o ácido ferúlico (AF) como uma substância antioxidante e avaliar a qualidade em filés de atum (*Thunnus albacares*) refrigerado $1^{\circ}\text{C}\pm 0,4$, quanto aos aspectos físico-químicos e microbiológicos. A gelatina foi extraída, caracterizada quanto a composição centesimal, pH, força de gel, cor, rendimento de extração, calorimetria diferencial de varredura (DSC), termogravimétrica (TGA), espectroscopia no infravermelho (FTIR) e ângulo de contato, visando uma melhor solução para revestimento em pescado, e posteriormente aplicada na concentração de gelatina 1,0% adicionando glicerol e ácido ferúlico 0,50%. As análises físico-químicas dos filés com revestimento apresentaram diferença significativa ($p < 0,5$) quando comparado com as amostras sem revestimento, para o nitrogênio bases voláteis totais (N-BVT), nitrogênio da trimetilamina (N-TMA), substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (SRAT), potencial hidrogeniônico (pH), no parâmetro de cor observou uma tendência para o escurecimento dos filés, porém não teve diferença significativa entre os tratamentos. As análises microbiológicas dos filés revestidos apresentaram resultado positivo para o controle da *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, bactérias produtoras de histamina e as contagens de bactérias psicrófilas, se mantiveram em níveis aceitáveis até o décimo quinto dia de armazenamento. Concluiu-se que esse revestimento de gelatina com AF pode ser utilizado para aumentar a vida de prateleira do atum refrigerado até o décimo quinto dia, visto o potencial de suas características antioxidante e antibactericida observado *in vitro* no presente estudo.

Palavras-chave: gelatina; revestimento; compostos fenólicos; atum.

ABSTRACT

The large population growth around the globe leads to a greater global demand for quality food supply, which aims to serve increasingly demanding consumers. This factor ends up putting pressure on food industries to constantly seek to develop new procedures, both to process, package, and market your products. The use of coatings can be an alternative for this market, as it helps extend the fish shelf life. In this context, the objective of the study was to develop edible coatings based on gelatin from tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin, incorporating ferulic acid as an antioxidant substance and evaluating the shelf life of tuna fillets (*Thunnus albacares*) refrigerated at $1^{\circ}\text{C}\pm 0.4$, regarding oxidative and microbiological aspects. The gelatin was extracted, characterized as to proximate composition, pH, gel strength, color, extraction yield, differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetry (TGA), infrared spectroscopy (FTIR) and contact angle, aiming at a better solution for coating fish, and subsequently applied in a concentration of 1.0% gelatin adding glycerol and 0.50% ferulic acid. The physicochemical analyzes of coated fillets showed a significant difference ($p < 0.5$) when compared to uncoated samples, for total volatile base nitrogen (N-BVT), trimethylamine nitrogen (N-TMA), reactive substances to thiobarbituric acid (SRAT), hydrogenion potential (PH), in the color parameter there was a tendency towards darkening of the fillets, but there was no significant difference between the treatments. Microbiological analyzes of the coated fillets showed positive results for the control of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, histamine-producing bacteria and psychrotrophic bacteria counts remained at acceptable levels until the fifteenth day of storage. It was concluded that this gelatin coating with ferulic acid can be used to increase the shelf life of refrigerated tuna up to the fifteenth day, given the potential of its antioxidant and antibacterial properties observed in vitro in the present study.

Keywords: gelatin; coating; phenolic compounds; tuna.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Estrutura química do AF.....	20
Figura 2	– Ilustração da aplicação do revestimento nos filés de atum (<i>Thunnus albacare</i>)	26
Figura 3	– Fluxograma simplificado do procedimento de extração da gelatina de pele de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	30
Figura 4	– Imagem da solução de revestimento no equipamento e revestindo filé de atum (<i>Thunnus albacares</i>)	33
Figura 5	– Fluxograma simplificado do preparo das placas, pela técnica de pour plate, do músculo de atum (<i>Thunnus albacares</i>)	38
Figura 6	– Gelatina tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	44
Figura 7	– Gelatina de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	45

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Análise de calorimetria diferencial de varredura realizada até a temperatura de 200°C da gelatina em pó da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) 46
- Gráfico 2 – Análise termogravimétrica da gelatina em pó de pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) 47
- Gráfico 3 – Espectros vibracionais no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) da gelatina extraída a partir da pele de tilapia do Nilo (*O. niloticus*) 48
- Gráfico 4 – Análise gráfica do comportamento das médias de pH durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%) 51
- Gráfico 5 – Análise gráfica do comportamento das médias do conteúdo de bases voláteis totais nitrogenados (N-BVT) durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%) 54
- Gráfico 6 – Análise gráfica do comportamento das médias do conteúdo do nitrogênio da trimetilamina (N-TMA) durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%) 56
- Gráfico 7 – Análise gráfica do comportamento das médias das substâncias reativas ao ácido tiobabúrico (TBA) durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%) 57

Gráfico 8 – Análise gráfica do Logaritmo da média dos valores das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) das bactérias psicotróficas durante o período de armazenamento, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%) 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Composição centesimal da gelatina de pele de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	42
Tabela 2	– Valores de cor nos parâmetros L, a, b para a gelatina de pele de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	43
Tabela 3	– Valores de coeficiente de espalhamento (<i>Ws</i>) para diferentes concentrações de gelatina, glicerol e ácido ferúlico.....	50
Tabela 4	– Valores (média ± desvio padrão) de cor em filés de atum (<i>Thunnus albacare</i>). Amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento adicionado de gelatina de pele de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%.....	52
Tabela 5	– Valores da análise microbiológica em filé atum (<i>Thunnus albacare</i>) sob refrigeração a 4°C durante 20 dias de armazenamento para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%)	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivos gerais.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Gelatina.....	18
3.2	Ácido ferúlico.....	20
3.3	Revestimentos e filmes comestíveis.....	22
3.4	Revestimento e filmes em pescado.....	23
3.4.1	<i>Técnica de aplicação de revestimento.....</i>	25
3.4.2	<i>Qualidade do pescado.....</i>	26
3.5	Atum.....	27
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1	Obtenção do material biológico.....	29
4.2	Processo de extração da gelatina.....	29
4.3	Caracterização da gelatina.....	31
4.3.1	<i>Rendimentos produzidos.....</i>	31
4.3.2	<i>Composição química da gelatina.....</i>	31
4.3.3	<i>Força de Gel.....</i>	31
4.3.4	<i>Determinação da Cor.....</i>	32
4.3.5	<i>Análise de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....</i>	32
4.3.6	<i>Análise Termogravimétrica (TGA).....</i>	32
4.3.7	<i>Análise de Espectroscopia no Infravermelho (FTIR).....</i>	33
4.4	Ângulo contato.....	33
4.5	Aplicação da gelatina.....	34
4.5.1	<i>Preparo e aplicação da solução de revestimento a base de gelatina.....</i>	34
4.5.2	<i>Acompanhamento dos filés revestidos.....</i>	34
4.6	Análise físico-químicas dos filés revestidos com gelatina.....	35
4.6.1	<i>Determinação de pH.....</i>	35
4.6.2	<i>Determinação de cor por colorimetria.....</i>	35

4.6.3	Bases nitrogenadas voláteis totais (N-BVT)	35
4.6.4	Determinação do nitrogênio da trimetilamina (N-TMA)	36
4.6.5	Determinação das substâncias reativas ao ácido tiobabitérico (SRATB)	36
4.7	Análise microbiológica	37
4.7.1	Preparo da amostra (músculo)	37
4.7.2	Preparo dos meios e incubação	37
4.7.3	Determinação do número de unidades formadoras de colônias (UFC)	38
4.7.4	Bactérias produtoras de histamina (BPH)	39
4.7.5	Bactéria – Escherichia coli	39
4.7.6	Bactéria – Salmonella	40
4.7.7	Bactéria – Estafilococos aureus	40
4.8	Análise Estatística	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	Extração e caracterização da gelatina	42
5.1.1	Rendimento de extração	42
5.1.2	Composição centesimal	42
5.1.3	Determinação da cor	43
5.1.4	Força de Gel	45
5.1.5	Análise de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	46
5.1.6	Análise Termogravimétrica (TGA)	47
5.1.7	Análise Espectroscopia no Infravermelho (FTIR)	48
5.2	Ângulo de contato	49
5.3	Avaliação dos filés revestidos – análises físico-químicas	50
5.3.1	Determinação do pH	50
5.3.2	Determinação de cor por colorimetria	52
5.3.3	Bases nitrogenadas voláteis totais (N-BVT)	53
5.3.4	Nitrogênio da trimetilamina (N-TMA)	55
5.3.5	Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico	57
5.4	Avaliação dos filés revestidos análises microbiológicas	59
5.4.1	Escherichia coli	59
5.4.2	Estafilococos auerus	61

5.4.3	<i>Salmonella</i>	61
5.4.4	<i>Bactérias produtoras de Histamina</i>	62
5.4.5	<i>Bactérias piscitróficas</i>	63
6	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O pescado por se tratar de um alimento com alto potencial deteriorante, depende de uma soma de cuidados para a correta manutenção da sua integridade. A forma de abate, o nível de estresse do animal, a sua nutrição, boas condições de cultivo e um rápido armazenamento após a morte do animal são tópicos que precisam ser avaliados cuidadosamente quando se trabalha com esse tipo de alimento. Essa característica do pescado ocorre devido a sua grande qualidade nutricional, com a presença de ácidos graxos poli-insaturados, aminoácidos, vitaminas e minerais, além de seu alto teor de água nos tecidos que se torna meio propício ao desenvolvimento de microrganismos (GONÇALVES, 2021).

Assim busca-se cada vez mais o desenvolvimento de novas tecnologias para garantir a manutenção da qualidade do pescado. A forma de conservação convencional desse alimento, bastante difundida e de fácil aplicação é o uso do frio ou congelamento. Reduz-se a temperatura do produto com o objetivo de retardar o processo de deterioração, mantendo suas características sensoriais e impedindo a multiplicação microbiológica. Porém, somente a aplicação desses processos não consegue cessar a deterioração do músculo ou fazer com que o produto adquira qualidade, ocorrendo apenas o retardamento das reações que porventura venham a diminuir seu frescor (SUN *et al.*, 2019). Além disso, é recomendado que o alimento passe pelo processo de congelamento rápido que acarreta a formação apenas de pequenos cristais de gelo no seu interior, o contrário, cristais de gelo extracelulares grandes e irregulares podem danificar o tecido muscular, afetando assim a qualidade dos produtos aquáticos congelados a longo prazo (QIAO *et al.*, 2022).

Outras formas de conservação do pescado podem ser utilizadas, como a salga, defumação e a secagem (GONÇALVES, 2021). O desenvolvimento de biopolímeros derivados de resíduos de produção, vem como inovação sustentável para o setor de tecnologia do pescado, afirmando-se como alternativa as embalagens com polímeros derivados de combustíveis fósseis, que geram poluição e impactos ambientais. Neste contexto, os resíduos oriundos da criação e processamento de espécies de peixes, como a tilápia do Nilo (*Oreochromes niloticus*), consumidas no Brasil pode permitir o desenvolvimento de biofilmes comestíveis que além de reduzir o acúmulo de plástico no ambiente, ainda possuem propriedades capazes de prolongar a vida útil do produto.

Segundo dados do anuário da piscicultura da Peixe BR 2022, a produção de peixes de cultivo no Brasil subiu cerca de 4,7% em relação ao ano anterior, somando 841.005 toneladas. A espécie tilápia continua crescendo em produção a cada ano e já corresponde a 63,5% do total produzido no país. O aumento da produção gera mais resíduos como a pele e as escamas que podem ser aproveitadas para produção de gelatina.

Na indústria de alimentos, a gelatina é usada como agente gelificante, espessante, emulsificante, formador de espuma, filme comestível e estabilizador (SIBURIAN *et al.*, 2020). E agregar valor a esses resíduos pode proporcionar uma renda extra aos processadores e reduzir os riscos ambientais.

No entanto, a gelatina possui propriedades hidrofóbicas e mecânicas mais baixas, especialmente quando exposta à umidade. Pirsa & Sharifi (2020) relata que a maioria dos filmes de gelatina não são bons protetores contra o vapor de água devido à sua natureza hidrófila.

Stevenson *et al.*, (2020) ressalta que modificação estrutural pode melhorar as propriedades mecânicas e de barreira da gelatina. Vários métodos, incluindo tratamentos físicos (por exemplo, tratamentos de radiação, ultra-som) e químicos (por exemplo, uso de aldeídos, aldeído glutar e sais de cálcio), combinação com outras proteínas e polissacarídeos, como quitosana e caseína, uso de compostos formadores de ligações cruzadas como genipina, formaldeído, enzima transglutaminase e produtos vegetais naturais como compostos fenólicos (por exemplo, ácido cafeico, ácido ferúlico), podem ser utilizados para melhorar seu potencial de revestimento.

Os revestimentos comestíveis são utilizados para melhorar a conservação dos alimentos e a escolha de biopolímeros comestíveis depende de suas funções únicas, como boas propriedades de barreira contra oxigênio, que internamente resiste aos crescimentos microbianos e padrões de oxidação (BHARTI *et al.*, 2020). O atum é um peixe marinho com alto poder de peroxidação por possuir importante fonte de gorduras poli-insaturadas e estas são de fácil rancificação, sendo assim, necessário medidas de preservação.

Nesse sentido, espera-se que utilizando a gelatina extraída da pele da tilápia que é um resíduo oriundo da cadeia de processamento na indústria, juntamente com o ácido ferúlico, possa evidenciar como uma nova tecnologia para melhorar a vida útil de filés de atum (*Thunnus albacares*), um pescado nobre, devido seus benefícios nutricionais, sabor agradável e um importante recurso pesqueiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Desenvolver revestimentos comestíveis à base de gelatina incorporando diferentes concentrações de ácido ferúlico como uma substância antioxidante e avaliar a vida útil em filés de atum refrigerados, quanto aos aspectos físico-químicos e microbiológicos.

2.2 Objetivos específicos

- Extrair a gelatina a partir da pele de tilápia do Nilo;
- Realizar caracterização da gelatina obtida;
- Produzir revestimentos à base de gelatina com incorporação do ácido ferúlico;
- Aplicar os revestimentos em filés de atum e analisar sua eficácia na proteção contra oxidação lipídica e agentes microbiológicos;
- Determinar as concentrações de ácido ferúlico necessárias para garantia dos efeitos antioxidantes na conservação do atum;
- Avaliar a ação conjunta da gelatina e ácido ferúlico na manutenção da qualidade de filé de atum;
- Verificar as atividades antimicrobianas das soluções de revestimentos;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gelatina

Entre os hidrocoloides disponíveis para a produção de biopolímeros, a gelatina é a mais popular e utilizada largamente nas indústrias alimentícia e farmacêutica, devido às suas interessantes propriedades funcionais, sendo produzida em grande escala e a preços relativamente baixos. A cobertura de gelatina pode auxiliar na redução da deterioração, ao atuar como barreira ao oxigênio, impedindo a oxidação lipídica (KROCHTA; DEMULDEN-JOHNSON, 1997; TAGRIDA *et al.*, 2022).

A gelatina é um biopolímero sólido, incolor, hidrocoloide gerado a partir da hidrólise do colágeno, com alto valor na área de produção de alimentos (LI *et al.*, 2020). Devido sua característica de ser solúvel em água é utilizada como ingrediente para aumentar a elasticidade, consistência, emulsificantes e clarificantes nos alimentos, sendo um componente chave na indústria alimentícia da culinária moderna, por sua capacidade de gelificação (ISHAQ *et al.*, 2020).

Uma utilização comercial do colágeno é a gelatina, produto obtido pela hidrólise parcial do colágeno derivado da pele, do tecido conjuntivo branco e dos ossos de animais (TALIB *et al.*, 2022).

Segundo Siburian *et al.* (2020) o aquecimento do colágeno causará gradualmente a separação das cadeias, transformando-se em gelatina. No caso da tilápia, quando as proteínas são submetidas a temperaturas superiores à 43°C suas fibras colágenas são desnaturadas. O colágeno e a gelatina apresentam diferentes formas da mesma macromolécula podendo, assim, definir a gelatina como um colágeno desnaturado (RANASINGHE *et al.*, 2020).

A gelatina é comumente extraída de tecidos ricos em colágeno, como a pele de tilápia por exemplo, onde essa extração é hidrotérmica. Quando as matérias-primas são pré-tratadas com soluções ácidas ou alcalinas, a gelatina formada é referida como tipo A ou tipo B, respectivamente (ALIPAL *et al.*, 2021). Gelatina obtida de pele de tilápia normalmente resulta em maior rendimento que a extraída de outros peixes e estes valores podem variar em função da composição centesimal das peles, do conteúdo em colágeno e da quantidade de componentes solúveis presentes nas peles, que, por sua vez, variam com o método de extração empregado e com a idade e espécie do peixe utilizado (TALIB *et al.*, 2022).

O processo de obtenção da gelatina é determinante para suas propriedades. Sabe-se que a qualidade da gelatina depende de suas propriedades físico-químicas, as quais são fortemente influenciadas pela severidade do processo de manufatura, inclusive na mudança de cor do produto (PAN *et al.*, 2020).

A gelatina vem sendo estudada para utilização em filmes comestíveis devido à abundância de sua matéria-prima, baixo custo de produção e disponibilidade global, além de excelentes propriedades de boa formação de filme (LIN-CHEN *et al.*, 2019). Outra fonte interessante de produção de filmes é a gelatina oriunda de resíduos do processamento do pescado. Pois, segundo dados da FAO, os resíduos oriundos do processamento de pescado representam cerca de 70% do total de pescado processado mundialmente e boa parte desses resíduos não são descartados adequadamente, causando impactos ambientais e perdas econômicas, já que poderiam ser aproveitados para a confecção de novos produtos (FAO, 2022).

A gelatina extraída do pescado possui inúmeras aplicações na indústria alimentícia utilizada como estabilizador, não somente por suas propriedades funcionais, mas para aumentar o índice de proteína no produto farmacêutico, como por exemplo, na preparação de vitaminas e no uso culinário. Pereira *et al.* (2023) descreve que com o aproveitamento de resíduos da pele da tilápia pode se obter a gelatina. Esta, tem potencial de ser utilizada em diferentes produtos alimentícios como em pudins, doces, sorvetes, iogurtes e espessante para gelatina de frutas e nas cápsulas de vitaminas, assim como no ramo de cosmético (YAN *et al.*, 2020).

A grande maioria das gelatinas comerciais é derivada de mamíferos, obtidas principalmente de fonte bovina e suína, sendo que a gelatina de peixe pode ser usada como alternativa (USMAN *et al.*, 2022). A substituição da gelatina de mamíferos por uma oriunda de peixes é essencial para uma parcela da população que não se alimenta de produtos derivados de mamíferos por questões culturais, religiosas, ou por doenças relacionadas a bovinos. A gelatina de peixe tem sido considerada uma alternativa para substituir a gelatina de mamíferos (MIRZAPOUR-KOUHDASHT *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que a gelatina extraída dos peixes tropicais - água quente (tilápia, atum, carpa preta), possui uma peculiaridade devido ao fato de que suas gelatinas são muito semelhantes em conteúdo em suas propriedades reológicas e aos aminoácidos da pele de porcos e vacas (DERKACH *et al.*, 2020).

A gelatina extraída de pele de tilápia normalmente resulta em maior

rendimento que a extraída de outros peixes e estes valores podem variar em função da composição centesimal das peles, do conteúdo em colágeno e da quantidade de componentes solúveis presentes nas peles, que, por sua vez, variam com o método de extração empregado e com a idade e espécie do peixe utilizado (VALCARCEL *et al.*, 2021).

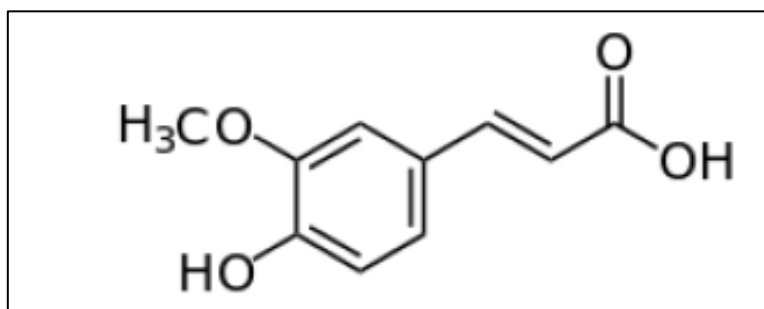
Dentre as espécies de peixes com potencial para fornecer colágeno para produção de gelatina, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) merece especial atenção devida ser a espécie que lidera a produção na piscicultura nacional e, conseqüentemente, liberando grande volume de pele para reutilização, extração e produção de gelatina.

