



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

**SARA MONALIZA SOUSA NOGUEIRA**

**EFEITO DO REVESTIMENTO À BASE DE GELATINA EXTRAÍDA DE ESCAMAS  
DE *Oreochromis niloticus* NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE *Penaeus  
vannamei* CONGELADO**

**FORTALEZA**

**2024**

SARA MONALIZA SOUSA NOGUEIRA

EFEITO DO REVESTIMENTO À BASE DE GELATINA EXTRAÍDA DE ESCAMAS  
DE *Oreochromis niloticus* NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE *Penaeus vannamei*  
CONGELADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção título de Doutora em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Warlene  
Silva de Souza

FORTALEZA

2024

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)

---

N715e Nogueira, Sara Monaliza Sousa.

Efeito do revestimento à base de gelatina extraída de escamas de *Oreochromis niloticus* na avaliação da qualidade de *Penaeus vannamei* congelado / Sara Monaliza Sousa Nogueira. – 2024.

78 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2024.

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

1. Resíduos de pescados. 2. BVT. 3. TMA. 4. oxidação lipídica. I. Título.

CDD 639.2

---

SARA MONALIZA SOUSA NOGUEIRA

EFEITO DO REVESTIMENTO À BASE DE GELATINA EXTRAÍDA DE ESCAMAS  
DE *Oreochromis niloticus* NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE *Penaeus vannamei*  
CONGELADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção título de Doutora em Engenharia de Pesca.

Aprovada em: 27/02/2024.

BANCA EXAMINADORA:

---

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

---

Profa. Dra. Francisca Gleire Rodrigues de Menezes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antonio Glaydson Lima Moreira  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

---

Dra. Cláudia Brandão Vieira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Karolina Costa de Sousa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus e aos meus entes queridos!

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigada Deus, por me conceder saúde, responsabilidade, resiliência e entusiasmo.

Muito obrigada mãe e pai, por se preocuparam em prover as melhores condições para concretizar meus planos e concluir mais esta etapa na minha vida.

Muito obrigada meu amor e companheiro, Sandro Lordelo, pela atenção, pelo carinho, por sua paciência e cuidado, e por ser meu melhor amigo.

Agradeço também aos meus familiares, por me amarem e me apoiarem em tudo que me proponho a conhecer e fazer.

Meu orientador, Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza, também lhe sou muito grata pela sua confiança, orientação e dedicação, que possibilitaram a realização deste trabalho. Você é um profissional incrível e um homem admirável.

Agradeço também todos os professores que passaram pela minha jornada até hoje, por todo o conhecimento compartilhado.

Agradeço também meus colegas e amigos do Laboratório de Tecnologia do Pescado e da UFC, por me ajudarem nos meus experimentos e por dividirem momentos de alegrias, dificuldades e aprendizados comigo.

Obrigada FUNCAP, pelo apoio financeiro com a bolsa de pesquisa.

Obrigada meus amigos, vocês tornaram meus dias mais leves e divertidos.

Enfim, sou muito grata a todas as pessoas que passaram pelo meu caminho nesses anos e me ajudaram a chegar até aqui. Amo todos vocês!

## RESUMO

O revestimento à base de gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo é uma tecnologia de base renovável e de excelentes benefícios para a preservação de produtos pesqueiros de alto valor comercial. Esta pesquisa visou avaliar a qualidade e vida de prateleira do camarão cinza (*Penaeus vannamei*) revestidos com gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), armazenados congelados a -18 °C por 12 meses. Para isso, foi realizada a extração da gelatina de escamas de tilápia do Nilo; a liofilização desta; sua caracterização por meio de análises físico-químicas (pH, cor, força de gel, composição centesimal, DSC e FTIR); a aplicação por aspersão de solução gelatinosa a 1,5% e 0,2% de glicerol em camarão descascado e descabeçado (revestimento com gelatina – G); e a determinação da qualidade destes camarões revestidos e não revestidos (controle – C) por meio de análises microbiológicas e físico-químicas (determinação de pH, N-BVT, N-TMA e SRATB), no momento inicial, depois a cada 30 dias, por 6 meses, e as duas últimas análises a cada 90 dias (T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>9</sub> e T<sub>12</sub> meses). Os resultados mostraram que a gelatina obtida apresentou boas características físico-químicas e que a solução de revestimento desta foi eficaz na redução da deterioração do camarão com relação aos parâmetros microbiológicos, de pH, N-BVT, N-TMA e oxidação lipídica. Concluiu-se que o uso deste revestimento combinado com armazenamento congelado pode ser uma boa alternativa para manter a qualidade do camarão por longo prazo.

**Palavras-chave:** resíduos de pescados; BVT; TMA; oxidação lipídica.

## ABSTRACT

The gelatin coating extracted from Nile tilapia scales is a renewable technology with excellent benefits for the preservation of fishery products of high commercial value. This research aimed to evaluate the quality and shelf life of shrimp *Penaeus vannamei* coated with gelatin extracted from Nile tilapia scales (*Oreochromis niloticus*), stored frozen at -18°C for 180 days. For this, gelatin was extracted from Nile tilapia scales, lyophilized, characterized by physicochemical analysis (pH, color, gel strength, centesimal composition, DSC and FTIR), the application by spraying of gelatinous solution at 1.5% and 0.2% of glycerol in peeled and headless shrimp (treatment with gelatin – G) and the determination of the quality of these coated and uncoated shrimp (control – C) through microbiological and physical-chemical analyzes (determination of pH, TVB-N, TMA-N and TBARS), at the initial moment and then every 30 days for 6 months, and the last two analyzes every 90 days (T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>9</sub> and T<sub>12</sub> months). The results showed that the gelatin obtained had good physicochemical characteristics and that its coating solution was effective in reducing shrimp deterioration in terms of microbiological parameters, pH, TVB-N, TMA-N and lipid oxidation. It was concluded that the use of this coating combined with frozen storage can be a suitable alternative to maintain the quality of shrimp for long term.