Levando-se em consideração a preocupação com o meio ambiente, torna-se válido ressaltar que a produção de gelatina de pescado mostra-se uma alternativa bastante viável para o uso integral dos resíduos gerados pelo processamento dos mesmos e sua utilização poderia ser destinada a produção de revestimentos comestíveis.

3.2 Ácido ferúlico

O ácido 4-hidroxi-3-metoxicinâmico ou ácido férulico (AF) (FIGURA 1) é um composto fenólico pertencente à classe dos ácidos hidroxicinâmicos. Sendo extraído pela primeira vez em 1866 a partir da planta *Ferula foetida*, responsável pela sua denominação e é formado a partir do metabolismo dos aminoácidos fenilalanina e tirosina da parede celular vegetal. E foi sintetizado quimicamente em 1925 (ZHAO; MOGHADASIAN, 2008). Na natureza é encontrado em vegetais, frutas, algumas bebidas e em algumas ervas medicinais chinesas (YILDIZTUGAY *et al.*, 2019).

Figura 1 - Estrutura química do Ácido Ferúlico.



Fonte: AUTORA (2023).

O AF destaca-se pelo seu potencial antioxidante e esta atividade pode estar atribuída aos seguintes fatores estruturais da molécula: (I) A presença do hidrogênio lábil presente no grupo fenólico, formando um sistema conjugado, que permite a formação de produtos estáveis de menor energia; (II) A existência na cadeia lateral de uma ligação dupla C=C insaturada, concede locais de ataque adicionais para radicais livres e, assim, evita danificar as membranas biológicas; (III) O grupamento carboxílico pode permitir a interação da molécula com a bicamada lipídica atuando como um eliminador de radicais livres devido à sua grande estrutura conjugada e múltiplas ligações insaturadas (SINGH *et al.*, 2021).

Alguns estudos apontam para a eficiência da aplicação de ácidos hidroxicinâmicos, como o ácido ferúlico, com fortes atividades antioxidantes, antibacterianas, antitrombóticas e anticancerígenas e é amplamente utilizado como antioxidante para gorduras nas indústrias alimentícias (AMIC *et al.*, 2020). Possui potencial anti-inflamatório (LIU *et al.*, 2022) e ação anti-fibrose (ALI; SAIFI; PULIVENDALA *et al.*, 2021).

O ácido ferúlico, de estrutura molecular 4-hidroxi-3-metoxicinâmico, pode ser encontrado em plantas da família ranunculaceae, como a *Rhizoma spargani* (LI *et al.*, 2020), estando presente na parede celular de plantas ligado a lignana e polissacarídeos, raramente em seu estado livre. Sua utilização já é comum na área da saúde, onde foi estudado seus efeitos no tratamento de disfunções renais, Alzheimer, síndromes respiratórias, cardiovasculares entre outros (ERSEÇKIN *et al.*, 2022) devido às suas propriedades anti-inflamatórias.

Em relação a sua capacidade antioxidante, estudos afirmam que a presença de diferentes elementos estruturais na molécula contribui para que o ácido ferúlico desempenhe sua função de proteção a rancidez, pois os grupos metoxi e hidroxil possuem capacidade de frear as reações em cadeia provocadas por radicais livres e o grupo carboxílico atua como uma espécie de conector, o qual faz com que o AF se ligue a camada lipídica. Liu *et al.* (2021) confirma essa ação antioxidante, mostrando na sua pesquisa que a adição do AF com gelatina, foi capaz de mitigar a oxidação lipídica no óleo do atum. Tais propriedades podem ser utilizadas para retardar a ocorrência de oxidação do filé de pescado através da degradação dos lipídeos em espécies de peixes pertencentes as famílias clupeidae e scombridae, por exemplo, que apresentam considerável teor de gordura em sua constituição.

Soluções contendo ácido ferúlico foram aplicadas em amostras de camarão

branco do pacífico *Litopenaeus vannamei*, estocado em gelo, com o objetivo de avaliar sua ação na inibição de formação de melanose (NIRMAL; BENJAKUL, 2009). A aplicação desse composto no camarão mostrou-se eficiente na redução da polifenoloxidase, observou-se também uma redução da contagem de bactérias psicrófilas e mesófilas no músculo do camarão. No peixe espada (*Trichiurus lepturus*) o revestimento com AF, aumentou sua vida útil de prateleira (LI *et al.*, 2020). Os autores ainda discorrem sobre o potencial de lipofilicidade da molécula.

Nesse contexto, acredita-se que a junção do ácido ferúlico com esse poder de ação antioxidante e/ou bacteriostática juntamente com a capacidade de umidificação da gelatina extraída de pele da tilápia irá favorecer uma maior vida útil de prateleira nos filés de atum, visto que, essas substâncias podem ser utilizadas como aditivo alimentar.

3.3 Revestimentos e filmes comestíveis

Devido ao processo de deterioração que pode se diferenciar dependendo do tipo de alimento comercializado ou processado, levando em conta sua composição físico-química e características específicas, torna-se necessário desenvolver processos ou novas alternativas, com o objetivo de garantir a manutenção da qualidade do produto. Atualmente a indústria alimentícia procura se adequar a novos padrões de produção, visando sempre aumentar o aproveitamento de subprodutos, reduzindo o desperdício e se adequando a uma aplicação mais sustentável (GALUS *et al.*, 2020).

Os revestimentos biodegradáveis fazem parte desse contexto já que suas propriedades fazem sua aplicação ser mais interessantes que a de filmes plásticos. Além da redução da poluição causada, trabalhos relatam a melhoria na qualidade nutricional dos alimentos embalados. Atuam como barreiras eficazes a gases, umidade, pode diminuir a quantidade de materiais poliméricos sintéticos, preservam as características desejáveis do alimentam e prolongam a vida útil dos produtos (TÓTH; HALÁSZ, 2019). Além disso, os revestimentos comestíveis não causam efeitos graves à saúde, mesmo que se esqueça de removê-los antes de servir os alimentos, uma vez que são desenvolvidos com ingredientes alimentícios ativos.

Outra vantagem é que podem ser obtidos de fontes como plantas, animais ou microrganismos (GALUS *et al.*, 2020). Os revestimentos ainda podem ser utilizados

na indústria farmacêutica na forma de filmes não tóxicos confeccionados como invólucro para medicamentos, com resultados satisfatórios na melhoria da ação do fármaco no local pretendido (MATOS *et al.*, 2020).

Na indústria de processamento de alimentos como pescado, frutas e vegetais os filmes são utilizados como boas propriedades de barreira contra o oxigênio, que resistem ao crescimento microbiano e aos padrões de oxidação (BHARTI *et al.*, 2020). Aumentando assim o seu tempo de prateleira.

3.4 Revestimento e filmes em pescado

Como referido anteriormente o aumento por parte dos consumidores por um estilo de vida mais saudável tem levado a um maior consumo de pescado fresco, desafiando assim empresas e investigadores a encontrar processos de conservação alternativos que permitam prolongar o tempo de prateleira dos alimentos sem a necessidade do uso de aditivos. Os filmes e revestimentos comestíveis têm sido aplicados em alimentos, atuando como uma barreira, podendo assim controlar as trocas gasosas, a taxa respiratória, diminuir as perdas nutritivas, o crescimento microbiano e a oxidação lipídica que é uma das reações químicas responsáveis pela perda de qualidade do atum (JIANG *et al.*, 2019).

O termo revestimento refere-se a uma suspensão ou emulsão aplicada por imersão aspersion na superfície do alimento que após a secagem forma uma fina camada do material usado podem conter ingredientes ativos em sua composição, como: antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes, que são produtos conferindo propriedades funcionais específicas que são benéficas para o produto alimentício (FRATARI *et al.*, 2021).

Esse tema nos últimos anos tem apresentado grande importância para comunidade acadêmica, por suas numerosas vantagens e por ser uma técnica prática e aplicável na indústria alimentícia.

Segundo os autores Embuscado; Huber (2009) e Tavares (2020) o revestimento comestível ideal para aumentar o tempo de prateleira do pescado, deve ter as seguintes características:

- não conter componentes tóxicos e alérgicos;
- fornecer estabilidade estrutural e evitar danos mecânicos durante a manipulação e

transporte do alimento;

- ter uma boa aderência à superfície dos alimentos, fornecendo uma cobertura uniforme;
- controlar a migração de água do alimento;
- fornece a semipermeabilidade para manter o equilíbrio interno dos gases;
- evitar a perda ou absorção de componentes que desestabilizem o aroma, o sabor, a composição nutricional e características organolépticas necessárias para a aceitação do consumidor;
- fornecer estabilidade da superfície bioquímica e microbiana enquanto protege contra a contaminação, a proliferação dos microrganismos, e outros tipos de degradação;
- manter ou melhorar a estética e atributos sensoriais (aparência, sabor etc.) do alimento;
- ter a capacidade de incorporar aditivos desejáveis, antioxidantes e agentes antimicrobianos.
- as suas formulações devem conter substâncias seguras, food-grade e de baixo custo;
- serem facilmente produzidos e economicamente viáveis;
- e a sua tecnologia de produção não deve ser cara;

Diversos têm sido os compostos utilizados no desenvolvimento de revestimentos comestíveis oriundos de diversas fontes naturais, sendo agrupados em polissacarídeos (amidos, éteres de celulose, dextrina, pectina, quitosana etc.), proteínas (proteína de soro, caseína, colágeno, gelatina, zeína etc.) e lipídios (óleos, gorduras, ceras etc.) ou combinação destes (BARBOZA *et al.*, 2022). A funcionalidade e o comportamento dos revestimentos comestíveis dependem, principalmente, das suas propriedades mecânicas, do processo de formação e método de aplicação no alimento.

Vale *et al.* (2020), citam para que revestimento proteja e preserve o peixe, ele deve umedecer sua superfície, espalhar-se uniformemente e aderir à superfície sem sofrer descamação. Nesse contexto, revestimentos/filmes compostos de gelatina e quitosana tem sido amplamente estudado. Podendo apresentar excelentes propriedades físicas e funcionais, incluindo propriedades de barreira, cor, superfície hidrofóbica, térmica, mecânica e antimicrobiana (WANG *et al.*, 2021).

Liu *et al.* (2019) avaliaram revestimento contendo AF e aplicado em peixe espada (*Trichiurus lepturus*) e verificou que o tempo de prateleira foi prolongado de 3 - 5 dias sob refrigeração, o composto apresentou eficácia significativa para as atividades antioxidante e antibactericida no pescado.

Le *et al.* (2020), produziram filmes a partir de escama de peixe carapau (*Trachurus japonicus*) com adição de alguns compostos fenólicos, como ácido ferúlico, ácido gálico e rutina na mitigação do óleo de atum. O filme de gelatina ferúlica exibiu melhor resultado na atividade de eliminação dos radicais livres.

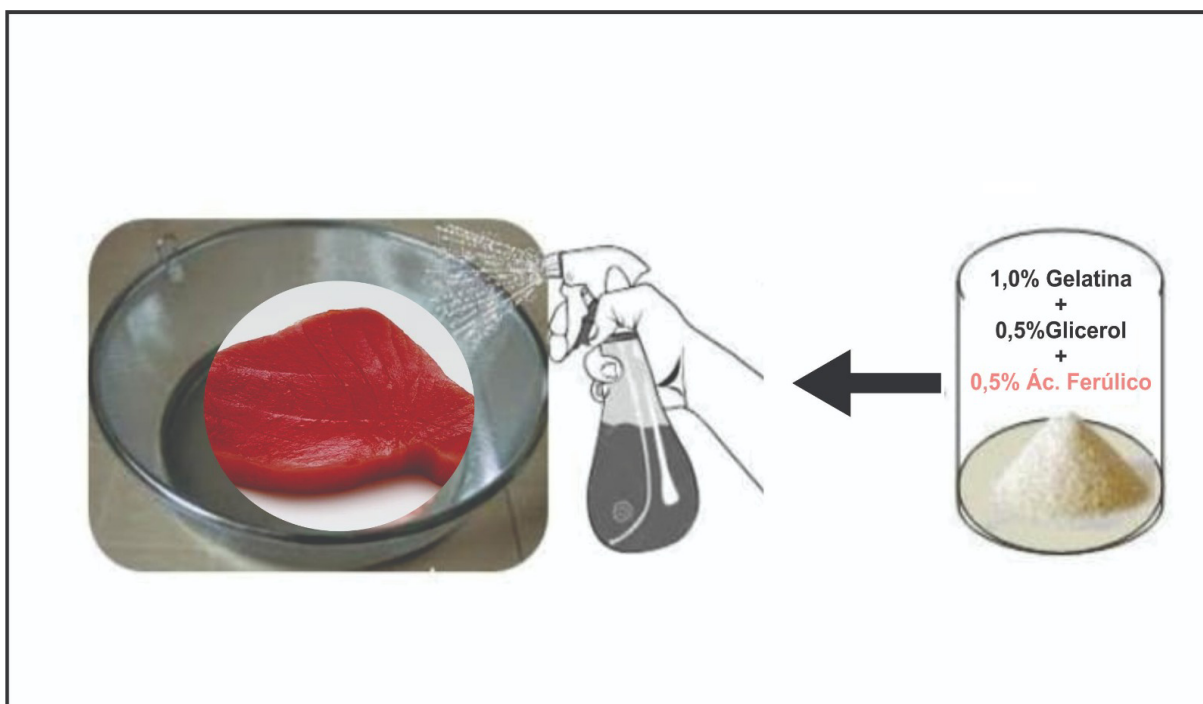
Maia *et al.* (2023) analisaram filés de tilápias (*Oreochromis niloticus*) revestidas com gelatina extraída de pele de tilápia e observou que o revestimento comestível foi eficaz em preservar a composição centesimal de filés da mesma espécie, por isso, seu uso é recomendado. Além de, favorecer o reaproveitamento de resíduos industriais.

No ponto de vista socioambiental utilizar esses compostos de resíduos tem sido estratégias de processamento capazes de maximizar o reaproveitamento de componentes funcionais presentes nos resíduos comestíveis de pescado e os destinar à fabricação de outros produtos, conferindo-lhe valor no âmbito do conceito de economia circular (TAVARES, 2020).

3.4.1 Técnica de aplicação de revestimento

As técnicas possíveis de aplicação são a imersão e a pulverização como exemplificado na (FIGURA 2). Sendo a pulverização bastante utilizada principalmente no âmbito de caráter econômico, visto que, ser uma forma mais barata a respeito da quantidade de revestimento gasto, e a mais viável para implementação nas indústrias alimentícias. Esta também é mais adequada ao comparar ao método de imersão, pois ela técnica evita o desperdício ao aplicar-se no alimento, controla a quantidade a ser aplicada que acaba gerando produção de um produto mais econômico. Além de ser possível sua utilização como nano revestimentos comestíveis em carnes, frutas, vegetais, queijo, nos quais servem como gás e umidade, ou seja, barreiras, prolongado prazo de validade dos produtos fabricados (NILE *et al.*, 2020).

Figura 2 – Ilustração da aplicação do revestimento nos filés de atum (*Thunnus albacares*).



Fonte: AUTORA (2023).

3.4.2 Qualidade do pescado

A denominação “pescado” compreende os peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos e outros animais aquáticos usados na alimentação humana (SANTOS *et al.*, 2023). É um alimento reconhecido por seu elevado valor nutricional, compreendendo proteínas de alto valor biológico, lipídeos contendo teores elevados de ácidos graxos poli-insaturados da família ômega-3, ômega-6, minerais e aminoácidos essenciais (REIS *et al.*, 2022).

A segurança alimentar é uma forma de garantir ao consumidor um produto de qualidade capaz de oferecer os nutrientes ao organismo, mas para isto é necessário tomar decisões e abordar técnicas adequadas para manter a conservação dos alimentos. O pescado é uma fonte rica em proteína, no entanto, é uma carne que apresenta maior perecibilidade quando comparado com outras fontes como a bovina e frango, logo, as tomadas de decisões para garantir a qualidade são primordiais sem causar malefícios a saúde do consumidor.

No ponto de vista nutricional, o pescado é um produto perecível devido há quatro fatores: deterioração auto lítica (enzimas do próprio pescado, que após morte favorece a degradação), oxidativa, pois apresenta uma quantidade elevada de gordura, o teor elevado de água que prevalece o desenvolvimento de micro-organismos (bactérias) e pH próximo da neutralidade (DANTAS FILHO *et al.*, 2020).

Portanto, o gerenciamento para adequação conservação do pescado dever ser tomado desde a captura, no processo, distribuição e comercialização, para garantir um produto de qualidade ao consumidor. A cadeia do frio é uma prática bastante aplicada na manutenção da qualidade do pescado, podendo ser aplicada o resfriamento ou congelamento, contudo a degradação é retardada e mesmo com utilização do frio, o pescado ainda sofre deterioração. SUN *et al.* (2019) afirmam que o congelamento é uma técnica comumente aplicada para a conservação do pescado, entretanto, ainda ocorre degradação microbiana, com isso o pescado sofre com perda da qualidade na estocagem.

Nesse contexto, utilizar outras técnicas em conjunto com o congelamento é uma forma diminuir a degradação do pescado. O revestimento comestível é uma forma de melhorar a qualidade físico-química e microbiologia do pescado resfriado e ou congelado.

3.5 Atum

Atum albacora, *Thunnus albacares*, está entre as espécies marinhas mais capturadas no mundo. De acordo com dados da FAO, foram retirados do ambiente cerca de 1.569 mil toneladas da espécie, correspondendo a 2% do total de capturas marinhas no ano de 2020 (FAO, 2022). A espécie faz parte de um dos quatro grupos que apresentam maiores valores de mercado, junto com cefalópodes, camarões e lagostas. O contínuo aumento das capturas justificado pelo interesse econômico faz com que os estoques naturais da espécie decaiam a cada ano, causando prejuízo ecológico. A média de capturas da albacora saltou de 2.6 milhões de toneladas no começo dos anos 2000 para aproximadamente 3.5 milhões de toneladas em 2018, com previsão de crescimento ano após ano. O *Thunnus albacares* e o *Katsuwonus pelamis* correspondem juntos com 55% do total de capturas de peixes pertencentes a família dos atuns e afins, o que representa uma queda de 3% quando comparado ao ano de 2018 (FAO, 2022).

Dentre suas características podemos citar seu formato fusiforme que lhe confere hidrodinâmica, comum em espécies que realizam migração e conseguem atingir grandes velocidades. Estes peixes, por sua vez, possuem uma predileção por águas quentes, buscando viver em um intervalo de temperatura de 15°C - 31°C, e em uma profundidade, usualmente, de 1 a 100 metros (ARAÚJO; SILVEIRA, 2022). O seu nome vulgar (atum de nadadeira amarela) se refere a coloração específica que apresenta na nadadeira dorsal. Outra importante característica é a sua capacidade de termorregulação através de sistema contracorrente, onde o sangue “quente” é reoxigenado nas brânquias e troca calor com o sangue “frio” que vem das brânquias e vai em direção ao músculo do animal. Essa troca de calor faz com que o peixe consiga deixar estável sua temperatura (CAYRÉ *et al.*, 1993).

É uma espécie amplamente distribuída entre os oceanos Pacífico, Atlântico e Índico, ocorrendo no Brasil próximo ao arquipélago de São Pedro e São Paulo. Possui dieta variada, alimentando-se de crustáceos, cefalópodes e outros peixes como por exemplo a sardinha (*Sardinella brasiliensis*) (ARAÚJO; SILVEIRA, 2022). Essa diversidade na sua alimentação lhe resulta em um músculo nobre com uma gordura de boa qualidade, sendo um pescado bastante apreciado, possuindo assim um alto valor comercial.

O músculo de espécies marinhas, como o *Thunnus albacares*, costuma ter alto teor de lipídeos e ácidos graxos, que pode variar através de fatores como a idade e período reprodutivo do animal, e o tipo de dieta e disponibilidade de alimento (GONÇALVES, 2021). Dependendo da espécie, pode ocorrer concentração elevada de ácido ecosapentanóico (EPA) e docosaexaenoico (DHA), ácidos graxos poli-insaturados, gerando uma maior suscetibilidade a oxidação lipídica, que por sua vez influenciará diretamente na capacidade de manter o tempo de prateleira do produto e nas suas características sensoriais. Além disso, peixes pertencentes as famílias Scombridae, como o atum cavala e bonito, são susceptíveis à formação de histamina, devido à composição da microbiota e aos altos níveis de histidina livre em sua musculatura (RUIZ-CAPILLAS; HERRERO, 2019). A histamina é difícil de ser controlada, mesmo com tratamento térmico, o que pode colocar a saúde do consumidor em risco. Assim, busca-se o desenvolvimento de novos padrões de controle de qualidade do pescado e ferramentas que auxiliem na boa conservação do produto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção do material biológico

As amostras de pele de tilápia foram adquiridas da fazenda BS pescado localizada em Guadalupe-PI e levadas para o Laboratório de Tecnologia do Pescado (LATEPE), integrante do Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará (Campus do Pici, Fortaleza, Ceará). No laboratório, as peles foram lavadas em água corrente para tirar o excesso de resíduos (músculo, escamas e outros fragmentos). Em seguida foram congeladas em temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o processo de extração da gelatina.