**Keywords:** fish residues; TVB-N; TMA-N; lipid oxidation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da estrutura química da gelatina .....	24
Figura 2 – Fluxograma do processo de extração da gelatina .....	29
Figura 3 – Fluxograma da análise microbiológica das bactérias psicotróficas .....	38
Figura 4 – Cor da gelatina em pó .....	45
Figura 5 – Análise de DSC de gelatina de escamas de tilápia do Nilo .....	48
Figura 6 – Análise de FTIR da gelatina de escamas de tilápia do Nilo .....	50
Figura 7 – Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias psicotróficas detectadas no músculo dos exemplares de camarão de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses, dos tratamentos controle e gelatina .....	52
Figura 8 – Gráfico do pH do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina .....	56
Figura 9 – Gráfico de N-BVT (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina .....	59
Figura 10 – Gráfico de N-TMA (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina .....	62
Figura 11 – Gráfico das SRATB (mg MA eq./Kg de pescado) do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo (R\$) de 1 L de solução de revestimento.....	43
Tabela 2 – Composição centesimal da gelatina .....	46
Tabela 3 – Logaritmo das médias dos valores das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias psicrotróficas detectadas no músculo dos exemplares de camarão de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses, dos tratamentos controle e gelatina.....	52
Tabela 4 – Médias e desvio padrão do pH do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina. ....	55
Tabela 5 – Médias e desvio padrão de N-BVT (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.....	58
Tabela 6 – Médias e desvio padrão de N-TMA (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.....	61
Tabela 7 – Médias e desvio padrão das SRATB (mg MA eq./Kg de pescado) do músculo de exemplares de <i>Penaeus vannamei</i> descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
FAO	Food and Agriculture Organization
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
LATEPE	Laboratório de Tecnologia do Pescado
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
N-BVT	Nitrogênio das Bases Voláteis Totais
N-TMA	Nitrogênio da Trimetilamina
SRATB	Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico
TBA	Ácido Tiobarbitúrico
TCA	Ácido Tricloroacético

## LISTA DE SÍMBOLOS

+	Mais
-	Menos
/	“Por” (divisão)
±	Mais ou menos
cm	Centímetro(s)
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
g	Gramas(s)
h	Hora(s)
Kg	Quilograma(s)
L	Litro(s)
m	Metro(s)
m/v	Massa/volume
min	Minuto(s)
ml	Mililitro(s)
mol/L	Mol/litro
NaOH	Hidróxido de sódio
°	Graus
pH	Potencial hidrogeniônico
s	Segundo(s)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Produção Mundial de Pescados</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Produção Brasileira de Pescados</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Tilápia do Nilo</i></b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Camarão cinza</i></b> .....	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Resíduos e subprodutos da indústria pesqueira</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Escamas de peixes</i></b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Gelatina</i></b> .....	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Revestimentos à base de gelatina na preservação de pescados</b> .....	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Obtenção das escamas de tilápia do Nilo</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Extração da gelatina das escamas de tilápia do Nilo</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Pré-tratamento e desmineralização das escamas</i></b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Hidrólise ácida-alcalina-ácida</i></b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.4</b>	<b><i>Extração térmica de gelatina</i></b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.5</b>	<b><i>Rendimento da extração</i></b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.6</b>	<b><i>Custo do revestimento</i></b> .....	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização físico-química da gelatina</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>pH</i></b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Cor</i></b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Composição centesimal</i></b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.3.1</b>	<b><i>Umidade</i></b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.3.2</b>	<b><i>Cinzas</i></b> .....	<b>33</b>
<b>3.3.3.3</b>	<b><i>Proteína bruta</i></b> .....	<b>33</b>
<b>3.3.3.4</b>	<b><i>Lipídios</i></b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.4</b>	<b><i>Força de gel</i></b> .....	<b>35</b>
<b>3.3.5</b>	<b><i>Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)</i></b> .....	<b>35</b>
<b>3.3.6</b>	<b><i>Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)</i></b> .....	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Obtenção do camarão</b> .....	<b>36</b>
<b>3.5</b>	<b>Preparo da solução de revestimento à base de gelatina</b> .....	<b>36</b>