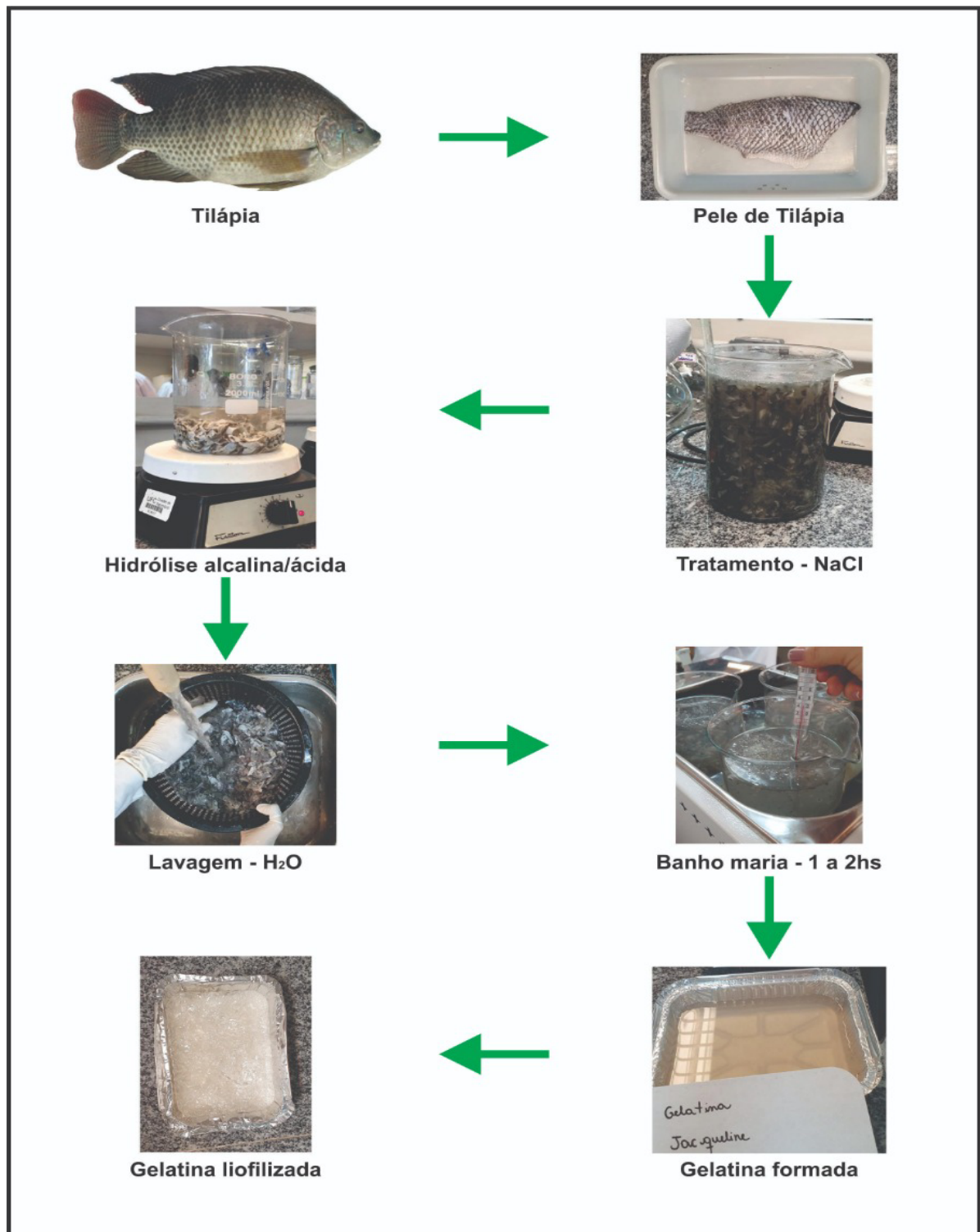
4.2 Processo de extração da gelatina

A extração da gelatina a partir da pele de tilápia, consiste basicamente em 3 etapas (FIGURA 3). A primeira é um pré-tratamento com NaCl 0,5% por 10 minutos após essa imersão, o material permanece em ácido acético 0,2 N por 45 minutos, na sequência é neutralizado usando uma solução de 1M de NaOH ou pela lavagem com água corrente.

O passo da hidrólise ocorre em dois momentos, inicialmente um alcalino utilizando uma solução de 0,2 N de NaOH na proporção de 1:4. O sistema é mantido por 45 minutos em temperatura ambiente. Decorrido esse período a solução é neutralizada com H_2SO_4 1M, e a mistura é filtrada, o precipitado obtido segue para fase seguinte, o tratamento com ácido nas mesmas condições do alcalino (1:4 de solução/45 Min/T ambiente/agitação) com uma solução de 0,2 N de H_2SO_4 . Após o tratamento com ácido a mistura novamente é neutralizada com lavagem em água corrente. O material obtido é utilizado para realizar a extração da gelatina.

A extração é realizada com essa massa adquirida das etapas anteriores sendo pesada e acondicionada em água destilada pré-aquecida à temperatura de 45°C na proporção de 1:3 de água. Realiza-se a extração por cerca de 1-2 horas, em seguida a mistura é filtrada e congelada, por último, será seca pelo processo liofilização. Essa metodologia está de acordo com Souza Filho *et al.* (2012).

Figura 3 - Fluxograma simplificado do procedimento de extração da gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: AUTORA (2023).

4.3 Caracterização da gelatina

As análises para caracterização da gelatina extraída a partir da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi realizada na Embrapa Agroindústria Tropical com o apoio dos seguintes laboratórios: Tecnologia da Biomassa; Embalagens; Processos Agroindustriais; Análises de Alimentos; Química de Produtos Naturais.

4.3.1 Rendimentos produzidos

O rendimento da extração foi calculado a partir do peso seco de gelatina obtida sobre o peso úmido das peles utilizadas de acordo com Alfaro (2008), seguindo a seguinte equação (1):

$$\text{Rendimento de gelatina} = \frac{\text{Peso seco das peles}}{\text{Peso úmido das peles}} \times 100\% \quad (1)$$

4.3.2 Composição química da gelatina

A composição centesimal foi determinada na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). A umidade é um dos principais fatores para os processos microbiológicos, como o desenvolvimento de bactérias. A umidade será realizada em balança de infravermelho.

4.3.3 Força de Gel

A análise de força de gel foi realizada por um Texturômetro (Stable micro system TA-XT2i) que mede o peso necessário para um cilindro de 12,70 mm de diâmetro, penetrar a uma profundidade de 4 mm em um gel de gelatina de 6,67% de concentração, que foi mantido durante 24 horas a uma temperatura de aproximadamente 10 °C, segundo a metodologia descrita em Gelatin Manufacturers Institute of America (GMIA, 2013).

4.3.4 Determinação da Cor

Realizou-se a leitura da coloração utilizando um colorímetro digital (Konica Minolta CR400), utilizando uma escala L^* , a^* , b^* do sistema CIELab, desenvolvido por Hunter (1975). Onde $L^*a^*b^*$ em que L^* varia de preto a branco (0 a 100), a^* varia do verde ao vermelho (-60 a +60) e b^* varia de azul a amarelo (-60 a +60). Segundo Alfaro (2008), as gelatinas comercializadas possuem coloração que varia de um amarelo pálido para um âmbar escuro. Sendo a cor da gelatina um atributo de grande importância comercial.

4.3.5 Análise de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Na análise de DSC, a amostra e o material de referência formam mantidos com mesma temperatura durante o programa térmico, onde a temperatura é controlada rigorosamente. Baseia-se em medir a diferença de energia necessária à amostra e a do material de referência, inerte de modo térmico, enquanto ambos são submetidos a uma variação controlada de temperatura, de tal maneira que a amostra e referência sejam mantidas em condições isotérmicas, uma em relação a outra, independente do evento térmico que esteja ocorrendo na amostra. A análise é realizada utilizando-se um equipamento da TA INSTRUMENT (modelo Q20) sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo constante de $50 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ a partir de 2,1 mg da amostra em pó, com taxa de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, na faixa de temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $400 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.3.6 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise de TGA foi realizada utilizando-se um equipamento da PerKinElmer (modelo STA 6000) sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo constante de $40 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. A partir de aproximadamente 9 mg da amostra em pó, com taxa de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, na faixa de temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a $900 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.3.7 Análise de Espectroscopia no Infravermelho (FTIR)

A análise foi realizada pelo método KBr (a amostra seca e em pó será misturada com brometo de potássio e prensada em pastilhas) ocorrerá no Laboratório de Química de Produtos Naturais da Embrapa Agroindústria tropical em espectrofotômetro de marca Varian (modelo FT-IR) na faixa de comprimento de entre 400 e 4000 cm^{-1} .

4.4 Ângulo contato

Para escolha da concentração de gelatina com glicerol e ácido ferúlico a ser utilizada na solução de revestimento dos filés de pescado de atum (*Thunnus albacares*), foi realizado medidas de ângulo de contato. O ângulo de contato (θ) e a tensão superficial líquido-vapor (YLV) foram medidos por um medidor de ângulo de contato GBX Instrumentation Scientific acoplado a uma câmera Pixelink Nikon com sistema de análise de imagens, operado em atmosfera e a temperatura ambiente. Como mostra na (FIGURA 4). As amostras de revestimento foram colocadas em uma seringa de 500 μL (Hamilton, Estados Unidos) com uma agulha de 0,75 mm de diâmetro seguindo o método da gota séssil (KWOK; NEWMANN, 1999). As medições foram realizadas em menos de 30 segundos. Vinte repetições de medidas de tensão superficial e ângulo de contato foram obtidos a uma temperatura média de 20 $^{\circ}\text{C}$.

Figura 4- Imagem da solução de revestimento no equipamento e revestindo o filé de atum (*Thunnus albacares*).



Fonte: AUTORA (2023).

4.5 Aplicação da gelatina

Essa etapa de preparo e aplicação da gelatina, em forma de revestimento, nos filés de atum e sua posterior avaliação no processo de deterioração foram realizadas no Laboratório de Tecnologia do Pescado (LATEPE) do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

4.5.1 Preparo e aplicação da solução de revestimento a base de gelatina

Foi preparada a solução de revestimento a base de gelatina, na concentração de 1,0% (m/v) (MARTINS, 2015). Essa gelatina foi então dissolvida em água esterilizada sob agitação a uma temperatura de 30 °C por aproximadamente 20 minutos. Após a completa diluição, foi acrescentado uma concentração de 0,5% de glicerol com mais 0,5% de ácido ferúlico. A solução pronta para o revestimento passou por uma capela de fluxo laminar (Pachane modelo Pa40) e submetida à esterilização em Luz ultravioleta por 30 minutos. Os filés de atum utilizados na pesquisa foram adquiridos em uma peixaria localizada no bairro Montese, no município de Fortaleza, Ceará. Os filés foram acondicionados em caixa isotérmica e transportados ao Laboratório de Tecnologia do Pescado (LATEPE) do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Ao chegar no laboratório, os filés foram submetidos à aplicação da solução de revestimento por aspensão. O método de aspensão consiste em aplicar a solução por *spray* em todo o filé de pescado, de forma uniforme. Após aplicação foi feita uma drenagem em uma grelha de aço inoxidável por 1 minuto e em seguida os filés, foram acondicionados em bandejas de plásticos, etiquetados e armazenados em refrigerador (Brastemp Clean Frost Free 350L) a temperatura $3,5\text{ °C} \pm 0,8$ durante 20 dias.

4.5.2 Acompanhamento dos filés revestidos

Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas dos filés revestido a cada 05 dias (T_0 , T_5 , T_{10} , T_{15} e T_{20}) durante esse período de armazenamento os filés foram divididos em dois grupos de acordo com o delineamento experimental aplicado: Controle, sem solução de revestimento, e os

revestidos com o tratamento: Gelatina na concentração de 1% mais 0,5% de glicerol e mais 0,5% Ácido Ferúlico. Essa solução de revestimento escolhida para o experimento foi baseada nos resultados das análises do ângulo de contato, Coeficiente de espalhamento (WS).

4.6 Análise físico-químicas dos filés revestidos com gelatina

4.6.1 Determinação de pH

O potencial hidrogeniônico foi medido com auxílio de pHmetro digital (Kasvi modelo K39-1014B) a partir da homogeneização de 10 g da amostra macerada com 100 mL de água destilada por 30 segundos de acordo com a metodologia citada nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

4.6.2 Determinação de cor por colorimetria

A avaliação da cor foi feita utilizando colorímetro-tec-200 previamente calibrado para fonte iluminadora C65, obtendo-se os parâmetros de L (luminosidade), a (intensidade do vermelho) e b (intensidade do amarelo). As amostras utilizadas nesta análise serão os filés de atum refrigerados nos tratamentos descritos no trabalho.

4.6.3 Bases nitrogenadas voláteis totais (N-BVT)

O nitrogênio base volátil total (N-BVT) foi determinado pelo método de destilação a vapor (Malle & Tao, 1987). Extratos de peixes de amostras de filés de atum foram preparados através da homogeneização de 100 g da amostra com 200 mL de solução aquosa de ácido tricloroacético (TCA, v/v) a 7,5% em um homogeneizador laboratorial em alta velocidade por 1 min. O homogenato preparado foi centrifugado por 5 min a 3.000 rpm, em seguida, o sobrenadante foi filtrado através de papel de filtro Whatman N° 1. Em seguida 25 mL e 5 mL de solução aquosa de NaOH a 10% (p/v) foram adicionados a um tubo de destilação do tipo Kjeldahl. Então foi realizada a destilação a vapor e 40 mL do destilado foram coletados em um béquer contendo 10 mL de solução aquosa de ácido bórico a 4% (v/v) e 0,04 mL de vermelho

de metila e indicador verde de bromocresol. A solução de ácido bórico passará de rosa para verde quando alcalinizada pelo TVBN destilado

Por fim, o destilado coletado foi titulado com solução de ácido sulfúrico (0,1 N) até a completa neutralização e a coloração rosada. Os valores de TVBN foram calculados a partir do volume de ácido sulfúrico (0,1N) utilizado para titulação multiplicado por 16,8 e o resultado é expresso em mg de nitrogênio/100 g de amostra (EQUAÇÃO 2).

$$\text{Valor de } N - BVT = n^1 \times 16,8 \text{ de nitrogênio} \quad (2)$$

Onde:

n = volume de ácido sulfúrico (0,1N)

4.6.4 Determinação do nitrogênio da trimetilamina (N-TMA)

A medida de TMA foi realizada com o mesmo procedimento do TVBN, pelo método de destilação a vapor (MALLE; TAO, 1987). Sendo a única diferença é a adição de 20 mL de formaldeído a 16% (v/v) no tubo de destilação para bloquear tanto as aminas primárias quanto as secundárias e permitindo reagir apenas com as aminas terciárias (EQUAÇÃO 3).

$$\text{Valor de } N - TMA = n^1 \times 16,8 \text{ de nitrogênio} \quad (3)$$

Onde:

n = volume de ácido sulfúrico (0,1N)

4.6.5 Determinação das substâncias reativas ao ácido tiobabitérico (SRATB)

A oxidação do lipídio das amostras foi realizada por medição de substâncias que reagem ao ácido tiobarbitúrico (SRATB) como descrito por Buege e Aust (1978). Em tubos falcon mistura-se 10 g da amostra (filé) maceradas e homogeneizadas com 50 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico a 0,375%, ácido tricloroacético a 15%. Para o branco utiliza-se 3 g de amostra e 3 mL de água destilada. Em seguida os tubos serão acondicionados em banho maria (banho de aquecimento FISATOM 550)

a 90 °C por 10 minutos para o desenvolvimento de uma coloração rosa.

Na sequência, as amostras e o branco serão centrifugados por 20 minutos a 3500 rpm. Retira-se o sobrenadante de cada tubo e em seguida é realizada a leitura em espectrofotômetro digital (INSTRUTHERM modelo UV-2000A) a 532 nm. Para encontrar o valor de SRATB em mg de malonaldeído equivalentes/muscular kg (mg MA eq / muscular kg) utiliza-se a curva padrão a partir de 1,1,3,3- tetraetoxipropano (TEP). A evolução da oxidação da gordura será acompanhada pela alteração da concentração de substâncias reativas com o ácido tiobarbitúrico, que será expressa em malonaldeído (mg MDA/kg).

4.7 Análise microbiológica

A quantificação de bactérias psicotróficas seguiu as recomendações da American Public Health Association (APHA), na sua quarta edição do Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods (DOWNES; ITO, 2001).

4.7.1 Preparo da amostra (músculo)

Foram macerados 25 g de músculo e homogeneizados em 225 mL de solução salina a 0,85% de NaCl, correspondendo à diluição de 10^{-1} . Deste homogenato, foi retirada uma alíquota de 1 mL e diluída em 9 mL de solução salina 0,85%, correspondendo à diluição 10^{-2} , e assim sucessivamente até a diluição 10^{-5} .

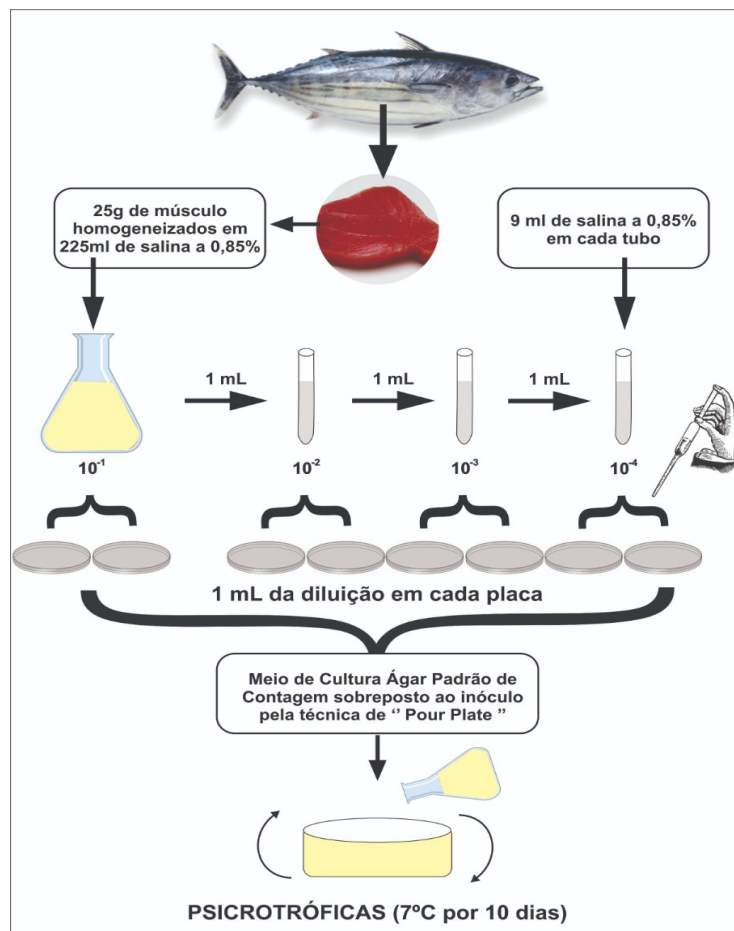
4.7.2 Preparo dos meios e incubação

A técnica utilizada para o preparo das placas foi o de *Pour-plate*. Os tubos de cada diluição, do músculo, foram homogeneizados com auxílio de um agitador de tubos (Vortex modelo QL-901). De cada diluição foi retirada uma alíquota de 1 mL e inoculada em placas de Petri, em duplicata, na qual foram colocados 15 mL de Agar Padrão para Contagem (PCA) pela técnica de *pour plate* (SWANSON, PETRAN, HANLIN, 2001). As placas para contagem de bactérias psicotróficas foram invertidas e incubadas a temperatura de 7°C por 10 dias em estufa de incubação do tipo DBO (QUIMIS modelo Q 315M26).