3.6	Aplicação da solução de revestimento nos camarões .....	36
3.7	Estudo da vida de prateleira.....	37
3.7.1	<i>Análise Microbiológica</i> .....	37
3.7.2	<i>pH</i> .....	38
3.7.3	<i>Nitrogênio das Bases Voláteis Totais (N-BVT)</i> .....	39
3.7.4	<i>Nitrogênio da Trimetilamina (N-TMA)</i> .....	39
3.7.5	<i>SRATB</i> .....	40
3.8	Análise Estatística.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1	Rendimento da extração de gelatina .....	42
4.2	Custo do revestimento.....	43
4.2	Caracterização físico-química da gelatina .....	44
4.2.1	<i>pH</i> .....	44
4.2.2	<i>Cor</i> .....	44
4.2.3	<i>Composição centesimal</i> .....	45
4.2.4	<i>Força de gel</i> .....	47
4.2.5	<i>Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)</i> .....	47
4.2.6	<i>Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)</i> .....	49
4.3	Avaliação dos parâmetros de qualidade .....	52
4.3.1	<i>Análise microbiológica</i> .....	52
4.3.2	<i>pH</i> .....	55
4.3.3	<i>N-BVT</i> .....	58
4.3.4	<i>N-TMA</i> .....	61
4.3.5	<i>SRATB</i> .....	63
5	CONCLUSÃO .....	70
	REFERÊNCIAS .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente reconhecido como um importante ator no segmento do agronegócio, se destacando especialmente na produção e comercialização de *commodities* (produtos brutos), especialmente gêneros alimentícios – grãos das culturas agrícolas e proteínas animais (carnes bovina, suína, de frango e de pescados) (OECD; FAO, 2016). Somente em 2022, o Brasil produziu cerca 700 mil t de pescados (IBGE, 2023).

Pescados são peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos e outros animais aquáticos usados na alimentação humana (BRASIL, 2020). Os pescados são considerados alimentos de elevado valor nutricional. São uma rica fonte de proteína, ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (HUFA), como os ácidos eicosapentaenóico (EPA) e docosahexaenóico (DHA), vitaminas e minerais essenciais (GIANNAKOUROU *et al.*, 2023).

Além disso, o consumo de peixes e frutos do mar, têm efeitos positivos para a saúde humana, como a diminuição do risco de doenças cardíacas e cardiovasculares, diminuição de doenças inflamatórias como artrite e prevenção do câncer (TILAMI; SAMPELS, 2017).

No entanto, os pescados, de modo geral, são produtos muito susceptíveis à deterioração, principalmente devido ao seu pH próximo à neutralidade, ao alto teor de nutrientes, à elevada atividade de água, às reações bioquímicas e ao metabolismo microbiano da fase *post mortem*, resultando em rápida deterioração de sua qualidade comestível (JIA *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2018).

Para garantir a inocuidade dos produtos pesqueiros e a segurança alimentar humana, é preciso estabelecer um controle de qualidade na produção primária e beneficiamento de pescados (GONÇALVES, 2021) e desenvolver tecnologias de preservação sustentáveis, com qualidade e eficiência energética (PAN *et al.*, 2019).

O uso do frio, por exemplo, está entre os métodos mais tradicionais utilizados na indústria de beneficiamento do pescado. Porém, apesar de preservar seu sabor e valor nutricional, sozinhas, as tecnologias de conservação de alimentos que utilizam baixas temperaturas, podem não inibir completamente o crescimento microbiano, a oxidação lipídica e as atividades enzimáticas endógenas, necessitando

de outros métodos, para contornar tais limitações e fornecer produtos pesqueiros com qualidade (FARAJZADEH *et al.*, 2016; GE *et al.*, 2020).

Com isso, novos métodos, independentes dos sistemas atuais ou trabalhando com eles, vem sendo desenvolvidos, tais como: ozônio, atmosfera modificada, irradiação gama, conservantes naturais, filmes e revestimentos comestíveis (NAGARAJAN *et al.*, 2021; GONÇALVES; SANTOS, 2019).

Os filmes e revestimentos comestíveis aplicados na superfície dos alimentos contribuem para o controle de umidade, oxidação lipídica, contaminação microbiana e atividade enzimática, que são vistos como os principais contribuintes prejudiciais para a deterioração dos alimentos (YU *et al.*, 2018).

Além disso, os filmes e revestimentos comestíveis à base de polímeros biodegradáveis, como as gelatinas, têm sido utilizados para melhorar a elasticidade, a consistência e a estabilidade dos alimentos; para a proteção contra desidratação, luz e oxigênio (MARTINS *et al.*, 2018); para retardar a multiplicação de microrganismos deteriorantes e patogênicos; e para melhorar a qualidade e o prazo de validade dos alimentos embalados (ABDELHEDI *et al.*, 2019).

As gelatinas são proteínas produzidas a partir da hidrólise parcial do colágeno e extraídas da pele, ossos e tecido conjuntivo de mamíferos, especialmente bovinos e suínos (ALCÂNTARA *et al.*, 2022). No entanto, preocupações com seu consumo por questões religiosas ou de doenças, como da vaca louca e da febre aftosa, têm incentivado o uso de colágeno e gelatina de pescados como matéria-prima (LIU *et al.*, 2019), em indústrias alimentícias, farmacêuticas, biomédicas, cosméticas e outras, além de suas características físicas, químicas e funcionais únicas (BENJAKUL; KITTIPHATTANABAWON, 2019; PAULA; AMARAL, 2019; SENARATHNA; MARAPANA, 2021).