4.7.3 Determinação do número de unidades formadoras de colônias (UFC)

Após o período de incubação foi feita a leitura das placas com o auxílio de um contador de colônias (PHOENIX modelo CP600). Para o cálculo da Contagem Padrão em Placas (CPP) serão selecionadas placas com crescimento entre 25 e 250 unidades formadoras de colônias (UFC). O resultado da CPP foi calculado pela expressão: UFC x inverso do fator de diluição, sendo UFC/g de músculo (DOWNES; ITO, 2001). Os dados microbiológicos foram transformados em logaritmos do número de unidades formadoras de colônias (UFC/g). E as amostras que não apresentaram placas com crescimento no intervalo estipulado tiveram suas contagens estimadas.

Figura 5- Fluxograma simplificado do preparo das placas, pela técnica de “pour-plate”, do músculo de atum (*Thunnus albacares*).



Fonte: AUTORA (2023).

4.7.4 Bactérias produtoras de histamina (BPH)

A metodologia para a detecção e quantificação das bactérias produtoras de histamina foi realizada segundo Niven, Jeffrey e Corlett (1981) com modificações. A técnica utilizada foi a de semeadura em placa “pour-plate”. Procedeu 100% convencional, cujos valores foram todos expressos em UFC/g de atum. Para o preparo do meio, foram utilizados 0,5% caldo tripitona, 0,5% extrato de levedura, 2% L-histidina 2 HCl, 0,5% de NaCl, 0,1% de CaCO₃, 2,0% Agar e 0,006% do indicador púrpura de bromocresol (pH 5,3). Após completa homogeneização, com o auxílio de um bastão de vidro e micro-ondas, o meio de cultura foi autoclavado por 10 min. Em seguida, foi adicionado 1 mL de cada diluição (10⁻¹ a 10⁻⁵), em placas de petri juntamente com 5 mL do meio anteriormente preparado, todos os tratamentos foram realizados em duplicata. Depois de homogeneizadas, as placas foram incubadas em estufa a 30 °C durante 48 horas.

Passado esse período, a contagem foi realizada para as colônias típicas com coloração roxas e com halo roxo no fundo amarelo. Como também a contagem total das bactérias não típica para formação da histamina e expressas em unidades formadoras de colônias (UFC).

4.7.5 Bactéria - *Escherichia coli*

A determinação da presença de *Escherichia coli* foi seguido a recomendação da legislação atual, baseado na Instrução Normativa nº 60/2019. Para análise retirou-se 1 mL da solução salina 0,85% adicionada dos 25 g de músculo, e inoculou-se em 9 mL de Caldo Lauril Sulfato MUG. Em seguida, foi realizado a diluição seriada em triplicata de 10⁻¹, 10⁻² e 10⁻³, onde foram adicionados também a cada tubo de ensaio, um tubo de Durham, a fim de avaliar a formação ou não de gás. Em seguida os tubos foram para estufa a 35 °C por 48 horas. Após esse período verificou se houve formação de gás nos tubos, e se havia fluorescência azulada. As colônias que apresentam essas características, seriam consideradas para continuidade nos testes de *E. coli*.

Com o auxílio de uma alça bacteriológica, realizou-se o estriamento de placas contendo ágar (meio de cultura) e em seguida foram transferidos para estufa a 35 °C por 24 horas. Passado esse período, foi feita uma seleção de algumas colônias

nas placas que apresentaram crescimento, pescando-as e as estriando em tubos contendo ágar TSA e em seguida retornando novamente para estufa a 35 °C por 24 horas. Com isso, inicia-se o processo para identificação bioquímica de *E. coli*, realizando o teste IMViC. A primeira prova bioquímica realizada foi a de produção de indol, o segundo teste foi o vermelho de metila, e a terceira prova que foi o Voges-Proskauer. Por fim, foi realizado o teste do citrato, onde tubos contendo ágar citrato de Simmons são inoculados a partir das culturas em PCA e incubadas a 35 °C por 96 horas. Os resultados são expressos em NMP/g (número mais provável).

4.7.6 Bactéria – Salmonella

Para isolamento e identificação de bactérias do gênero *Salmonella*, seguiu-se a legislação - Instrução Normativa nº 60/2019. Foram selecionados previamente 25 gramas do pescado, Atum albacora, (*Thunnus albacares*). Após esse primeiro processo, as 25 gramas foram levadas ao liquidificador para serem então adicionadas em 225 mL de caldo lactosado, devendo então ser armazenado por um período de 24 h a uma temperatura de 25 °C.

Logo após o período pré-estabelecido, foi recolhido uma alíquota de 0,1 mL da solução preparada e adicionada em tubos com 0,9 mL de Caldo Rappaport e 1 mL da mesma solução e adicionada em tubos contendo 9 mL de Caldo Tetrionato, ambos foram colocados em Banho Maria a uma temperatura de 45 °C por um período de 24 h, para só então serem inoculados nos meios de isolamento Ágar MacConkey e Ágar Hektoen.

Decorrido as 24 h, realizou-se o plaqueamento e isolamento das amostras de *Salmonella*, foi-se utilizada uma alíquota de 0,2 mL de cada um dos caldos utilizados para o crescimento, Caldo Rappaport e Tetrionato, para realizar a técnica do “*Spread Plate*” (Técnica do Espalhamento) e verificação do gênero em questão.

4.7.7 Bactéria – Staphylococcus aureus

Para identificação e isolamento de *Staphylococcus aureus* foi realizado um *swab* com o auxílio de uma haste flexível no músculo do referido pescado e então colocadas em tubos de ensaio contendo salina a 0,85%, tornando-o a concentração de 10^{-1} , depois uma 10^{-2} , e 10^{-3} . Após a preparação das concentrações, para cada

uma delas foram separadas duas placas esterilizadas contendo Ágar Baird-Parker para inoculação utilizando a técnica do *spread plate* (esfregação).

Decorridas as 48 h, foram realizadas na etapa final, o teste de coagulase e a coloração de Gram. Com isso, para saber se as estirpes isoladas seriam coagulase positiva, assim como sugere a legislação de acordo IN N° 161, de 1° de julho de 2022 (ANVISA, 2022), foi-se realizada a prova de coagulase. Já ao que se diz respeito a coloração de Gram, realizando-se a preparação das lâminas com o esfregação do material obtido, secando bem a lâmina após o processo, recomendando-se que lâmina fique próximo a chama, passando rapidamente pela chama do Bico de Bunsen, para que então elas possam ser emergidas por 1 minuto no cristal violeta, lavando em água corrente para retirar o excesso, mergulhando por 1 minuto no Lugol, depois 30 segundos no Álcool Cetona, lavando mais uma vez em água corrente e mergulhando por 30 segundos em Safranina. Posteriormente observa-se e os resultados e esse são expressos em unidades formadoras de colónias (UFC/g).

4.8 Análise Estatística

Os resultados dos dados obtidos para os dois tratamentos foram realizados utilizando o software Jamovi (R), versão 1.6. Inicialmente foi aplicado o teste Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos valores, enquanto o teste de Levene foi utilizado para averiguar a homogeneidade dos dados. Em seguida, os valores foram submetidos ao teste *t* de *Student* para verificar se há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Extração e caracterização da gelatina

5.1.1 Rendimento de extração

O rendimento do produto é essencial para a eficácia da produção comercial e viabilidade financeira (ZHANG; REGENSTEIN, 2017). O resultado dessa extração foi em média de 16,5%. Onde o peso de gelatina obtida em média foi de 41,374 g a partir de 300 g de pele úmida ($R\% \text{ peso gelatina/peso matéria-prima} \times 100$). BORDIGNON *et al.* (2019) e YUSOF *et al.* (2017) obtiveram valores semelhantes 17%. Outras metodologias de extrações podem ter rendimentos distintos visto a composição da matéria prima bem como à idade dos animais, espécie, método de extração (JONGJAREONRAK *et al.*, 2006; MAIA, 2023). Obtendo assim, um resultado satisfatório.

5.1.2 Composição centesimal

A composição química do produto obtido (gelatina da pele de tilápia) está descrito na Tabela 1, onde foi observado uma umidade de 13,94%, atendendo aos requisitos de gelatina comestível (<15%) (LIAO, 2021).

Tabela 1 - Composição centesimal da gelatina de pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Componentes	Teor na gelatina (pele) %
Proteína	84,5
Lipídeos	1,52
Umidade	13,57
Cinzas	0,38
Total	100,00

Fonte: AUTORA (2023).

Os teores de proteínas encontrado de 94,5% são semelhantes aos resultados (SUKHUNTHA OSIRIPHUN *et al.*, 2022) que foi $96,77 \pm 0,96\%$ de lipídeos $0,63 \pm 0,35\%$ e cinzas $0,60\% \pm 0,18\%$. Santos (2017), obteve os seguintes resultados da gelatina de pele de tilápia: proteína $88,73\% \pm 1,07$, lipídeos $0,56\% \pm 0,18$, umidade de $12,45\% \pm 0,71$ e valores de cinzas não foram obtidos provavelmente pela qualidade da amostra, como é citado no trabalho. Já a gelatina extraída da pele de tambaqui (*Colossoma macropomum*) apresentou umidade $9,43\% \pm 0,06$, lipídeos $1,23 \pm 0,17$, proteínas $85\% \pm 1,10$ e cinzas $2,99\% \pm 0,27$ (MOIA *et al.*, 2021).

Gelatina de pele de atum albacora (*Thunnus albacares*) apresentou umidade $9,97\% \pm 0,8$, cinzas $0,11\% \pm 0,2$, lipídeos $2,86\% \pm 2,9$, proteína $90,60\% \pm 1,13$; tubarão azul (*Prionace glauca*) teve umidade $9,67\% \pm 2,0$, cinzas $1,67\% \pm 1,18$, lipídeos $0,83\% \pm 0,6$, proteína $92,90\% \pm 1,13$; e do alabote da Groenlândia (*Reinhardtius hippoglossoides*) umidade $8,96\% \pm 2,1$, cinzas $0,93\% \pm 1,2$, lipídeos $2,93\% \pm 2,8$, proteína $86,90\% \pm 1,44$ (SOUSA *et al.*, 2017). Segundo os autores, foram pouco detectadas diferenças comparando o sabor e odor com gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*).

5.1.3 Determinação da cor

Para a determinação de cor da gelatina em pó foi utilizado o colorímetro digital (Konica Minolta CR400) parâmetros de L , a , b , onde foi obtido os seguintes valores apresentados abaixo (TABELA 2).

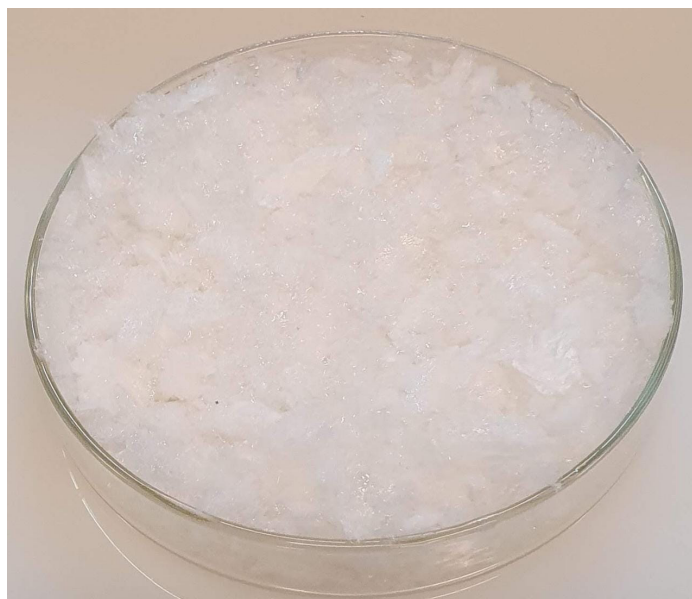
Tabela 2 - Valores de cor nos parâmetros L , a , b para a gelatina de pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Parâmetros de L^* a^* b^*			
	Média	Máxima	Mínima
L^*	$78,208 \pm 1,201$	80,44	74,08
a^*	$0,216 \pm 0,032$	80,44	0,05
b^*	$3,448 \pm 0,153$	80,44	2,75

Fonte: AUTORA (2023).

Diante desses resultados observa-se que a gelatina em pó como observa-se na (FIGURA 6) a gelatina apresentou boa luminosidade, pois a cor encontra-se na faixa do branco. Onde (L) varia do preto ao branco (0 a 100), (a) do verde ao vermelho (-60 a 60) e (b) do verde ao amarelo (-60 a 60).

Figura 6 - Gelatina em pó da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: AUTORA (2023).

Bordigon *et al.*, (2019) analisou os parâmetros de cor da gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*) avaliando os métodos de conservação (congelamento e salga) e obteve os seguintes resultados: $L^* 37,5 \pm 4,05$, $a^* -1,10 \pm 0,56$, $b^* 5,27 \pm 1,60$ para gelatina de pele congelada. $L^* 39,67 \pm 2,25$, $a^* 0,56 \pm 0,63$, $b^* 9,23 \pm 1,47$ para gelatina de pele salgada, os autores discutem que não houve diferença entre os dois métodos.

Para gelatina extraída da pele do bagre africano (*Clarias gariepinus*) revelou índices de $L^* 57,60$ $a^* 0,23$ $b^* 2,66$ apresentando uma coloração levemente amarelada (Alfaro *et al.*, 2014). A cor clara e escura da gelatina pode ser causada por contaminantes orgânicos, proteináceos e mucossubstâncias introduzidas ou não removidas durante sua extração (SURYANTI *et al.*, 2019).

Assim, conclui-se que o valor de transparência obtido na presente pesquisa indica que a gelatina apresentou uma boa pureza, sendo a cor da gelatina um parâmetro muito utilizado de qualidade.

5.1.4 Força de Gel

A força do gel da gelatina extraída foi igual a $215 \text{ g} \pm 9,02$ ou 215° bloom (resistência do gel) com valor máximo de 239g e mínimo 192g. O bloom está relacionado à elasticidade mecânica do gel e é usado para classificar os tipos de gelatina: baixo Bloom, (força de gel $< 120 \text{ g}$); médio Bloom (força de gel entre 120 g e 200 g); e alto Bloom (força de gel $> 200 \text{ g}$) (BORDIGNON, 2010; OLIVEIRA, 2018). Caracterizando a gelatina dessa pesquisa com alta força de gel. Resultado próximo obtido por Bordignon *et al.* (2019) que obtiveram força de gel 200,10 g.

Yang *et al.* (2022) analisaram a força de gel da pele para peixes marinhos e dulcícolas e os valores obtidos da gelatina de peixes de água doce foi superior aos de água salgada (361 ± 1 ; 247 ± 2), (69 ± 1 , 36 ± 2) respectivamente. Já a gelatina de escama de tilápia (*Oreochromis niloticus*) o Bloom foi 461,640 g (MARTINS, *et al.*, 2018).

Os valores de força do gel da maioria das gelatinas aquáticas estão na faixa de 100 e 300 g, sendo um parâmetro importante para caracterizar a gelatina e determinar sua aplicação (LIN *et al.*, 2017). Observa-se que a gelatina obtida de pele de tilápia tem grande potencial de comércio para indústria (FIGURA 7).

Figura 7- Gelatina de pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: AUTORA (2023).

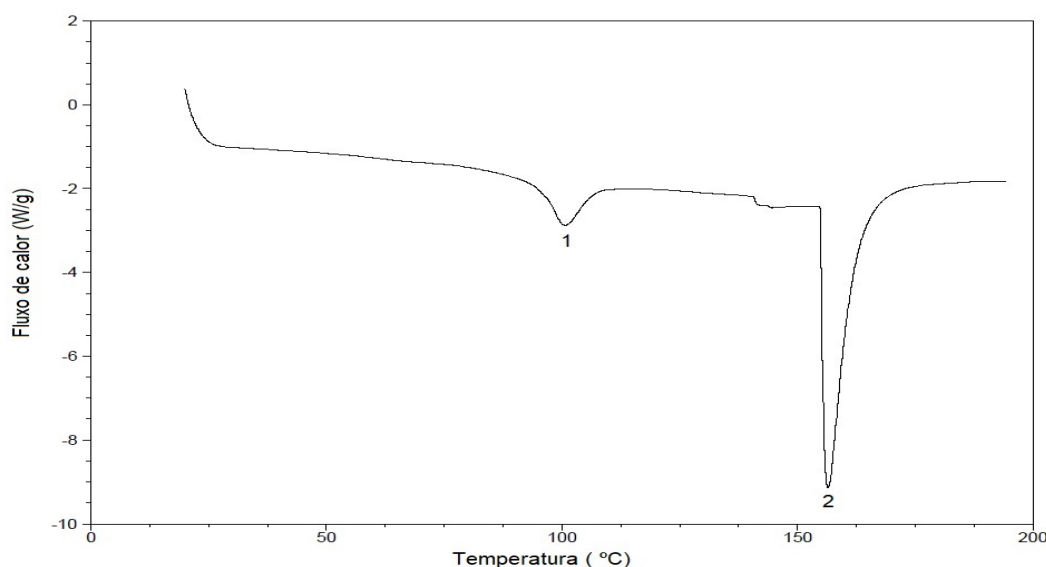
5.1.5 Análise de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

A análise DSC tem sido utilizada para estudar o comportamento térmico da gelatina (Derkach *et al.*, 2019). Ela nos fornece detalhes sobre a temperatura associadas à transição de fase quando a gelatina é aquecida.

Na pesquisa a análise de calorimetria diferencial de varredura foi realizada até a temperatura de 200°C (GRÁFICO 1) indica que, só ocorrem eventos até a faixa de aproximadamente 165°C onde foi observado o maior pico endotérmico. Foram observados 2 picos endotérmicos, aproximadamente a 100°C (1) e 165°C (2), respectivamente. O primeiro pico pode estar associado a perda de água da gelatina e ou a perda de umidade remanescente do processo de secagem. O segundo e maior pico estar relacionado possivelmente a desnaturação da gelatina com a perda de aminoácidos, pois a degradação da gelatina inicia-se em torno dessa temperatura.

O gráfico de DSC indica que a gelatina apresenta uma boa estabilidade térmica, em uma temperatura inferior a 200 °C (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 - Análise de calorimetria diferencial de varredura realizada até a temperatura de 200°C da gelatina em pó da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: AUTORA (2023).

Santos *et al.* (2018) analisando filmes de gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e carpa comum (*Cyprinus carpio*) mostram um primeiro pico a 90°C, para os autores esse pico é devido aos resíduos, enquanto a temperatura de

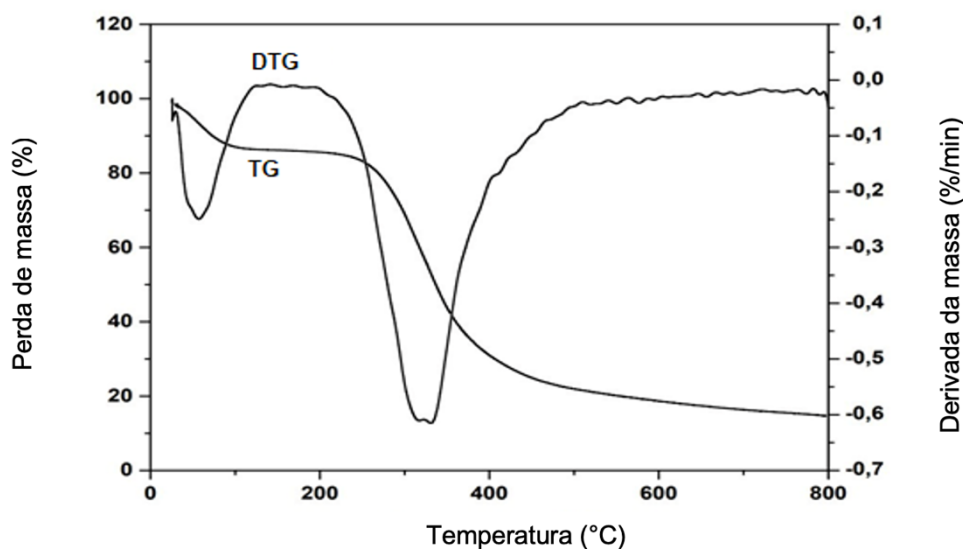
fusão dos filmes foi de 168°C e 149°C respectivamente.

Para gelatina de pele de bacalhau o primeiro pico foi de 63,7°C e o segundo de 98,7°C esse trabalho avaliou a interferência do pH na extração da gelatina e observou-se que este causa uma diminuição dos valores de fusão na temperatura (DERKACH *et al.*, 2019).

5.1.6 Análise Termogravimétrica (TGA)

As curvas termogravimétricas (TGA) e derivada (DTG) da gelatina estão apresentadas no Gráfico 2. Observa-se a ocorrência de dois eventos. O primeiro na faixa de temperatura de aproximadamente 55 - 65 °C e o segundo, na faixa de temperatura 300 - 350 °C.

Gráfico 2 - Análise termogravimétrica da gelatina em pó de pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: AUTORA (2023).

Segundo Aghahosseini (2013) e Caldato *et al.* (2019) a primeira etapa de perda de massa é devido à perda de umidade e a segunda etapa envolve a decomposição das proteínas, reações de eliminação de água e grupos acetato. Para CORREIA *et al.* (2013) a perda de massa até 200 °C pode ser atribuída a perda de diferentes tipos de água associados à gelatina, como a água associada ao interior da tripla hélice, água ligada à superfície da tripla hélice, por ligações de hidrogênio, e a

água situada entre as camadas de proteínas.

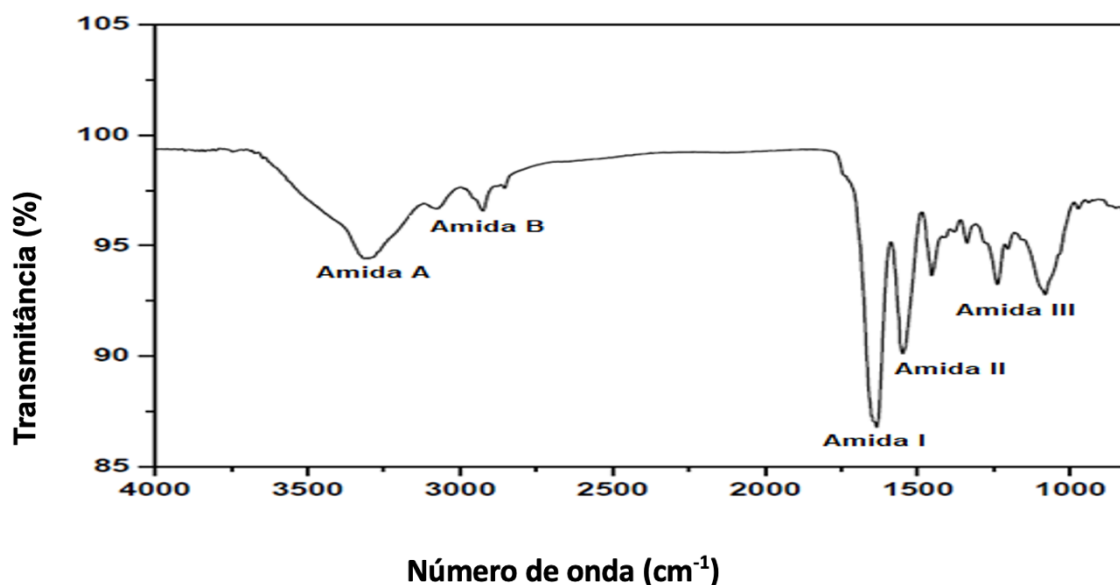
A partir dos dados das curvas de degradação térmica (GRÁFICO 2) foram determinados os resíduos finais das amostras na temperatura de 800 °C e de acordo com o respectivo gráfico de TGA este, indica que a gelatina apresenta uma boa estabilidade térmica a temperaturas inferiores a 200 °C. Sendo um parâmetro importante para aplicação do biopolímero.

5.1.7 Análise Espectroscopia no Infravermelho (FTIR)

A interpretação da análise por FTIR da gelatina nos possibilita entender o comportamento da sua composição química e seus aspectos vibracionais e é umas das técnicas experimentais mais usadas para caracterização estrutural das proteínas, péptidos e, também caracterizar suas interações com as membranas lipídicas (TATULIAN, 2019).

No Gráfico 3 Os principais picos são associados a amida A, amida B, amida I, amida II e amida III, resultados semelhantes aos espectros da gelatina de tilápia obtida por (BI *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2020).

Gráfico 3 – Espectros vibracionais no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) da gelatina extraída a partir da pele de tilapia do Nilo (*O. niloticus*).



Fonte: AUTORA (2023).

A amida A apresentou uma banda larga com pico entre a faixa 3279 cm^{-1} associada a vibração do estiramento N-H juntamente com ligações de hidrogênio (O-H). A banda da amida B foi observada com um pico em 3073 cm^{-1} e atribuída ao estiramento assimétrico da ligação $=\text{C-H}$ e $-\text{NH}_3$ (NAGARAJAN *et al.*, 2012; QUARESMA, 2021).

No presente estudo, a banda da amida I apresentou pico em 1631 cm^{-1} relacionada ao estiramento C=O , que ocorre na faixa de 1600 a 1700 cm^{-1} banda da amida II com pico em 1528 cm^{-1} e associada as vibrações do estiramento C-N e deformação angular (flexão) do grupo, que se pode dever à vibração de estiramento da ligação C-N em amidas primárias N-H (BARTH; ZSCHERP, 2002; FIGUEIREDO, 2022). A banda da amida III com pico em 1013 cm^{-1} e associada ao estiramento C-N e deformação N-H das ligações amida, e alongamento C-N, bem como as vibrações dos grupos CH_2 (ALI *et al.*, 2018).

5.2 Ângulo de contato

A molhabilidade (coeficiente de espalhamento - WS) mostrou ser um bom método para a otimização de revestimentos à base de biopolímeros em filés de pescado (Alcântara *et al.*, 2019). Filmes e revestimentos formados usando fontes de gelatina como biopolímero primário são mais desejáveis de produzir, pois possui boa transparência, são de baixo custo e facilmente disponíveis (MOLÍNARO *et al.*, 2015; ALCÂNTARA *et al.*, 2022).

Os resultados do coeficiente de espalhamento (Ws) obtidos para diferentes concentrações de gelatina com glicerol e ácido ferúlico estão descritos conforme na tabela 3. A partir desses resultados foi feita a escolha das concentrações de gelatina, glicerol e ácido ferúlico para uso de revestimento de filé de atum. Foi utilizado o valor de Ws mais próximos de zero, a concentração de gelatina 1,0% com glicerol e ácido ferúlico 0,50% (-2,698).

Tabela 3 - Valores de coeficiente de espalhamento (*Ws*) para diferentes concentrações de gelatina, glicerol e ácido ferúlico

Coeficiente espalhamento	Gelatina (%)	Glicerol/ Ác. Ferúlico 0,25%	Glicerol / Ác. Ferúlico 0,50%
WS	1,0	-2,785 ± 2,65 ^{ab}	-2,698 ± 3,41 ^b
WS	1,5	-3,914 ± 1,51 ^a	-4,249 ± 2,82 ^a
WS	2,0	-10,985 ± 3,72 ^b	-11,585 ± 2,90 ^c

Fonte: AUTORA (2023).

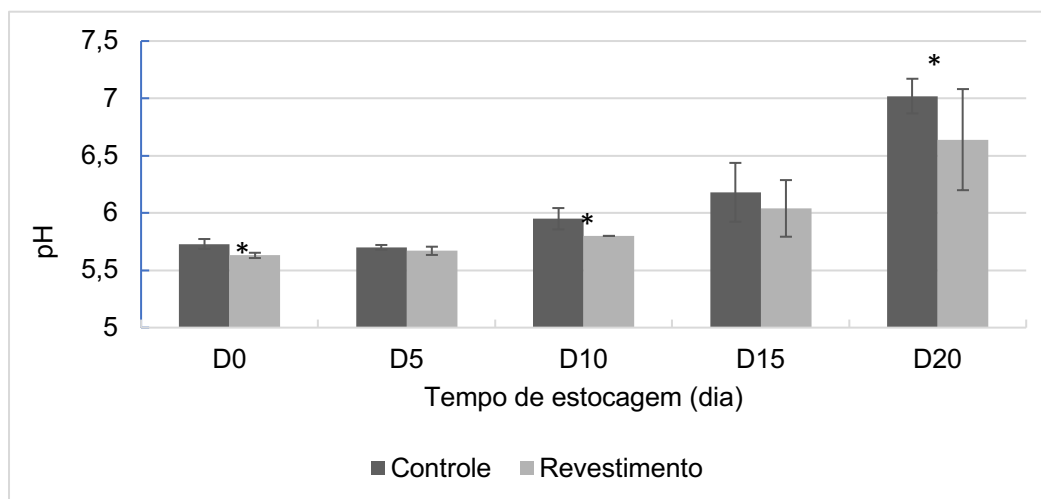
5.3 Avaliação dos filés revestidos - análises físico-químicas

5.3.1 Determinação do pH

Os valores de pH foram semelhantes ao decorrer do tempo de 10 dias de armazenamento, e teve uma elevação dos valores entre o dia 15 dia e o dia 20 (GRÁFICO 4). No dia 0, o pH da amostra controle foi $5,730 \pm 0,043$, e da amostra tratamento foi de $5,630 \pm 0,023$. A partir do dia 15 o pH obteve um aumento nos valores da amostra controle ($6,180 \pm 0,257$) e da amostra tratamento ($6,040 \pm 0,247$). No último dia de armazenamento (dia 20) a amostra controle apresentou pH acima de 7,0 ($7,020 \pm 1,510$) e a amostra tratamento ainda foi menor que 7,0 ($6,64 \pm 0,441$). Contudo, o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) estabelece limites máximos de pH de 6,5 para parte interna do pescado fresco (BRASIL, 1997) (GRÁFICO 4).

No dia inicial pesquisa (D0), com 10 dias de experimento (D10) e no dia final (D0) houve diferença significativa nos valores de pH entre os tratamentos apresentando os seguintes valores: no grupo controle ($5,730 \pm 0,043$; $5,950 \pm 0,093$; $7,020 \pm 0,151$) respectivamente. Enquanto, a amostra com revestimento foi de ($5,630 \pm 0,023$; $5,800 \pm 0,000$; $6,64 \pm 0,441$) respectivamente (GRÁFICO 4). Essa elevação no pH é devido a autólise e enzimas proteolíticas endógenas ao pescado que são capazes de degradar as proteínas em aminoácidos para expor o grupo amina (NH_2), levando o aumento do pH (HAO *et al.*, 2022).

Gráfico 4 - Análise gráfica do comportamento das médias de pH durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%).



Fonte: AUTORA (2023).

* Indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste t de Student, considerando $\alpha = 0,05$.

Observa-se que o grupo com revestimento teve uma menor elevação do pH com relação ao grupo controle durante o período de armazenamento, mostrando que o revestimento (gelatina na concentração 1%, glicerol e ácido ferúlico na concentração 0,5%), foi eficiente no controle do pH. Visto que, no vigésimo dia, o grupo controle teve valores acima de 7,0 ($7,020 \pm 0,151$). De acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2017), os valores do pH que estão acima de 7,0 ($7,020 \pm 0,151$), são impróprios para o consumo.

Em filés de camarão (*Litopenaeus vannamei*) revestidos com solução de polissacarídeo sulfatado da alga marinha vermelha (*Gracilaria birdiae*) a variação do pH foi de 6,14 a 6,55. Tal fato enfatiza que a utilização de revestimentos comestíveis a base de polissacarídeos tende a aumentar a vida de prateleira de pescados (VIEIRA, 2019). O mesmo aconteceu com postas de serras (*Scomberomorus brasiliensis*) revestido com quitosana (VALE, 2017).

5.3.2 Determinação de cor por colorimetria

A cor é a primeira sensação que o consumidor percebe e utiliza como uma ferramenta para aceitar ou rejeitar um alimento influenciando também na sua decisão de compra (QUEVEDO *et al.*, 2013; HUAMÁN *et al.*, 2019).

Na presente pesquisa a cor dos filés de atum do grupo controle e do grupo com revestimento não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos como se observa na Tabela 4 que teve como média os valores de Luminosidade (L*) varia de 0 (preto) a 100 (branco) o grupo controle ($36,34 \pm 1,66$) e o grupo com revestimento ($36,52 \pm 2,63$) ambos com tendência a cor escura, mantendo essa característica da carne do filé de atum.

A intensidade de vermelho (a*) varia de -60 (verde) a +60 (vermelho) teve como média o grupo controle ($5,21 \pm 1,71$) e o grupo com revestimento ($4,78 \pm 1,29$) tendendo ao vermelho. A intensidade de amarelo (b*) varia de -60 (azul) a +60 (amarelo) teve como média o grupo controle ($5,49 \pm 1,04$) e o grupo com revestimento ($4,93 \pm 0,93$) observa que teve uma tendência ao amarelo, demonstrando que ocorreu oxidação do pigmento mioglobina, porém, não significativa.

Tabela 4 - Valores (média \pm desvio padrão) de cor em filés de atum (*Thunnus albacares*). Amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento adicionado de gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*) mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%.

Amostras	Parâmetros de cor			
	L*	a*	b*	p-valor
Controle	$36,34 \pm 1,66$	$5,21 \pm 1,71$	$5,49 \pm 1,04$	ns
Revestimento	$36,52 \pm 2,63$	$4,78 \pm 1,29$	$4,93 \pm 0,93$	ns

Fonte: AUTORA (2023).

ns – indica que não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Vala *et al.* (2017) avaliou filés de atum (*Thunnus albacare*) revestidos com gelatina de pele de atum (*Thunnus albacare*) com *Codium ssp* e com revestimentos de extratos com algas marinhas durante 12 dias em uma temperatura de 4°C e

nenhuma diferença significativa foi obtida durante o armazenamento entre as amostras.

Altemio *et al.* (2022) avaliaram os parâmetros de cor (L^* , a^* , b) em filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) refrigerados (-1°C a 4°C) durante um período de 21 de armazenamento e observaram que a cor não teve muita variação no decorrer do tempo de avaliação.

5.3.3 Bases nitrogenadas voláteis totais (N-BVT)

Nitrogênio das Bases Voláteis Totais (N-BVT) é um dos métodos utilizados mundialmente para avaliar a qualidade do pescado. Pois, durante o processo de decomposição há produção de uma ampla gama de metabólitos e a maioria deles são compostos nitrogenados, sendo os mais frequentes a trimetilamina, a dimetilamina, amônia e ácidos voláteis, quantificados analiticamente através da determinação das Bases Nitrogenadas Voláteis Totais, (BNVT), que aumenta em função da deterioração do produto (ZHANG *et al.*, 2019).

Oficialmente, a legislação brasileira indica parâmetros específicos para comercialização de pescado fresco, e aptos para o consumo, através de limites pré-determinados para as N-BVT, conforme especificado no Regulamento de Inspeção Industrial de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2020). Que determina no Decreto nº 10.468/2020, o limite das N-BVT sendo de $30\text{ mg de N.}100\text{g}^{-1}$ para todas as espécies de pescado comercializadas como frescas.

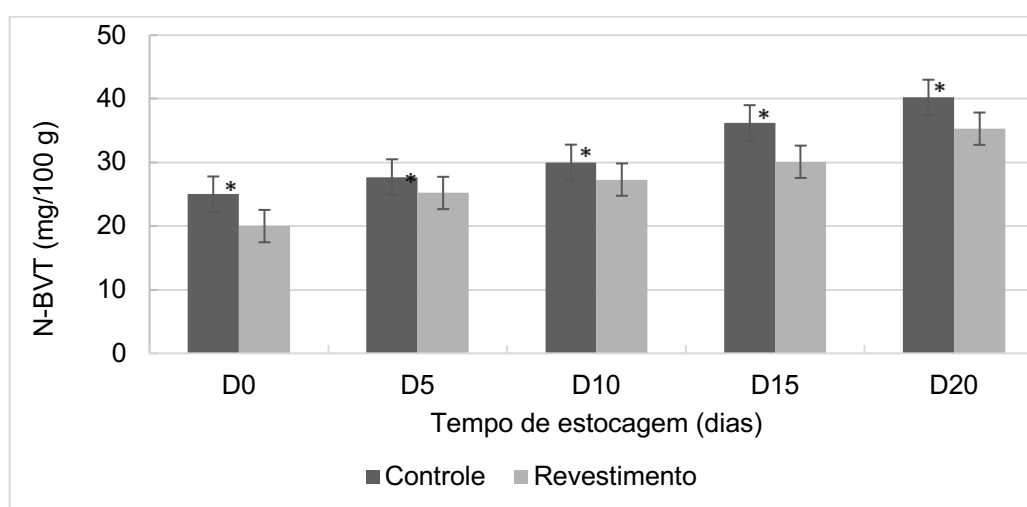
No presente estudo os valores encontrados de BVT-N em todas as amostras (controle e com revestimento) mostraram diferenças significativas no decorrer do experimento, no dia inicial a amostra controle apresentou valor $25,00 \pm 1,56\text{ mg BVT-N}/100\text{g}$ e a amostra com revestimento $20,00 \pm 2,09\text{ BVT-N}/100\text{g}$, considerando valores altos para dados iniciais da pesquisa.

No quinto dia, houve um aumento significativo nas concentrações de N-BVT entre os tratamentos e os valores da amostra com revestimento ($25,20 \pm 2,20\text{ BVT-N}/100\text{g}$) que apresentou dados menores de BVT-N em relação a amostra controle ($27,70 \pm 4,11\text{ BVT-N}/100\text{g}$). A partir do dia 10, a amostra controle atingiu o valor máximo permitido com resultado de $30,00 \pm 0,58\text{ BVT-N}/100\text{g}$, enquanto a amostra com revestimento obteve-se valor de $27,30 \pm 0,94\text{ BVT-N}/100\text{g}$.

Observa-se no gráfico 5, a partir do dia 15, a amostra com revestimento

atingiu o limite permitido pela legislação com valores de $30,01 \pm 2,48$ BVT-N/100g, mostrando que o revestimento proporcionou um efeito benéfico até esse momento. No último dia de armazenamento (dia 20) o resultado da análise de ambas as amostras mostrou o pescado não apto para o consumo.\

Gráfico 5 – Análise gráfica do comportamento das médias do conteúdo de bases voláteis totais nitrogenados (N-BVT) durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%).



Fonte: AUTORA (2023).

* indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste t de Student, considerando $\alpha = 0,05$.

Barcellos (2019) avaliou filé de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) revestidos com hidrolisado proteico de gelatina de peixe e não observou diferenças significativas nesse parâmetro, embora tenha ocorrido um acréscimo. Prabhakar *et al.*, (2019) avaliaram o teor de N-BVT em filés rohu (*Labeo rohita*) armazenado sob condições limitadas de refrigeração (5 e 0°C) e congelado (-5°C) por 42 dias. E obtiveram valor inicial peixe fresco: $4,57 \pm 0,321$ mg/ 100g. A concentração de TVB-N após o 42º dia de armazenamento a 5, 0 e -5°C foi de $46,56 \pm 0,994$, $28,69 \pm 0,231$ e $10,09 \pm 0,115$ mg/100g, respectivamente. Os autores concluem que a temperatura influencia no processo de formação dessas bases, visto que, nos filés a 5°C ocorreu à maior ação enzimática, microbiana e de autólise.

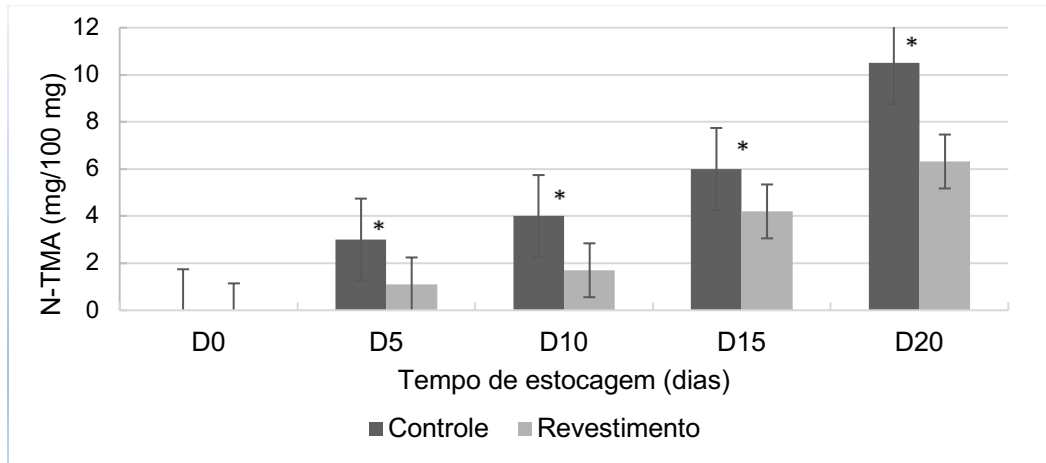
5.3.4 Nitrogênio da trimetilamina (N-TMA)

O N-TMA também é considerado um índice bioquímico para avaliar a qualidade e prazo de validade de peixes e mariscos (PRABHAKAR *et al.*, 2019). É uma amina terciária, proveniente principalmente do óxido de trimetilamina (OTMA) que é um composto presente de forma abundante em peixes marinhos. E devido a ação bacteriana e de enzimas endógenas, esse composto é reduzido em trimetilamina, corroborando com a degradação proteica, consequentemente aumentando a produção das bases voláteis e provocando a formação de mal odor (MACHADO *et al.*, 2022).