Na indústria pesqueira, uma preocupação essencial é o aprimoramento das tecnologias de conservação de alimentos perecíveis a fim de produzir produtos com a melhor qualidade possível e maior tempo de prateleira. Nesse contexto, o alto potencial de aplicação dos revestimentos à base de gelatina, na preservação de produtos *premium* altamente perecíveis, como os camarões, justifica os esforços na busca por novas fontes alternativas para a obtenção desse biopolímero (VIEIRA, 2019).



O camarão *Penaeus vannamei* é o crustáceo mais cultivados no mundo (FAO, 2022) e no Brasil (IBGE, 2023). Este pescado é composto, em sua porção muscular, por significativos teores de proteínas de boa qualidade e minerais e baixas concentrações de lipídios e colesterol, constituindo excelente alimento de alto valor nutricional (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Diante desses fatos, algumas questões de pesquisa são levantadas: a) *A extração de gelatina de escamas de peixes, como a tilápia do Nilo, é viável e pode contribuir no aproveitamento integral do pescado, na redução dos desperdícios e impactos ambientais, e no desenvolvimento de novas tecnologias de baixo custo, como os revestimentos de alimentos?* b) *Os revestimentos comestíveis aliados à preservação em baixa temperatura constitui um método de conservação capaz de minimizar os processos de deterioração e melhorar a vida útil de produtos alimentícios, podendo ser amplamente utilizado na indústria pesqueira, a fim de manter o frescor, a qualidade e a segurança de seus produtos, especialmente dos mais nobres, como os camarões?*

Assim, como objetivo geral, o presente estudo buscou avaliar a eficiência do revestimento biodegradável à base de gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e glicerol em camarões cinza (*Penaeus vannamei*) descascados, descabeçados e congelados, na manutenção da qualidade e do tempo de prateleira destes.

Para atingir a meta principal, esta pesquisa visou alcançar os seguintes objetivos específicos:

- estimar o rendimento da extração de gelatina a partir de escamas de tilápia do Nilo;
- caracterizar físico e quimicamente a gelatina extraída e comparar suas propriedades com outras descritas na literatura;
- avaliar a eficiência do revestimento na manutenção da qualidade e do tempo de prateleira do camarão, quanto à degradação microbiana, formação de bases voláteis e oxidação lipídica, ao longo de 12 meses de armazenamento congelado; e

- avaliar a combinação do revestimento biodegradável à base de gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo e glicerol com a baixa temperatura de congelamento no armazenamento dos camarões.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Produção Mundial de Pescados

De todas as proteínas animais usadas na alimentação humana, as carnes de pescados são as mais produzidas em todo o mundo. E a expectativa é que essa demanda continue a crescer bastante até 2025, alavancada especialmente pela produção dos peixes de cultivo (PEIXE BR, 2024; 2022).

Anualmente, milhões de toneladas de pescados são capturados pela pesca e produzidos pela aquicultura em todo o mundo. Segundo *The State of the World Fisheries and Aquaculture 2022*, da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção mundial de animais aquáticos em 2020 foi estimada em 178 milhões de toneladas, onde a pesca de captura contribuiu com 90 milhões de toneladas (51%) e a aquicultura com 88 milhões de toneladas (49%). Da produção total, 112 milhões de toneladas (63%) foram oriundas de águas marinhas (70% da pesca de captura e 30% da aquicultura) e os outros 66 milhões de toneladas (37%), foram provenientes de águas interiores (83% da aquicultura e 17% da captura pesca).

Além de animais aquáticos, 36 milhões de toneladas (peso úmido) de algas foram produzidas em 2020, das quais 97% originadas da aquicultura, principalmente da aquicultura marinha. O valor total da venda da produção global em 2020, foi estimado em US\$ 406 bilhões, sendo US\$ 141 bilhões da pesca de captura e US\$ 265 bilhões da aquicultura. Dessa produção global, mais de 157 milhões de toneladas (89%) foram utilizados para consumo humano e os outros 20 milhões de toneladas, para outros fins, como produção de farinha de peixe e óleo de peixe (FAO, 2022).

### 2.2 Produção Brasileira de Pescados

A aquicultura, em especial a piscicultura, é a atividade agropecuária que mais cresce no mundo, e o Brasil tem capacidade e potencial para acompanhar esse desenvolvimento. As maiores produções oriundas da aquicultura no Brasil são de peixes. Segundo o *Anuário Peixe BR da Piscicultura 2024*, da Associação Brasileira da Piscicultura, somente a piscicultura nacional produziu em 2023 cerca de 887 mil t

de peixes de cultivo, representando um crescimento de 3,1% sobre a produção de 2022 (860 mil t). E, dentre as espécies mais produzidas, a tilápia continua sendo a de maior destaque, respondendo com 579.080 toneladas (65,3% do total); seguida pelos peixes nativos, como tambaquis e curimatãs 263.479 toneladas (29,7% do total) e de outras espécies, como carpas, trutas e pangásius atingiram 44.470 toneladas (5% do total) (PEIXE BR, 2024).

### **2.2.1 Tilápia do Nilo**

A tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), da família dos ciclídeos (Cichlidae), é de origem africana, rústica e onívora, de clima tropical, habita ambientes de água doce ou salobra, desenvolve-se muito bem em temperaturas entre 14 e 33 °C, com faixa de conforto técnico entre 25 e 30 °C, e são resistentes a altas densidades populacionais e baixos teores de oxigênio. A tilápia possui ainda boas características nutricionais de sua carne, ausência de espinhas em forma de “Y” facilitando o processo de industrialização e consumo (ABDEL-FATTAH EL-SAYED, 2020; SEBRAE, 2016).