Segundo Rezende-de-Souza & Savay-Silva (2021), o acúmulo de TMA (trimetilamina) e DMA (dimetilamina), gerados nesse processo de pós-rigor *mortis*, agem como alguns dos principais responsáveis pelo odor desagradável do pescado no final de sua vida de prateleira. Nesse contexto, a Legislação Brasileira, Regulamento de Inspeção Industrial de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2017), estabelece valores máximo para o nitrogênio da trimetilamina de 4 mg de N/100g do músculo do pescado.

De acordo com o Gráfico 6, pode-se observar os dados de N-TMA, obtidos nesse estudo. No dia 0, não se obteve nenhum valor para ambas as amostras o que pode indicar o frescor dos filés de atum nesse momento inicial da pesquisa, pois, mesmo estando presente em peixes marinhos o OTMA, inicialmente possui a função no peixe vivo de promover o equilíbrio osmótico do tecido perante o meio hipertônico, agente detoxificante e estabilizante de proteínas, sendo insignificantes os valores de TMA (REZENDE-DE-SOUZA & SAVAY-SILVA 2021).

Gráfico 6 - Análise gráfica do comportamento das médias do conteúdo do nitrogênio da trimetilamina (N-TMA) durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%).



Fonte: Autor, (2023).

* indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste t de Student, considerando $\alpha = 0,05$.

A partir do dia 5 ocorreu o aparecimento do N-TMA em ambas as amostras, o controle com valores de $3,00 \pm 1,74$ mg N/ 100 g do músculo do N-TMA e $1,1 \pm 1,25$ mg N/ 100 g para o revestimento. No dia 10 o controle atingiu o valor $4,00 \pm 1,19$ mg N/ 100 g, enquanto o grupo com revestimento o valor máximo aceitável foi até o dia 15, mostrando seu efeito positivo com shelf life superior, comparado com o grupo controle, sendo um dado importante no estudo. No dia 20, as análises mostram diferenças significativa entre os tratamentos, embora tenha ultrapassado o limite aceitável pela legislação.

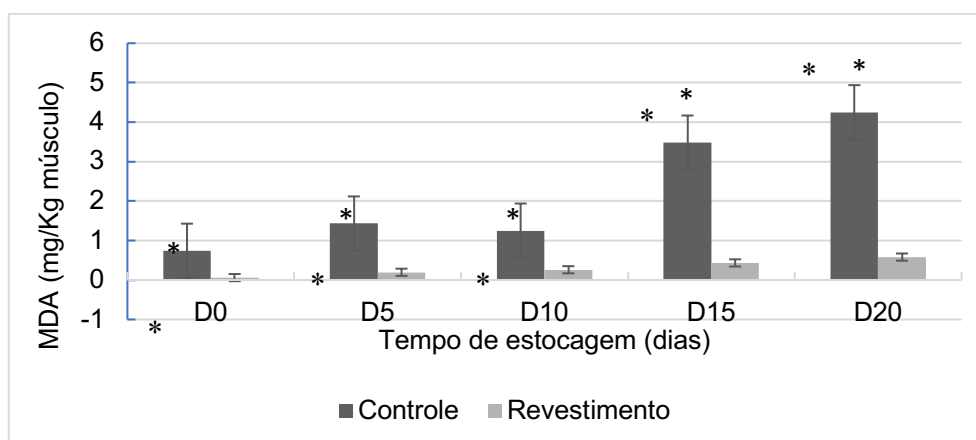
Alparslan *et al.*, (2019) avaliaram camarão (*Parapenaeus longirostris*) revestido com gelatina e gelatina combinado com óleo essencial de casca de laranja (C, GF, GF + OE) e ultrapassaram o valor limite aceitável de TMA-N nos dias 7, 12 e 15 do armazenamento, respectivamente. Khemir *et al.*, (2020) estudou filés de dourada (*Sparus aurata*) embalados a vácuo usando revestidos com quitosana, o controle ultrapassou o valor limite aceitável no 7º dia, enquanto os filés com o revestimento até o final do experimento estavam em níveis aceitáveis.

5.3.5 Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico

A oxidação de lipídios é um grande problema que afeta a qualidade dos alimentos, principalmente pelo aparecimento de produtos de oxidação com odor rançoso (GOUJOTÝ *et al.*, 2019). O valor do ácido tiobarbitúrico (TBA) tem sido amplamente utilizado para calcular o grau de oxidação lipídica e a presença de substâncias reativas ao TBA, é devido ao segundo estágio da auto-oxidação durante o qual os peróxidos são oxidados a aldeído e cetona (LIU *et al.*, 2021). O malonaldeído (MDA) é um dos aldeídos gerados nesse processo de oxidação lipídica no pescado, sendo um dos compostos que reage com TBA possibilitando a verificação oxidativa na análise.

No presente estudo de acordo com o Gráfico 7 observa-se o efeito antioxidante do ácido ferúlico, desde o dia zero, pois houve diferença significativa na primeira análise do experimento, mesmos com valores de MDA baixos. No quinto dia, o valor de TBA da amostra controle é sete vezes maior comparando com a amostra de filés revestidos com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%. Citado por Wang *et al.*, (2021) como um dos ácidos fenólicos que possuem potentes atividades antimicrobianas e antioxidantes.

Gráfico 7 - Análise gráfica do comportamento das médias das substâncias reativas ao ácido tiobabitúrico (TBA) durante o período de armazenamento entre os tratamentos, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%).



Fonte: AUTORA (2023).

* Indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste t de Student, considerando $\alpha = 0,05$.

No dia 10, os valores de MDA para amostra controle foi 1,25 mg de MDA/kg do pescado, enquanto a com revestimento foi de 0,26 mg de MDA/kg do pescado. Nos dias 15 e 20, os valores de MDA para amostra controle mais que triplicou comparado com as análises anteriores, atingindo um pico de 4,25 mg de MDA. Contudo, as amostras com revestimentos nesses dias respectivos tiveram pouca variação, obtendo um valor máximo de 0,581 mg de MDA/kg do pescado. Segundo Al-kahtani *et al.*, (1996), alimentos com produção de malonaldeído acima de 3 mg/kg são impróprios para o consumo. Embora, a legislação atual não estabeleça limites MDA/kg do pescado.

No entanto, pesquisas mostram que esses produtos da oxidação secundária, são considerados tóxicos, possuem efeitos adversos à saúde devido aos seus efeitos citotóxicos e genotóxicos em humanos (LEMOS *et al* 2020; YERRAMATHI *et al* 2021). Logo, a necessidade de utilizar revestimentos com propriedades antioxidantes, sendo o ácido ferúlico uma excelente substância, como mostrado no atual estudo.

Segundo Liu *et al.*, (2021) essa atividade antioxidante e antibactericida nos filmes de revestimento, podem ser causadas por três grupo hidroxila fenólico em sua molécula, os autores ainda ressalva que o grupo metoxi tem efeito conservante positivo no camarão (*Litopenaeus vannamei*). Ordonez *et al.*, (2021) observaram que filmes de amido ativo com ácido ferúlico ou cinâmico podem ser usadas como camadas ativas e montagens multicamadas, e em contato com alimentos conferiram atividade antibacteriana, também enfatizam que o ácido ferúlico junto com o amido não afetou a redução do coeficiente de espalhamento (WS), podendo ser atribuído ao grupo fenólico no anel aromático que também favorece as interações da água com o composto fenólico ligado em cadeia. Mostrando seu efeito positivo com a junção de um umidificante, e assim obtém-se uma ótima característica como material para produção de filmes e revestimentos.

Xeu *et al.*, (2023) afirma que é o ácido ferúlico é um antioxidante multipotente, altamente eficaz na eliminação de radicais livres. O que se confirma no presente estudo, pois o revestimento na concentração de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5% mostraram-se bastante efetivo contra a oxidação lipídica em filés de atum refrigerados durante todo o período de armazenamento. Portanto, evidenciando ser um excelente material para revestimento comestível em pescado.

5.4 Avaliação dos filés revestidos - análises microbiológicas

Na presente pesquisa foi realizada análise microbiológica das bactérias que a legislação vigente RDC nº 161/2022 cita como parâmetros de avaliação da qualidade do pescado dentre elas: *Bactéria - Escherichia coli*, *Salmonella*, *Estafilococos auerus*, também foram avaliadas as bactérias produtoras de histamina, visto que, no trabalho foi estudado o pescado atum (*Thunnus albacares*), pertencente à família Scomberesocidae, que apresentam histidina livres, e caso se o acondicionamento não for adequado essa histidina pode ser convertida em histamina. Esta, pode trazer grandes riscos à saúde pública. As bactérias piscotróficas também foram analisadas no decorrer do experimento.

5.4.1 *Escherichia coli*

A *Escherichia coli* pertence ao grupo do coliformes termotolerantes e essa bactéria é um indicativo de contaminação fecal, pois é originária da microbiota intestinal de animais de sangue quente e do homem (TELLES, 2018).

No presente estudo, os resultados obtidos na contagem de coliformes termotolerantes foram no dia 0 para o controle 9,2 NMP/g e de 43 NMP/g para o tratamento. E no dia 20 para o controle 23 NMP/g e de 23 NMP/g para o tratamento (TABELA 5). Observa-se que os valores encontrados estão dentro dos níveis permitidos na legislação (50 NMP/g).

Barcellos, (2019) avaliou filés de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) resfriados e embalados a vácuo, revestidos com hidrolisado proteico de gelatina comercial de peixe e constatou que teve um potencial antioxidante e com relação a análise microbiológica não se encontrou a bactéria *Escherichia coli*, no entanto, o autor cita que os valores de coliformes totais nas amostras estavam em desconformidade.

Tabela 5 – Valores da análise microbiológica em filé atum (*Thunnus albacares*) sob refrigeração a 4°C durante 20 dias de armazenamento para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%).

Dia(s)	<i>S. aureus</i> (UFC/g)		<i>E. coli</i> (NMP/g)		<i>Salmonella</i>		Histamina	
	*C	**T	*C	**T	*C	**T	*C	**T
0	< 10	< 10	9,2	43	Aus	Aus	1x10 ⁻¹	3x10 ⁻¹
20	2,2 x 10 ⁶	2,2 x 10 ⁶	23	23	Aus	Aus	6x10 ⁻¹	11x10 ⁻¹

Fonte: AUTORA (2023).

*C: controle; **T: tratamento; Aus: ausência.

Barcellos, (2019) avaliou filés de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) resfriados e embalados a vácuo, revestidos com hidrolisado proteico de gelatina comercial de peixe e constatou que teve um potencial antioxidante e com relação a análise microbiológica não se encontrou a bactéria *Escherichia coli*, no entanto, o autor cita que os valores de coliformes totais nas amostras estavam em desconformidade.

Souza, (2021) analisou filés de camarões (*Litopenaeus vannamei*) refrigerados a 4 ± 1 °C com revestimentos comestíveis à base de quitosana e extrato de própolis e encontrou valores baixos em média de 2,70 NMP/g para *Escherichia coli*, o autor argumenta que provavelmente ocorreu um sinergismo entre a quitosana e o extrato de própolis verde na atividade antimicrobiana, como também a qualidade do pescado visto que, os camarões foram despescados e seguiram imediatamente para o laboratório iniciando a avaliação da pesquisa. Fazendo uma analogia com o atum o organismo da pesquisa, ele geralmente é pescado e estocado sob refrigeração na embarcação, e essa pescaria na maioria das vezes tem uma duração de vários dias em alto mar. Estando, portanto, esse pescado muito mais propício à decomposição.

5.4.2 *Estafilococos auerus*

Em pescados a contaminação por *Estafilococos aureus* pode ocorrer de forma cruzada através de utensílios usado no processamento e pelo homem já que é uma bactéria encontrada normalmente na mucosa nasofaringe e na pele dos seres humanos, podendo assim contaminar o alimento através da manipulação inadequada (VIEIRA, 2022). É de extrema importância na saúde pública, principalmente na vigilância sanitária de alimentos a fiscalização desses produtos para garantir a qualidade dos mesmos, pois o Estafilococos é um dos causadores mais comum da intoxicação alimentar (CARRIJO, 2019).

Observa-se na pesquisa (Tabela 5) as análises para *Estafilococos aureus* foi no dia 0 (< 10 UFC/g) e no dia 20 ($2,2 \times 10^6$ UFC/g) e nenhuma das amostras deu Estafilococos coagulase positiva/g, sendo assim, estando dentro dos padrões de qualidade – RDC nº 161/2022. Indicando que os filés de atum estavam aptos para o consumo humano até no último dia de análise experimental. Os resultados obtidos corroboram com os dados encontrados nos estudos de (SIQUEIRA *et al.*, 2022).

Silva & Brabes (2022) analisaram filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) fresco e congelados comercializados no município de Dourados – MS e observaram que os resultados para estafilococcus spp., variam de 3,0 a 3,6 em amostras fresca e de 2,7 para amostras congeladas, sendo consideradas impróprias para o consumo quanto a qualidade microbiológica. Os autores explicam que presença de estafilococcus em peixe não é normal, isso indica que em alguma fase pós-abate houve uma contaminação decorrente da ausência de boas práticas de fabricação e que essas bactérias não fazem parte da microbiota natural do peixe, com isso sua presença sempre estará fora dos conformes.

5.4.3 *Salmonella*

Salmonella spp é um dos patógenos comuns aos peixes e é distribuído nos mais diversos ambientes, sua presença é verificada desde a produção primária até as demais etapas da cadeia de produção do pescado. A falta do exercício de boas práticas em toda cadeia contribui para sua presença (PONTES *et al.*, 2020).

Devido sua alta virulência essa bactéria tem grande importância para saúde

pública (GAZAL *et al.*, 2018). E a legislação atual delimita que o pescado para o consumo humano ele deve ser isento de *Salmonella* RDC nº161 (BRASIL 2022).

Tratando-se na pesquisa de acordo com a Tabela 5, pode-se notar que os filés de atum (*Thunnus albacares*), para o grupo controle, como os com revestimentos (solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%) foi obtido ausência de *Salmonella*, como nos estudos (NASCIMENTO *et al.*, 2019; SIQUEIRA *et al.* 2022).

Em contraste, um estudo realizado por Nur *et al.*, (2020), avaliando quatro tipos de pescado marinho comum (rupchada, koral, poma e atum) disponíveis em Bangladesh verificaram presença de *Salmonella* em atum cru e comentam que em peixes crus naturalmente possuem várias bactérias, e isso pode ser oportunista e causar infecções transmitidas por alimentos rapidamente se for deixado por várias horas em temperatura ambiente sem processamento. Além do mais, as bactérias patogênicas especialmente *Salmonella spp.* e *Vibrio spp.* são a principal preocupação da segurança alimentar no que diz respeito aos frutos do mar.

Shen *et al.*, (2023), discorre sobre um surto de *Salmonella* Thompson ligado a exposição a pescados, sendo que essa bactéria anteriormente os surtos eram associados a carne bovina, frango, talo de videira e vegetais folhosos. No entanto, em 5 de agosto de 2021 começou uma investigação depois que laboratório do Departamento de Saúde Pública e Meio Ambiente do Colorado (CDPHE) isolou *Salmonella enterica* sorotipo Thompson e por meio de uma investigação multiestado de 2020, durante a qual o rastreamento foi conduzido para atum e salmão na qualidade para sushi, identificaram 115 casos, sendo que vinte, 26% dos pacientes foram internados e nenhuma morte relatada. Foi feito a rastreabilidade dos produtos e o distribuidor foi encontrado. Este surto ilustrou a importância de procedimentos eficazes de limpeza, higienização e implementação de controles.

5.4.4 Bactérias produtoras de Histamina

A histamina é uma amina biogénica produzida quando bactérias naturalmente presentes na pele, guelras e intestinos de peixes atuam sobre a histidina, presente em elevadas concentrações no músculo de certas espécies como por exemplo em atum (Hariri *et al.*, 2018; Carneiro *et al.*, 2021). De acordo com a Tabela 5 pode-se notar que houve um aumento na quantificação dessas bactérias

típicas para histamina, tanto para o grupo controle como para os filés com revestimento. Passando de 1×10^{-1} no dia 0, para 6×10^{-1} com 20 dias de refrigeração (grupo controle). E de 3×10^{-1} no dia 0, para 11×10^{-1} no dia 20 (grupo tratamento).

Na literatura, é referido que a temperatura de armazenamento é um dos fatores mais importantes na prevenção da formação de histamina (PACHECO, 2020). Sendo uma possível explicação para o resultado dessa análise na pesquisa. Visto que, no momento inicial da avaliação já se encontrou histamina, e teve um aumento pelas oscilações na temperatura de refrigeração.

Segundo Comas-Basté *et al.*, (2019) Somente o armazenamento próximo de 0°C retarda a formação de histamina. E é sabido que o atum até chegar na mesa consumidor passa por vários manejos desde a pescaria aos pontos de venda, e por alguns momentos fica fora da cadeia do frio, sendo também uma razão para as bactérias produtoras de histamina se proliferar. O pescado obtido para o experimento foi adquirido numa peixaria de bairro e pode ter tido sua qualidade prejudicada, sendo também o intuito da pesquisa, avaliar de forma prática a realidade do comércio na região.

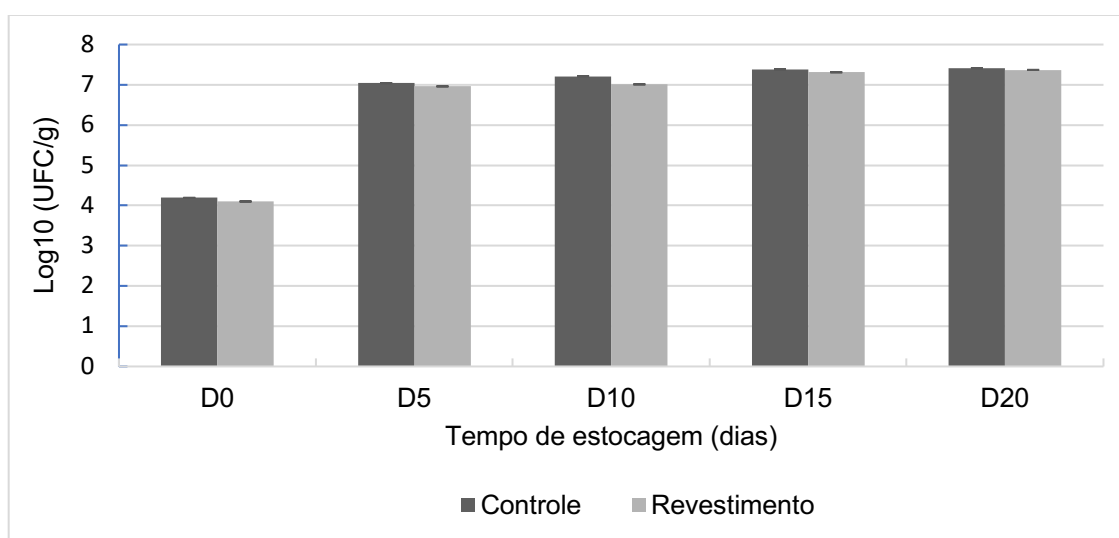
Aznar & Torres, (2022) recomenda manter o peixe na temperatura 0°C desde o momento da pesca até o momento de sua preparação para o consumo. Pois, uma vez formadas, as toxinas que causam escombroidose elas não são inativadas pela preparação dos alimentos, como cozinhar, defumar ou congelar, porque são estáveis ao calor. Os autores comentam que concentrações abaixo de 5-10 mg/100 g de histamina geralmente não causam toxicidade; no entanto, foram relatados casos de envenenamento com níveis de histamina tão baixos quanto 20 mg/100 g e geralmente não apresenta alteração nos exames laboratoriais. Sendo, portanto, o recomendável consumir pescado de fontes seguras e que tenha uma rastreabilidade o alimento.

5.4.5 Bactérias psicrótróficas

Na legislação vigente RDC nº 161/2022 não estabelece limite de colônias de psicrótróficas (UFC/g) nos alimentos. Todavia, a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos estabelece o limite máximo de 10^7 UFC/g (equivalente a 7,0 log de UFC/g) para a população destas bactérias em

pescados destinados ao consumo humano (ICMSF, 1986). Na presente pesquisa a contagem de bactérias psicrotróficas do grupo com revestimento ficou dentro desse intervalo aceitável até o armazenamento de 10 dias (7,01 log UFC/g), sendo que a contagem da amostra controle foi 7,21 log UFC/g passando do limite recomendado. A partir do dia 15 todas as amostras tiveram suas contagens acima de 7,0 log UFC/g com valores de 7,41 log UFC/g para o grupo controle e de 7,37 log UFC/g para o grupo com revestimento (GRÁFICO 8).