A tilápia do Nilo se reproduz facilmente em cativeiro, apresenta boas taxas de sobrevivência e crescimento, é resistente ao manejo, às variações ambientais e às enfermidades, possui alta produtividade, boa taxa de conversão alimentar e boa aceitação no mercado consumidor (ABDEL-FATTAH EL-SAYED, 2020). Sendo a espécie de peixe mais produzida no mundo (FAO, 2022) e no Brasil (PEIXE BR, 2024).

O país é o quarto maior produtor mundial de tilápias, ficando atrás apenas da China, com 2,05 milhões de t produzidas, seguida da Indonésia (1,45 milhão de t) e do Egito (1,10 milhão de t) (PEIXE BR, 2024). Dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) apontam que em 2022, foram produzidos 408.350 t de tilápia, correspondendo a um valor de produção de R\$ 3,46 bilhões. Os principais destinos das exportações de tilápia foram os Estados Unidos, com cerca de 73% das exportações de tilápia (US\$ 13 milhões), seguidos pela China (US\$ 1,6 milhão) e Chile (US\$ 0,95 milhão) (PEIXE BR, 2022).

### 2.2.2 Camarão cinza

Camarões são animais artrópodes (crustáceos), ricos em proteínas, minerais (selênio, cálcio, iodo, potássio e zinco), vitaminas (D, E e B12) e ácidos graxos poli-insaturados (ômega 3), e que apresentam baixo teor de gordura se comparado com outros tipos de carnes (LI *et al.*, 2018; PAN *et al.*, 2019).

A criação de camarões é chamada de carcinicultura ou carcinocultura, e ela pode ser marinha ou de água doce (SEBRAE, 2018). No mundo, a espécie de camarão mais cultivada é a marinha *Penaeus vannamei* (antes chamado de *Litopenaeus vannamei*), respondendo por 70% da produção mundial de camarões (LI *et al.*, 2018).

*P. vannamei* (Boone, 1931), da família dos peneídeos (Penaeidae) (ITIS, 2023), é mundialmente chamado de camarão branco do Pacífico (JIA *et al.*, 2019), e popularmente no Brasil, de camarão cinza (SEBRAE, 2018). É a espécie que predomina no país (ROCHA, 2022).

Segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal PPM 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) entre 2017 e 2022, a produção de camarão no Brasil cresceu 275%, saindo de 41,1 mil t para 113,3 mil t, respectivamente. E as projeções para 2023 são crescentes (ROCHA, 2022).

A produção de camarões é economicamente importante para a região Nordeste do país. Sozinha, ela é responsável pela quase totalidade da produção nacional, com destaque para os Estados de Ceará e Rio Grande do Norte, com 54% (61,3 mil t) e 22% (25,2 mil t) do volume total nacional, respectivamente, em 2022 (IBGE, 2023).

O camarão é considerado um produto nobre, devido ao seu elevado preço de mercado. Infelizmente, isso reflete no baixo consumo per capita dessa proteína no Brasil, que é de menos de 1 Kg por habitante/ano (SEBRAE, 2018).

O camarão é um importante marisco com considerável valor econômico em muitos países do mundo (MINH, 2019). Muitos consumidores preferem camarões devido à sua carne branca de alto teor proteico, baixo teor de gordura (especialmente o colesterol) e fácil digestão. No entanto, são altamente perecíveis, se degradando durante os procedimentos de processamento, transporte, preservação e varejo, pelas

atividades de proteólise enzimática, oxidação lipídica e degradação microbiana (PAN *et al.*, 2019).

A absorção de água, a contaminação cruzada microbiana, a oxidação lipídica e a descoloração são os principais obstáculos em sua preservação (MINH, 2019). Com isso, camarões necessitam de tecnologias de preservação sustentáveis e com qualidade para melhorar sua vida útil (PAN *et al.*, 2019).

### **2.3 Resíduos e subprodutos da indústria pesqueira**

A indústria pesqueira, além de produzir um grande volume de produtos pesqueiros de alto valor econômico, também gera uma considerável quantidade de resíduos (MARTINS *et al.*, 2018), o que é motivo de grande preocupação mundial (ANEESH *et al.*, 2023).

O desperdício nas indústrias de processamento pode chegar até 85% em peso (LIU *et al.*, 2022). Em geral, esse material é simplesmente descartado, podendo contribuir para a poluição ambiental (SOUSA *et al.*, 2022). Esses resíduos são compostos por cabeças (9–12%), vísceras (12–18%), pele (1–3%), ossos (9–15%) e escamas (5%) (BORONAT *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, esse material de valor econômico relativamente baixo, vem deixando de ser considerados resíduos, para constituir matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos passíveis de exploração, agregando valor e reduzindo desperdícios e impactos ambientais, pois possuem valiosas fontes nutricionais, como proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas e sais minerais (MARTINS, 2015; MARTINS *et al.*, 2018).

Os resíduos de pescado podem ser utilizados na formulação ou extração de subprodutos, tais como: a carne mecanicamente separada (CMS) e o surimi, que possuem alto valor nutricional (ROSSETTO; SIGNOR, 2020); proteínas miofibrilares (GÓES-FAVON *et al.*, 2021); ácido hialurônico e outros biocompostos de enorme aplicabilidade e alto valor agregado (ALCÂNTARA *et al.*, 2023). E na fabricação de embalagens biodegradáveis à base de proteínas, como alternativa ao uso de polímeros não degradáveis (SUPUT *et al.*, 2017); e na fabricação de filmes e revestimentos à base de gelatina (NITSUWAT *et al.*, 2021), capazes de retardar a multiplicação de microrganismos deteriorantes e patogênicos, melhorando a

qualidade e o prazo de validade dos alimentos embalados (ABDELHEDI *et al.*, 2019; MIRZAPOUR-KOUHDASHT; MOOSAVI-NASAB, 2019).

### **2.3.1 Escamas de peixes**

As escamas de peixe são biocompostos, formadas sobre a pele de muitos animais como órgão de proteção e são quimicamente, constituídas de duas regiões: uma fase inorgânica e uma fase orgânica (MARTINS *et al.*, 2015). A primeira é formada de faixas de hidroxiapatita com pequena porcentagem de teor de  $\text{CaCO}_3$ ; e a outra, de proteínas como o colágeno, a queratina e a mucina (variando de 41% a 84%) (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015).

Em geral, são compostas por uma camada externa (óssea) com fibras de colágeno orientadas aleatoriamente e uma camada interna composta por fibrilas de colágeno tipo I em uma estrutura semelhante a madeira compensada. E são classificadas com base nessa microestrutura (como ctenóide, ciclóide e ganóide) (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015).

As escamas de peixe correspondem de 2 a 4% do resíduo seco do processamento de peixes, e, de modo geral, são uma matéria-prima inexplorada, um subproduto do mercado de pescados que basicamente é jogado no lixo ou no mar (CALDATO; NAVES; ZATTA, 2019; MARTINS, 2015).

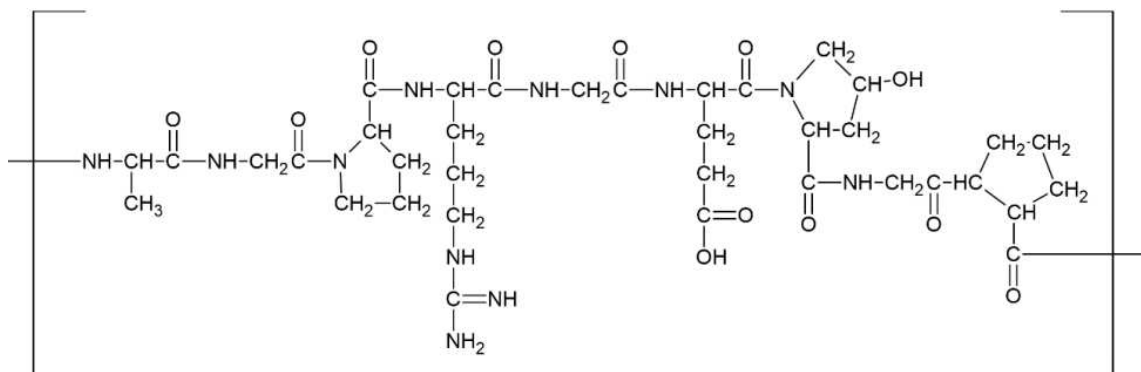
As escamas da tilápia são cicloides, normalmente finas, subcirculares e com a margem lisa (MARTINS, *et al.*, 2015). Em termos de resíduos da produção de carne de tilápia do Nilo, 1% da massa é de escamas, as quais são geralmente descartadas em efluentes ou encaminhadas para a fabricação de ração animal (CALDATO; NAVES; ZATTA, 2019).

Na literatura, é crescente o número de estudos que utilizam escamas de peixes diversos (carpa prateada asiática, carpa capim, carpa dourada, tilápia, dentre outros) para extração de gelatinas por diferentes metodologias (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015) para diversas aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de cosméticos (MARTINS *et al.*, 2018).

### 2.3.2 Gelatina

A gelatina (Figura 1) é uma proteína resultante da desnaturação do colágeno (RIGUETO *et al.*, 2022), formada por 18 diferentes aminoácidos, sendo uma mistura de peptídeos e proteínas produzida a partir da hidrólise parcial do colágeno (proteína mais abundante em mamíferos, aves e peixes), presente na pele, tecido conjuntivo branco e ossos de animais (ALCÂNTARA, 2015).

Figura 1 – Representação da estrutura química da gelatina



Fonte: Adaptado de Paula e Amaral (2019).

Essa proteína é um biopolímero que possui facilidade de dissolução; é biodegradável; tem características como cor, transparência e sabor/flavor atraentes; um baixo custo de produção, alta disponibilidade e abundância de matéria-prima; atua na proteção contra desidratação, luz e oxigênio; possui propriedades de barreira eficientes contra oxidação de lipídios de alimentos; e tem alta capacidade de formação de filmes comestíveis (ALCÂNTARA, 2015).

Em razão das suas características físicas, químicas e funcionais únicas, como biocompatibilidade e biodegradabilidade, as gelatinas têm sido extensivamente aplicadas nas indústrias farmacêutica, cosmética, alimentícia, biomédica e fotográfica (LIAO *et al.*, 2021; SENARATHNA; MARAPANA, 2021).