Gráfico 8 - Análise gráfica do Logaritmo da média dos valores das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) das bactérias psicrotróficas durante o período de armazenamento, para amostra controle (sem revestimento) e amostra com revestimento (revestido com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5%).



Fonte: AUTORA (2023).

Pesquisas que corroboram com esses resultados foram obtidos por Anjos, (2019) que avaliaram a qualidade e frescor da pescada banana (*Nebris microps*), eviscerada e estocada em gelo, por um período de 15 dias. As características de consumo se mantiveram até o nono dia de estocagem. Cordeiro, (2019) analisou o prazo de vida útil de corvinas (*Micropogonias furnieri*, Linnaeus, 1766) e recomendando-se também a comercialização e o consumo desse pescado em até 9 dias de armazenamento. Segundo Ahangari *et al.*, (2021) as bactérias psicrotróficas são consideradas um subgrupo de mesófilos que geralmente são encontrados em

condições de temperatura de geladeira e, portanto, responsáveis pela deterioração comum de alimentos. Fato que pode se intensificar pelas condições de pescado provindo da pesca, visto que, o processo inicial de rigor mortis ter ocorrido mais acelerado.

Já Besbes *et al.*, (2020) avaliou filés de dourada (*Sparus aurata*) embalados a vácuo e usando micropartículas de quitosana com armazenamento refrigerado e o valor de 7 log UFC/g, que é considerado o limite máximo permitido, este foi alcançado no 12º e 18º dia para bactérias mesófilas e psicrotólicas, respectivamente, no grupo controle. Esses resultados são de acordo com o prazo de validade relatado para filés de dourada, que geralmente varia entre 10 e 15 dias como relata os autores. Os filés tratados com revestimento de quitosana permaneceram abaixo desse limite durante todo o período de armazenamento, mostrando que o revestimento foi eficiente para retardar o crescimento bacteriano e, portanto, pode ser recomendada para prolongar a vida útil dos filés de dourada. E na atual pesquisa o resultado do filé revestidos com solução de gelatina a 1%, mais glicerol 0,5% e ácido ferúlico 0,5% foi um prazo de 15 dias de armazenamento.

Essas bactérias, na sua maioria, são proteolíticas (degradam proteínas) e como o revestimento a base de gelatina feito a base de proteína, isso pode ter influenciado o desenvolvimento desses microrganismos.

6 CONCLUSÃO

A indústria de pescado é uma atividade que gera muito resíduos e a produção de tilápia está em acessão no mundo, em consequência ocorre também o crescimento desses resíduos que trazem impactos ambientais adversos. Assim a extração de gelatina da pele de peixe pode ser uma opção para agregar valor a esse resíduo que na maioria das vezes é descartado. Contribuindo assim na diminuição dos impactos ambientais e no avanço de novas tecnologias.

A extração de gelatina a partir da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) pode ser uma nova alternativa, já que ela apresenta características favoráveis a uma gelatina de boa qualidade (elevada força de gel; baixa atividade de água; baixos teores de umidade e cinzas e alto teor de proteínas; cor próxima ao branco e boas propriedades térmicas para usos inferiores à 200°C).

A aplicação da gelatina na concentração de 1% com 0,5% de ácido ferúlico e glicerol como revestimento em filé de atum (*Thunnus albacares*) para uma possível inibição no processo de deterioração mostrou-se bastante efetiva nas análises físico-químicas, mostrando seu alto potencial antioxidante, o conjunto dessas substâncias.

O revestimento a base de gelatina e ácido ferúlico apresentou resultado positivo para o controle da *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonela*, bactérias produtoras de histamina de acordo com os parâmetros microbiológicos da legislação brasileira vigente RDC nº 161/2022. A contagem das bactérias psicrotóricas, ficou em níveis aceitáveis até o décimo quinto dia de armazenamento.

De acordo com os dados apresentados, o revestimento gelatina na concentração de 1% com 0,5% de ácido ferúlico e glicerol têm a capacidade de estender o tempo de prateleira de filé do atum refrigerado constituído a partir de biopolímeros biodegradáveis, não tóxico, sem causar danos ao meio ambiente e com abundância de matéria-prima, o que viabiliza a aplicação dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

AHAGARI, H.; YAZDANI, P.; EBRAHIMI, V.; SOOFIYANI, S. R.; AZARGUN, R.; TARHRIZ, V.; EYVAZI, S. An Updated review on production of food derived bioactive peptides; focus on the psychrotrophic bacterial proteases. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.35, p. 1-10, 2021.

ALCÂNTARA, L. O.; MARTINS, M. E. O.; SOUSA, J. R.; CERQUEIRA, M. A.; SILVA, A. L. C.; FILHO, M. S. M. S.; SOUZA, B. W.S. Wettability of edible coatings on Nile tilapia fillets (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Food Engineering**, v. 247, p. 152-159, 2019.

ALCÂNTARA, L.; SOUSA, J.; MARTINS, M. E.; SILVA, A. L.; FILHO, M. S. SOUZA, B. Evaluation of Surface Properties of Chitosan and Scale Gelatin Coatings on Shrimp Fillets (*Litopenaeus vannamei*). **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 31, n. 10, p. 1115-1127, 2022.

ALFARO, A.T. **Otimização das condições de extração e caracterização da gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis urolepis hornorum*)**. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

ALFARO, A.T; BILUCA, F.C; MARQUETTI, C.; TONIAL, I.B; SOUZA, N.E. Gelatina de pele de bagre africano (*Clarias gariepinus*): otimização da extração e propriedades físico-químicas. **Food Research International**, v. 65, p. 416-422, 2014.

ALI, A. M. M.; KISHIMURA, H.; BENJAKUL, S. Physicochemical and molecular properties of gelatin from skin of golden carp (*Probarbus jullieni*) as influenced by acid pretreatment and prior-ultrasonication. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 164-172, 2018.

ALI, S.A.; SAIFI, M.A.; PULIVENDALA, G.; GODUGU, C.; TALLA, V. Ferulic acid ameliorates the progression of pulmonary fibrosis via inhibition of TGF- β /smad signalling, **Food Chemical Toxicology**, v. 149, ID 111980, 2021.

ALIPAL, J.; MOHD PU'AD, N. A. S.; LEE, T. C.; NAYAN, N. H. M.; SAHARI, N.; BASRI, H.; IDRIS, M. I.; ABUDULLAH, H. Z. A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation. **Materials Today: Proceedings**, v. 42, p. 240-250, 2021.

ALPARSLAN, Y.; BAYGAR, T.; METIN, C.; YAPICI, H. Y.; BAYGAR, T. The Role of Gelatin-Based Film Coating Combined with Orange Peel Essential Oil on the Quality of Refrigerated Shrimp. **Acta Aquatica Turcica**, v.15 n. 2, p. 197-212, 2019.

ALTEMIO, A.D. C.; MACHADO, G. L.; FERREIA, E.S.; SILVA, K. A. L.; MARTINS, N. B. C.; MEDEIROS, S. P. Chemical, physical and microbiological of Nile Tilapia fillets (*Oreochromis niloticus*), kept under refrigeration. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. 1-12, ID 7411527582, 2022.

AMIC, A.; MARKOVIC, Z.; MARKOVIC, J. M.D.; MILENKOVIC, D.; STEPANIC, V. Antioxidative potential of ferulic acid phenoxy radical. **Phytochemistry**, v.170, p. 1-8, ID 112218, 2020.

ANJOS, M. K. A. Avaliação da Qualidade da Pescada Banana (*Nebris microps*, covier 1830) refrigerado em gelo. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Paragominas, 2019.

ARAÚJO, G. X.; SILVEIRA, G. P. Modelos matemáticos para dinâmica populacional entre espécies de atum e sardinha sob interferência da eutrofização marinha. **Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, v. 22, n. 3, p. 1-24, 2022.

AZNAR, M. A.; TORRES, N. M. Envenenamento por histamina: da erupção cutânea ao choque. Revisão de um caso de escombroidose na perspectiva dos cuidados intensivos. **Chil**, v. 52, n. 2, p. 234-236, 2023.

BARBOZA, H. T. G., SOARES, A. G., FERREIRA, J. C. S., & SILVA, O. F. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, v.11, n. 9, p.1-25, ID 9911931418, 2022.

BARCELLOS, Carolina Cristina Colão. **Avaliação do potencial de hidrolisado proteico de gelatina de peixe na preservação de filés de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Salmoniformes: salmonidae) mantidos sob refrigeração**. 113 f. Tese (Doutorado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) - Faculdade de Veterinária, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

BESBES, M. K. N.; KHEMIS, I. B.; DI BELLA, C.; LO MONACO, D.; SADOK, S. Determination of shelf-life of vacuum-packed sea bream (*Sparus aurata*) fillets using chitosan-microparticles-coating. **CyTA - Journal of Food**, v. 18, n.1, p. 51-60, 2020.

BHARTI, S. K., PATHAK, V., ALAM, T., ARYA, A., BASAK, G., & AWASTHI, M. G. Materiality of edible film packaging in muscle foods: A worthwhile conception. **Journal of Packaging Technology and Research**, v.4, p. 117-132, 2020.

BI, C.; LI, X.; XIN, Q.; HAN, W.; SHI, C.; GUO, R.; ZHONG, J. Effect of extraction methods on the preparation of electrospun/electrosprayed microstructures of tilapia skin collagen. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 128, 234-240, 2019.

BORDIGNON, A.C, SOUZA, M.L.R, GASPARINO, E, YAJIMA, E.M, VISENTAINER, J.V, GOES, E. S.R, Caracterização das gelatinas obtidas a partir de peles de tilápia do Nilo conservadas pelos métodos de congelamento e salga **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 2581-2592, Londrina, nov/dez, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento (MAPA). Decreto nº 9013 de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1283 de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7889, de 23 de dezembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020, o qual dispõe sobre o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Diário Oficial da União. Brasília, 2020.

BUEGE, J. A.; AUST, S. D. Microsomal lipid peroxidation. **Method in Enzymology**, v. 52, p. 32-34, 1978.

CALDATO, K.; NAVES, F. K. S.; ZATTA, L. Gelatina extraída de escamas da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) produzidas no município de Pato Branco: caracterizações e comparações com amostras comerciais. **R. bras. Tecnol. Agroindustr.**, Ponta Grossa, v. 13, n. 01, p. 2730-2751, 2019.

CARNEIRO, A. P. C.; MIRANDA, M. F.; SOUSA, O. V.; SILVA, E.M.C. Microbiota cultivável produtora de histamina associada com a superfície e brânquias de cavalas frescas (*Scomberomorus cavalla*). **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 54, n. 2, p. 181-189, 2021.

CARRIJO, Morgana Muniz. **Avaliação da Qualidade Microbiológica de Sushis e Sashimis Comercializados em Supermercados e Padarias do Distrito Federal**. 37p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CAYRÉ, P.; KOTHAS, J. B. A.; DIOUF, T.; STRETTA, J. M. Biology of Tuna. In: FONTENEAU, A.; MARCILLE, J. (eds). Resources, fishing and biology of the tropical tunas of the Eastern Central Atlantic. **FAO - Fisheries Document Paper**, n. 292. p. 354, Rome, 1993.

COMAS-BASTÉ, O.; LATORRE-MORATALLA, M. L.; SÁNCHEZ-PÉREZ, S.; VECIANA-NOGUÉS, M.T. E.; VIDAL-CAROU, M. C. 'Histamine and Other Biogenic Amines. From Scombroid Poisoning to Histamine Intolerance', **Food**, v. 1, p. 1-19, 2019.

CORDEIRO, Daniel Dias. **Método de Índice de Qualidade (MIQ): determinação do prazo de vida útil de corvinas (*Micropogonias furnieri*, Linnaeus, 1766) inteiras estocadas em gelo**. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

CORREIA, D. M.; PADRÃO, J.; RODRIGUES, L. R.; DOURADO, F.; LANCEROS-MÉDEZ, S.; SENCADOS. V. Thermal and hydrolytic degradation of electrospun fish gelatin membranes. **Polymer Testing**, v. 32, p. 995–1000, 2013.

DAMAS FILHO, J. V.; PONTES, W. P.; PONTUSCHKA, R. B.; SANTOS, A. M.; CAVILI, J. Cadeia do pescado: *Salmonella spp.* como agente contaminante. **Revista de Ciência e Saúde Animal**, v. 2, p. 48-68, 2020.

DERKACH, S. R.; VORON'KO, N. G.; KUCHINA, Y. A.; KOLOTOVA, D. S. Modified Fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. **Polymers**, v.12, n. 12, p., 2020.

DERKACH, S. R.; KUCHINA, Y. A.; BARYSHNIKOV, A. V.; KOLOTOVA, S. D.; VORON'KO, N. G. Tailoring Cod Gelatin Structure and Physical Properties with Acid and Alkaline Extraction. **Polymers**, v. 11, n. 10, p. 1-17, 2019.

DOWNES, F. P.; ITO, K. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. **Washington - DC: APHA**, 4 ed, p. 676, 2001.

EMBUSCADO, M. E.; HUBER, K. C. Edible films and coatings for food applications. **Springer**, New York, NY, USA v. 9, p. 25-56, 2009.

YILDIZTUGAY, E.; OZfidan-KONAKCI, C.; KARAHAN, H.; KUCUKODUK, M.; TURKAN, I. Ferulic acid confers tolerance against excess boron by regulating ROS levels and inducing antioxidant system in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **Environmental and experimental botany**, v. 161, p.193-202, 2019

ERSEÇKIN, V.; MERT, H.; IRAK, K.; YILDIRIM, S.; MERT, N. Nephroprotective effect of ferulic acid on gentamicin-induced nephrotoxicity in female rats. **Drug and Chemical Toxicology**, v. 45, n. 2, p. 663-669, 2022.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome, n. 266, 2022.

FELLOWS, P.J. Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e práticas. **São Paulo: Artmed**; Editora 2018.

LI, D.; RUI, Y. X.; GUO, S. D.; LUAN, F.; LIU, R.; ZENG, N. Ferulic acid: A review of its pharmacology, pharmacokinetics and derivatives. **Life Sciences**, v. 284, p. 1-13, ID 119921, 2021.

FIGUEIREDO, João Filho Quelhas. **Interação entre proteínas lácteas e extrato aquoso de cogumelo Amanita ponderosa**. 100 f Dissertação – (Mestrado em Bioquímica) Universidade Beira interior, 2022.

PONTES, W. P., PONTUSCHKA, R. B., DANTAS FILHO, J. V., DOS SANTOS, A. M., & CAVALI, J. CADEIA DO PESCADO: Salmonella spp. COMO AGENTE CONTAMINANTE. **Revista Ciência e Saúde Animal**, v.2, p. 48-68, 2020.

FRATARI, S. C., OLIVEIRA, A. P. DE, FARIA, R. A. P. G. DE, & VILLA, R. D. Revestimentos Comestíveis para Conservação Pós-colheita de Banana: uma revisão. In *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*. **Editora Científica**, v. 4, p. 444-467, 2021.

GALUS, S.; KIBAR, E. A. A.; GNIEWOSZ, M.; KRA'SNIEWSKA, K. Novel Materials in the Preparation of Edible Films and Coatings - **A Review**. **Coatings**, v. 10, n. 7, p. 1-14, 2020.

GAZAL, L. E. S.; BRITO, K. C. T.; CAVALLI, L. S.; KOBAYASHI, R. K. T.; GERSON NAKAZATO, G.; OTUTUMI, L. K.; CUNHA, A. C. C.; NETO, J. A. S. P.; BRITO, B. G. *Salmonella sp.* em peixes – qual a importância para sanidade em pescado?

Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.24, ns.1/2, p. 55-64, 2018.

Gelatin Manufacturers Institute of America, Standard Testing Methods for Edible Gelatin, 2013.

GOUJOTÝ, D.; CUVELIER, M. E.; SOTO, P.; COURTOIS, F. A stoichio-kinetic model for a DPPH -ferulic acid reaction. **Talanta**, n.196, p. 284-292, 2019.

GONÇALVES, A. A. Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação. 2. ed. São Paulo, **Editora: Atheneu**, p. 673, 2021.

HAO, R.; PAN, J.; TILAMI, S. K.; SHAH, B. R.; MRÁZ, J. Post-mortem quali changes of common carp (*Cyprinus carpio*) during chilled storage from two culture systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 12, n. 102, p. 5576-5576, 2022.

HARIRI, O. E. L.; BOUHRITI, N.; BENGUEDDOUR, R. Avaliação de risco de histamina em refrigerados, congelados, Conservas e Semiconservas de Peixe em Marrocos; Implementação e recomendações para Gerentes de Risk Ranger. **Foods**, v. 7, p.1-18, 2018.

HUAMÁN, R.; ROSA, G. F.; PRENTICE, C. Evaluation and stability of the colour in burriquete (*Pogonias cromis*) fillets using a computer vision system. **Brazilian Journal of Food Technology**, n. 22, p. 1-10, ID 2015088, 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz - Métodos Físicos e Químicos. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

ISHAQ, A.; RAHMAN, U. R.; SAHAR, A.; PERVEENA, R.; AMANDA J.; KHALILF, D. A. A.; AADIL, R. M.; HAFEEZ, M. A.; KALIQQ, A.; SIDDIQUE, U. Potentiality of analytical approaches to determine gelatin authenticity in food systems: A review **LWT – Food Science and Technology** – v.121, p. 1-4. ID 108968, 2020.

JIANG, W.; HU, S.; LI, S.; LIU, Y. Evaluation of the preservation effect of gelatin-water soluble chitosan film incorporated with maillard peptides on bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) slices packaging. **LWT - Food Science and Technology**, v. 113, p. 1-7, ID 108294, 2019.

JONGJAREONRAK, A.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; TANAKA, M. S.; KANSKI, J.; AKSENOVA, M.; STOYANOVA, A.; BUTTERFIELD, D. A. Ferulic acid antioxidant protection against hydroxyl and peroxy radical oxidation in synaptosomal and neuronal cell culture systems in vitro: structure-activity studies. 5. ed. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 13, p. 273-281, 2002.

KANSKI, J.; AKSENOVA, M.; STOYANOVA, A.; BUTTERFIELD, D. A. Ferulic acid antioxidant protection against hydroxyl and peroxy radical oxidation in synaptosomal and neuronal cell culture systems in vitro: structure-activity studies. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v.13, n. 5, p. 273–81, 2002.

KHEMIRA, M.; BESBESA, N.; KHEMISC, I. B.; BELLAD, C. D.; SADOKA, D. M. S. Determination of shelf-life of vacuum-packed sea bream (*Sparus aurata*) fillets using chitosan-microparticles-coating. **Cyta Journal of Food**, v. 18, n. 1, p. 51-60, 2020.

KROCHTA, J. M., DE MULDER - JOHNSTON, C. Edible, and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 2, p. 61-74, 1997.

KWOK, D. Y.; NEWMAN, A. W. Contact angle measurement and contact angle interpretation. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 81, n. 3, p. 167-249, 1999.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage. **Nature**, v. 227, p. 680-685, 1970.

LE, T.; TAKAHASHI, K.; OKAZAKI, E.; OSAKO, K. Mitigation of lipid oxidation in tuna oil using gelatin pouches derived from horse mackerel (*Trachurus japonicus*) scales and incorporating phenolic compounds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 128, P. 1-5, ID 109533, 2020.

LE MOS, A. C.; SCAGLIONI, P. T.; BORBA, V. S.; FURLONG, E. B. Contaminantes formados durante o processamento de alimentos. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 1, cap. 9, p. 111-157, 2020.

LI, D.; RUI, Y. X.; GUO, S. D.; LUAN, F.; LIU, R.; ZENG, N.; LI, X.; LIU, X.; LAI, K.; FAN, Y.; LIU, Y.; HUANG, Y. Efeitos da sacarose, glicose e frutose nos comportamentos de grande deformação de géis de gelatina de pele de peixe. **Food Hydrocolloids**, v. 101, p. 1-8, ID 105537, 2020.

LI, Y.; YU, H.; CAI, Y.; YUAN, C.; CHEN, S.; DING, D. L.; HU, Y. Ferulic acid- β -cyclodextrin inclusion complexes: Application on the preservation of hairtail (*Trichiurus lepturus*). **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 282–296, 2020.

LIAO, W.; YUJIE, Z.; YAPENG, L.; YUANYUAN, W.; XIUPING, D.; GUANGHUA X.; XUANRI, S. Efeito de variáveis de extração nas propriedades físicas e funcionais da gelatina de tilápia. **LWT - Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 146, p. 1-9, ID 111514, 2021.