Na farmacêutica e cosmética, ela pode ser utilizada na fabricação de cápsulas, curativos, absorventes, suplementos de saúde, xampus, condicionadores e batons (BENJAKUL; KITTIPHATTANABAWON, 2019).



Na indústria alimentícia, a gelatina é muito usada por fornecer um efeito único de derreter na boca após o consumo e ser um agente formador de gel de proteína termorreversível (NITSUWAT *et al.*, 2021). Sendo amplamente aplicada como agentes espumantes, emulsificantes e umectantes, melhorando a qualidade de alimentos como laticínios (melhorando a estabilização e texturização); em confeitos (para melhorar a mastigabilidade, textura e estabilização de espuma); em produtos de panificação (aprimorando a emulsificação, gelificação e estabilização); em produtos à base de carne (a fim de aumentar a capacidade de retenção de água); e em pastas com baixo teor de gordura (diminuindo a gordura e melhorar a cremosidade e a sensação na boca) (ZHANG *et al.*, 2020).

As gelatinas são extraídas de diferentes fontes animais e usando diferentes métodos de extração (usando tratamentos com ácidos, bases e enzimas, em variadas temperaturas e tempo de extração). As fontes animais e os métodos de extração escolhidos afetam significativamente os pesos moleculares e as composições de aminoácidos das gelatinas obtidas, que determinam suas estruturas moleculares (estrutura secundária, terciária e quaternária), propriedades físico-químicas e propriedades funcionais (ZHANG *et al.*, 2020).

Das gelatinas comerciais, 95% são derivadas de mamíferos, especialmente suína e bovina (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015). No entanto, devido a preocupações religiosas (de muçulmanos, hindus e judeus) e com as doenças da vaca louca e febre aftosa, a gelatina extraída a partir do colágeno de peixes, tem sido uma alternativa promissora às gelatinas de mamíferos e aves (SENARATHNA; MARAPANA, 2021; LIU *et al.*, 2019).

Na literatura, há vários estudos de extração de gelatina a partir de resíduos e subprodutos de peles, ossos, barbatanas e escamas de peixes (RIGUETO *et al.*, 2022). Desses subprodutos, as peles de peixes (como tilápia, salmão, carpa comum, carpa prateada, baiacu e atum) são as mais pesquisadas (ZHANG *et al.*, 2020). Já a gelatina de escamas está entre as menos estudadas (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015). Ela apresenta características semelhantes à gelatina extraída de porcos e, já é utilizada como um aditivo em alimentos, remédios e cosméticos (CALDATO; NAVES; ZATTA, 2019); na produção de filmes e revestimentos comestíveis (ALCÂNTARA *et al.*, 2022); e como membrana osteopromotora de regeneração óssea (SOUSA *et al.*, 2022).

Martins *et al.* (2015), por exemplo, observaram que a extração de gelatina a partir de escama de tilápia do Nilo apresentou boas características, como elevada força de gel, conferindo potencial tecnológico para sua aplicação em matriz polimérica para elaboração de filmes comestíveis e obtenção de hidrogéis para processos de liberação controlada de princípios bioativos, entre outras.

No Brasil, o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), já reconhece a gelatina de pescado como um produto obtido a partir da hidrólise do colágeno presente nos tecidos, ossos, peles e cartilagens de pescados (BRASIL, 2020).

#### **2.4 Revestimentos à base de gelatina na preservação de pescados**

Os produtos pesqueiros têm um alto valor nutricional em relação às quantidades benéficas de proteínas, lipídios e micronutrientes essenciais. Eles possuem uma composição de aminoácidos bem equilibrada, altas proporções de taurina e colina, vitaminas A, D3 e B12 e os minerais cálcio, fósforo, iodo, selênio, ferro e zinco (TILAMI; SAMPELS, 2017).

No entanto, são mais vulneráveis à deterioração que a maioria das outras carnes após o armazenamento *post mortem* por causa de suas grandes quantidades de enzimas endógenas, um pH mais neutro e pequenas moléculas que podem servir como nutrientes para organismos deteriorantes (JIA *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2018).

A perda da qualidade se dá especialmente pela atividade das enzimas endógenas durante o armazenamento, que degradam os ácidos graxos insaturados em aldeídos, cetonas e ácidos graxos inferiores, ocasionando uma redução nas propriedades nutritivas e do frescor. E o alto teor de ácidos graxos insaturados em produtos pesqueiros os tornam mais suscetíveis à oxidação lipídica do que outros alimentos musculares, como carne suína, bovina e ovina (PAN *et al.*, 2019).

As alterações causadas pela atividade bioquímica, físico-química e microbiana resultam no acúmulo de substâncias deletérias e odores desagradáveis, podendo ocasionar problemas econômicos ou de saúde (YU *et al.*, 2018).

Devido ao aumento das demandas por segurança, nutrição e frescor dos produtos de camarão, são necessárias tecnologias de preservação sustentáveis, com qualidade, eficiência energética e manutenção. Para manter a qualidade e aumentar

a vida útil dos produtos pesqueiros, diferentes estratégias conservantes têm sido empregadas para o armazenamento e distribuição, como controle de temperatura, controle de umidade e inibição de atividades (PAN *et al.*, 2019).