LIN, L.; REGENSTEIN, J. M.; LU, J.; JIANG, S. An overview of gelatin derived from aquatic animals: Properties and modification. **Trends in Food Science Technology**, v. 68, p. 102 -112, 2017.

LIU, W.; XIE, J.; LI, L.; XUE, B.; LI, X.; JIANHONG, J. G.; ZEHUAI, Z. S.; SUN, T. Writing - Review & editing Properties of phenolic acid-chitosan composite films and preservative effect on *Penaeus vannamei*. **Journal of Molecular Structure**, n. 1239, p- 1-10, 2021.

LIU, Y.; SHI, L.; QIU, W.; SHI, Y. Ferulic acid exhibits anti-inflammatory effects by inducing autophagy and blocking NLRP3 inflammasome activation. **Molecular & cellular toxicology**, v.18, n.4, p. 509-519, 2022.

LIN-CHEN, L. V.; HUANG, Q. Y.; DING, W.; XIAO, X. H.; ZHANG, H. Y.; XIONG, L. X. Gelatina de peixe: as novas aplicações potenciais. **Journal of Functional Foods**, v. 63, p. 1-14, ID 103581, 2019.

MACHADO, R. A.; BARBOSA, I. V.; SANTOS, E. M. Cadeia Produtiva de Pescado no Brasil: Atualidades e Perspectivas Futuras. **Pesquisas e Inovações Nacionais em Engenharias, Ciências Agrárias, Exatas e da Terra**, c. 3, p. 42-604, 2022.

MAIA, M. O.; COSTA, J. N.; BRAGA, R. C.; ARAÚJO, R. S.; EGITO, A. S.; DAMACENO, M. N.; SOUZA, B. W. S.; SÁ, D. M. A. T. Effect of the gelatin extraction method from tilapia skin and its application as a coating. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 2, p. 7984-8000, 2023.

MALLE, P.; TAO, S. H. Rapid Quantitative Determination of Trimethylamine using Steam Distillation. **Journal of Food Protection**, v. 50, n. 9, p. 756-760, 1987.

MARTINS, M. E. O.; SOUSA, J. R.; CLAUDINO, R. L.; LINO, S. C. O.; VALE, D. A.; SILVA, A. L. C.; MORAIS, J. P. S.; FILHO, M. SÁ. M. S.; SOUZA, B. W. S. Thermal and Chemical Properties of Gelatin from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Scale. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, p. 1120-1233, 2018.

MARTINS, M. E.O. **Extração, caracterização e aplicação da gelatina obtida da escama de tilápia do nilo, *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758)**. 73 f. Dissertação (Mestrado em ciência e Tecnologia do Pescado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MATOS, T. N.; LOPES, F. M.; SIGNINI, R. Uso de Quitosana Aplicada à Liberação Controlada de Fármacos: Uma Revisão Sistemática. **Virtual Química**, n. 12, p. 668-680, 2020.

MIRZAPOUR-KOUHDASHT, A.; MOOSAVI-NASAB, M.; KRISHNASWAMY, K.; KHALES, M. Optimization of gelatin production from Barred mackerel by-products: Characterization and hydrolysis using native and commercial proteases. **Food Hydrocolloids**, v.108, p.1-14, 2020.

MOIA, P. J. S.; LOURENÇO, L. F. H.; SOUSA, C. L. L.; BATISTA, J. T. S.; JOELE, M. R. S. P.; ARAÚJO, E. A. F. Efeito dos plastificantes sorbitol e glicerol em filmes de gelatina de pele de tambaqui (*Colossoma macropomum*) **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. Francisco Beltrão, v. 15, n. 2, p. 3573-3590, 2021.

NACIMENTO, J. F.; BARROSO, B. S.; COSTA, A. L. P.; JUNIOR, A. C. S. S. Avaliação microbiológica de apaiari, *Astronotus ocellatus* (AGASSIZ, 1729) (PISCES, CICHLIDAE) comercializando na feira do pescado. **Bio Amazônia**, Macapá- AP, v. 9, n. 2, 2019.

NILE, S. H.; BASKAR, V.; SELVARAJ, D.; NILE, A.; XIAO, J.; KAI, G. Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. **Nano-Micro Letters**, v. 45, p. 1-45, 2020.

NIRMAL, N. P.; BENJAKUL, S. Effect of ferulic acid on inhibition of polyphenoloxidase and quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during iced storage. **Food Chemistry**, n.116, p.323-331, 2009.

NIVEN, C. F. J.; JEFFREY, M. B.; CORLETT, D. A. J. Differential Plating Medium for Quantitative Detection of Histamine-Producing Bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 41, n.1, p. 321-322, 1981.

NUNES, M. L. Aproveitamento integral da tilápia. *In: XI Seminário Nordestino de Pecuária*. Universidade Federal de Sergipe, p. 49, 2007.

NUR, I. T.; MOU, A. N.; HABIBA, U. Análise microbiológica comparativa de quatro peixes marinhos diferentes coletados no mercado local na metrópole de Dhaka. **Food Research**, v. 4, n. 1, p. 161-165, 2020.

OLIVEIRA, Wigor de Pereira. **Otimização do pré-tratamento da extração de gelatina obtida de coprodutos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica federal do Paraná, Campo Mourão – PR, 2018.

ORDENEZ, R.; ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Physicochemical and antimicrobial properties of cassava starch films with ferulic or cinnamic acid. **LWT – Food Science and Technology**, v. 144, p. 111242, 2021.

OSIRIPHUN, S.; RACHTANAPUN, P.; WANGTUEAI, S.; JIRARATTANARANGSRI, W. Influence of physicochemical properties on the production of alternative healthy gummy jelly from tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin with added thai rice powder. **Food Chemistry: X**, v. 15, ID 100365, p. 1-7, 2022.

PACHECO, Maria da Assunção de Almeida Mendes Cirne. **Determinação da evolução dos níveis de histamina durante a produção de conservas de pescado**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Engenharia Química, FEUP, 2020.

PAN, J.; LIAN, H.; SANG, M.; JIN, W.; HAO, R.; NING, Y.; ZANG, X.; TANG, Y. Physicochemical properties of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) skin gelatin as affected by extraction temperature and in comparison, with fish and bovine gelatina. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, p. 2656-2666, 2020.

PRABHAKAR, P. K.; SRIVASTAV, P. P.; PATHAK, S. S. Kinetics of total volatile basic nitrogen and trimethylamine formation in stored rohu (*Labeo rohita*) fish. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, n. 5, p. 452-464, 2019.

PEREIRA, V. A.; MATTOS, A. L. A.; ANDRADE, F. K.; FILHO, M. S. M. S.; FECHINE, P. B. A. Effects of adding curcumin-loaded halloysite nanotubes to Nile tilapia skin gelatin film re-crosslinked with tannic acid. **Applied Clay Science**, v. 238, p. 1-15, ID 106946, 2023.

- PIRSA, S.; SHARIFI, K. A. A review of the applications of bioproteins in the preparation of biodegradable films and polymers. **Journal of Chemistry Letters.**, v. 1, p. 47-58, 2020.
- PONTES, W. P.; PONTUSCHKA, R. B.; DANTAS FILHO, J. V.; DOS SANTOS, A. M.; CAVALI, J. Cadeia do Pescado: Salmonella spp. como agente contaminante. **Revista Ciência e Saúde Animal**, v. 2, p. 48-68, 2020.
- QIAO, Z.; YIN, M.; QI, X.; ZHEN, Z.; YU, Z.; CHEN, M.; XIAO, T.; WANG, X. Freezing, and storage on aquatic food: underlying mechanisms and implications on quality deterioration. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 1-11, ID 91322, 2022.
- QUARESMA, Fabrizia da Silva. **Gelatina de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e astaxantina de camarão branco do Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) na rota de valorização de resíduos do pescado: obtenção de filmes antioxidantes e antimicrobianos.** 92f. Tese (Doutorado em ciência e Tecnologia do Pescado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- QUEVEDO, R.; VALENCIA, E.; CUEVAS, G.; RONCEROS, B.; PEDRESCHI, F.; BASTÍAS, J. M. Color changes in the surface of fresh cut meat: A fractal kinetic application. **Food Research International**, n. 54, v.2, p. 1430-1436, 2013.
- RANASINGHE, R. A. S. N.; WIJESEKARA, W. L. I.; PERERA, P. R. D.; SENANAYAKE, S. A.; PATHMALAL, M. M.; MARAPANA, A. U. J. Functional and bioactive properties of gelatin extracted from aquatic bioresources - A review. **Food Reviews International**, p. 1-44, 2020.
- REIS, C. S.; SANTOS, J. N.; SANTOS, J. S.; SILVA, T. N. S.; FERREIRA, M. A.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S. Estudo Prospectivo de Patentes sobre Revestimento Comestível em Pescado. **Research, Society and Development**, v. 11, n.11, p. 1-11, ID 485111133236, 2022.
- REZENDE-DE-SOUZA, J. H.; SAVAY-SILVA, L. K. As Bases Nitrogenadas Voláteis Totais São Confiáveis Para Aferir o frescor de pescado? **Ciência e tecnologia do pescado uma análise pluralista.** 1ª edição, v. 3, p. 214, 2021.
- RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A. M. Impact of biogenic amines on food quality and safety. **Foods**, v. 8, n. 62, p. 1-16, 2019.
- RYDER, J. M. Determination of adenosine triphosphate and its breakdown products in fish muscle by high-performance liquid chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 33, n. 4, p. 678-680, 1985.
- SAITO, T.; ARAI, K.; MATSUYOSH, M. A new method for estimating the freshness of fish. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 24, p.749-750, 1959.

- SANTOS, F. M. S.; SILVA, A. I. M.; VIEIRA, C. B.; SILVA, A. L. C.; CUNHA, M. G. C.; SOUZA, B. W. S.; BEZERRA, R. B. Use of chitosan coating in increasing the shelf life of liquid smoked Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillet. **Journal of Food Science Technology**. 2017.
- SANTOS, J. P.; ESQUERDO, V. M.; MOURA, C. M.; PINTO, L. A. A. Crosslinking agents effect on gelatins from carp and tilapia skins and in their biopolymeric films. **Coloides and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects** n. 539, pág. 184-191, 2018.
- SANTOS, R. P. D.; OLIVEIRA, D. A. S. B. D.; CECCON, D. B.; GALVÃO, G. P.; RIVA, M. M.; CARVALHO, G. D.; MINOZZO, M. G. Levantamento das não conformidades de um potencial unidade de beneficiamento de pescado e produtos de pescado com a finalidade de registrá-la junto ao serviço oficial de inspeção. **Revista Ifes Ciência**, 2023.
- SHEN, A. Q.; DALEN, A.; BANKERS, L.; MATZINGER, S.R.; SCHWENSOHN, C.; PATEL, K.; HISE, K. B.; PEREIRA, E.; CRIPE, J.; JERVIS, R. H. Surto multiestado de infecções por Salmonella Thompson ligadas a Exposição a frutos do mar - Estados Unidos, 2021. **Relatório Semanal de Morbidade e Mortalidade**, v. 72, n. 19, 2023.
- SIBURIAN, W. Z.; ROCHIMA, E.; ANDRIANI, Y.; PRASEPTIANGGA, D. Fish gelatin (definition, manufacture, analysis of quality characteristics, and application): A review. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 8, n. 4, p. 90-95, 2020.
- SILVA, M. J. S.; BRABES, K. C. S. Determinação da qualidade microbiológica, parasitológica e composição proximal de filés de tilápia oreochomis niloticus comercializados no município de Dourados. **Revista NBC**, Belo Horizonte, v. 12, n. 23, 2022.
- SINGH, Y. P.; RAI, H.; SINGH, G.; SINGH, G. K.; MISHRA, S.; KUMAR, S.; MODI, G. A review on ferulic acid and analogs based scaffolds for the management of Alzheimer's disease. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 215, p. 1-28, ID 113278, 2021.
- SIQUEIRA, L. J.; TALITA, T. B.; WANSOVSKI, M.; SOUZA, B. E. O.; SANTOS, E. A.; RAGHIANTE, F. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos** - Organização: Editora Poisson, Belo Horizonte, MG: Poisson v. 13, cap. 2, 2022.
- SOUZA, S. C.; VÁZQUEZ, J. A.; MARTIN, R. L. P.; CARVALHO, A. P.; GOMES, A. M. Valorization of By-Products from Commercial Fish Species: Extraction and Chemical Properties of Skin Gelatins. **Molecules**, 2017.
- SOUZA FILHO, M. DE S.; NUNES, Y. L.; CLAUDINO, R. L.; ROSA, M. F.; ITO, E. N.; FURTADO, A. A. L.; RODRIGUES, M. L. L.; MELO, E. F. Obtenção e caracterização de gelatina de pele de tilápia. *In*: **Embrapa Agroindústria Tropical**, Boletim de pesquisa e desenvolvimento. p. 9-11, 2012.

SOUZA, B. W. S.; CERQUEIRA, M. A.; RUIZ, H. A.; MARTINS, J. T.; CASARIEGO, A.; TEXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Effect of Chitosan-Based Coatings on the Shelf Life of Salmon (*Salmo salar*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 11456-11462, 2010.

SOUZA, Joice Teixeira. **Potencial de revestimentos comestíveis à base de quitosana e extrato de própolis na conservação do camarão branco do pacífico (*Litopenaeus vannamei*)**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

STEVENSON, M.; LONG, J.; SEYFODDIN, A.; GUERRERO, P.; DE LA CABA, K.; ETXABIDE, A. Characterization of ribose-induced crosslinking extension in gelatin films. **Food Hydrocolloids**, v. 99, p. 1-7, ID 105324, 2020.

SUN, Q.; SUN, F.; XIA, X.; XU, H.; KONG, B. The comparison of ultrasound-assisted immersion freezing, air freezing and immersion freezing on the muscle quality and physicochemical properties of common carp (*Cyprinus carpio*) during freezing storage. **Ultrasonic-Sonochemistry**, v. 51, p. 281-291, 2019.

SURYANINGRUM, T. D.; UTOMO, B. S. B. The effect of concentration acetic acid in extraction of gelatin from nila fish (*Oreochromis niloticus*) to the physical characteristics. **In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 546, n. 6, p.1-6, ID 062032, 2019.

SUSSEL, F. R. Para onde vai a tilápia. **Anuário da Pecuária Brasileira - 2007**, p. 289 - 290, 2007.

SWANSON, K. M. J.; PETRAN, R. L.; HANLIN, J. H. Culture Methods for Enumeration of Microorganisms. *In* Compendium of methods for Microbiological Examination of foods. 4 th ed. **APHA**: Washington-DC, cap. 6, p. 53-6, 2001.

TALIB, A.; TANGKE, U.; SAHARIN, M. D.; NURHIDAYATI, F. Extraction of collagen bone fish (*Thunnus albacares*) into gelatin with CH₃COOH Treatment. **OARJ - Open Access Research Journal of Biology and Pharmacy**, v. 4, n. 2, p. 15-21, 2022.

TATULIAN, S. A. "FTIR Analysis of Proteins and Protein - Membrane Interactions". **Methods in molecular biology**, v. 2003, p. 281-325, 2019.

TAVARES, Ana Rita Ventura. **Revestimentos comestíveis com incorporação de extratos de macroalgas para aplicação em filetes de peixe sujeitos a fritura**. 92 f. Dissertação. Universidade de Lisboa, Portugal, 2020.

TELLES, E. O.; AQUINO, A. C. L T. Fundamentos da análise microbiológica de alimentos. **Higiene e segurança alimentar**, p. 21, 2018.

TÓTH, A.; HALÁSZ, K. Characterization of edible biocomposite films directly prepared from psyllium seed husk and husk flour. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 20, p. 1-9, ID 100219, 2019.

USMAN, M.; SAHAR, A.; INAM-UR-RAHEEM, M.; RAHMAN, U. U.; SAMEEN, A.; AADIL, R. M. Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. **International Journal of Food Science & Technology**, v.57 n.1, p.154-163, 2022.

VALA, M.; AUGUSTO, A.; HORTA, A.; MENDES, S.; GIL, M. M. Effect of Tuna Skin Gelatin-Based Coating Enriched with Seaweed Extracts on the Quality of Tuna Fillets During Storage at 4 °C. **International Journal of Food Studies**, v. 6, p. 201–221, 2017.

VALCARCEL, J.; HERMIDA-MERINO, C.; PIÑEIRO, M. M.; HERMIDA-MERINO, D.; VÁZQUEZ, J. A. Extraction and Characterization of Gelatin from Skin By-Products of Seabream, Seabass and Rainbow Trout Reared in Aquaculture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 1-16, ID 12104, 2021.

VALE, Diego Alves do. **Filmes e revestimentos comestíveis do Caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) com aplicação em postas de Serra (*Scomberomorus brasiliensis*) congeladas**. 99 f. Dissertação (Mestrado em ciência e Tecnologia do Pescado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

VALE, Diego Alves et al. Determining the wetting capacity of the chitosan coatings from *Ucides cordatus* and evaluating the shelf-life quality of *Scomberomorus brasiliensis* fillets. **Food Control**, v. 116, p. 1-9, ID 107329, 2020.

VIEIRA, Cláudia Brandão. **Filmes e revestimentos comestíveis do polissacarídeo sulfatado da alga marinha vermelha *gracilaria birdiae* na qualidade do camarão (*litopenaeus vannamei*) congelado**. 110 f. Tese (Doutorado em ciência e Tecnologia do Pescado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

VIEIRA, Gabriel. **Método de avaliação do Índice de Qualidade (MIQ) para verificação do frescor do pescado**. 27p. Trabalho de conclusão de curso em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Uniceplac, Distrito Federal, Gama, 2022.

WANG, G.; LIU, Y.; YONG, H.; ZONG, S.; JIN, C.; LIU, J. Effect of Ferulic Acid-Grafted-Chitosan Coating on the Quality of Pork during Refrigerated Storage. **Food**, v.10, p.1374, 2021.

WANG, H.; DING, F.; MA, L.; ZHANG, Y. Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. **Food Bioscience**, v. 40, ID 100871, p. 1-17, 2021.

XUE, Z.; ZHANG, C.; LIU, J.; LI, Q.; YAO, Y.; YANG, Y.; RAN, C.; ZHANG, Z.; ZHOU, Z. Synthesis of triacetylferulic resveratrol ester and its assessment on the oxidative stability of fish oil during accelerated oxidative storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 184, p. 1-7, ID 115004, 2023.

YAN, M.; JIANG, X.; WANG, G.; WANG, A.; WANG, X.; WANG, X.; ZHAO, X.; XU, H.; AN, X.; LI, Y. Preparação de gel fibrilar de colágeno automontado de pele de tilápia e sua formação na presença de polissacarídeos ácidos. **Polímeros de Carboidratos**, v. 233, p. 1-10, ID 115831, 2020.

YANG, L.; YANG, M.; XU, J.; NIE, Y.; WU, W.; ZANG, T.; WANG, X.; ZHONG, J. Structural and emulsion stabilization comparison of four gelatins from two freshwater and two marine fish skins. **Food Chemistry**, v. 237, p 1-8, ID 131129, 2022.

YERRAMATHI, B. B.; KOLA, M.; MUNIRAJ, B. A.; ALURU, R.; THIRUMANYAM, M.; ZYRYANOV, G. V. Structural studies and bioactivity of sodium alginate edible films fabricante through ferulic acid crosslinking mechanism. **Journal of Food Engineering**, p. 301, 2021.

YILDIZTUGAY, E.; OZFIDAN-KONAKCI, C.; KARAHAN, H.; KUCUKODUK, M.; TURKAN, I. Ferulic acid confers tolerance against excess boron by regulating ROS levels and inducing antioxidant system in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 161, p. 193 - 202, 2019.

YUSOF, N.; JASWIR, I.; JAMAL, P.; JAMI, M. S.; OCTAVIANTI, F. Optimization of process condition for extraction of gelatin from red tilapia skin (*Oreochromis niloticus*) by High Pressure Processing (HPP). **International Food Research Journal**, v. 24, p. 340-347, 2017.

ZHANG, C.; ZHANG, Y.; LUAN, D.; QU, Y.; FAN, Y.; LAI, K. Changes in biogenic amines and total volatile base nitrogen in *Gonatopsis borealis* muscle during storage. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, p. 106-113, 2019.

ZHANG, Y.; REGENSTEIN, J. M. Yield and gel strength of gelatin extracted from smoked salmon (*Salmo salar*) skins. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 26, n. 5, p. 553-565, 2017.

ZHAO, Z.; MOGHADASIAN, M. H. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: a review. **Food Chemistry**, v. 109, p. 691-702, 2008.