Em geral, a baixa temperatura de armazenamento é usada para reduzir as taxas de autólise enzimática, oxidação lipídica e degradação microbiana de alimentos perecíveis. No entanto, a condição de baixa temperatura pode não inibir completamente o crescimento microbiano, a oxidação lipídica ou as atividades enzimáticas endógenas, afetando assim os atributos sensoriais (textura, odor e outros) e os valores comerciais do pescado (GE *et al.*, 2016).

A principal causa de deterioração de muitos alimentos refrigerados é o crescimento microbiano na superfície do produto. A microbiota do peixe fresco refrigerado é dominada por gêneros Gram-negativos, incluindo *Shewanella putrefaciens*, *Pseudomonas* spp., *Moraxella* e *Acinetobacter*, capazes de utilizar o óxido de trimetilamina como acceptor final de elétrons na respiração anaeróbica, resultando em sabores e odores "estranhos" devido à formação de trimetilamina (HOSSEINI *et al.*, 2016).

Diante desse fato, modernos métodos de conservação de alimentos, como a atmosfera modificada, a irradiação gama, os conservantes naturais e os revestimentos comestíveis, têm sido utilizados pela indústria de beneficiamento de produtos alimentícios para reduzir e/ou evitar o crescimento de microrganismos contaminantes e degradantes, e ainda auxiliar a manter as características sensoriais e nutricionais do produto sem a necessidade da utilização dos conservantes químicos (NAGARAJAN *et al.*, 2021).

O revestimento comestível é uma técnica de conservação, que se baseia em cobrir o alimento com uma fina camada de um material protetor, capaz de reduzir o contato deste com o meio externo, minimizando as trocas gasosas, a perda de umidade e massa, retardando a oxidação lipídica, evitando a perda da funcionalidade da proteína e mudanças de cor, reduzindo odores desagradáveis, além da preservação do sabor e aroma (FARAJZADEH *et al.* 2016; FRIEDRICH, 2017).

Além disso, os filmes e revestimentos comestíveis aplicados na superfície dos alimentos contribuem no controle da umidade, oxidação lipídica, contaminação microbiana e atividade enzimática, que são vistos como os principais contribuintes prejudiciais para a deterioração dos alimentos (YU *et al.*, 2017).

Esses biopolímeros são biodegradáveis, e por isso constituem uma alternativa menos nocivas ao meio ambiente, se comparados aos materiais plásticos. E ainda, concedem brilho ao alimento e tornam sua aparência mais atrativa para o consumo (MONTEIRO, 2019). Vários materiais comestíveis, como proteína de soro de leite, soja, glúten de trigo (ZINK *et al.*, 2016) e quitosana demonstraram ter efeitos positivos no prolongamento da vida útil de produtos da pesca (GE *et al.*, 2020; NOWZARI; SHABANPOUR; OJAGH, 2013; YU *et al.*, 2018; 2017; YUAN *et al.*, 2016a). A quitosana, por exemplo, tem sido amplamente aplicada na preservação de produtos marinhos, incluindo peixes inteiros, filés de peixe fresco, moluscos e camarões devido às suas características não tóxicas, atividades antimicrobianas e antifúngicas, biodegradabilidade e biocompatibilidade e sua propriedade de formação de filme (YUAN *et al.*, 2016b; WU, 2014).

A gelatina também vem sendo estudada por pesquisadores como revestimento para melhorar a qualidade e prolongar a vida útil de produtos pesqueiros (ALCÂNTARA *et al.*, 2022; MIRZAPOUR-KOUHDASHT; MOOSAVI-NASAB, 2019). Na maioria desses estudos, os produtos de pesca revestidos e analisados são filés de peixes ou camarões inteiros frescos, mantidos apenas sob refrigeração ou semicongelados, ou seja, entre 4 e -5 °C, e por curtos períodos (entre 8 e 30 dias). No entanto, faltam pesquisas sobre a aplicação dos revestimentos de gelatina para preservar camarões mantidos congelados por vários meses. Em vista disso, este estudo buscou avaliar o efeito do revestimento de gelatina à base de escamas de tilápia do Nilo e glicerol, na qualidade e vida útil do camarão *P. vannamei*, durante o armazenamento congelado por 12 meses.

### 3 METODOLOGIA

O material utilizado neste estudo foi cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o número cadastrado na plataforma SISGEN com o código A058F53.

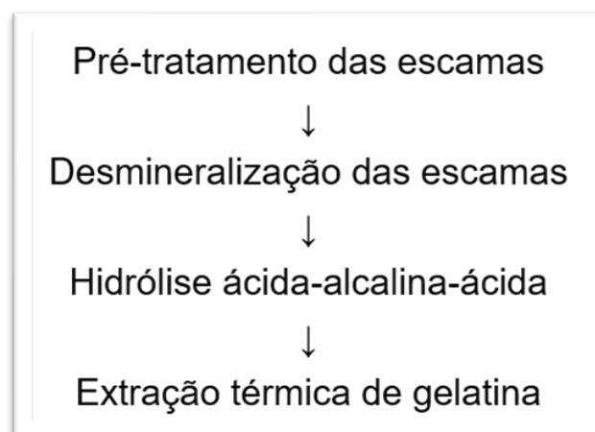
#### 3.1 Obtenção das escamas de tilápia do Nilo

As escamas da tilápias do Nilo adultas, foram adquiridas frescas de uma peixaria localizada em Fortaleza/CE e levadas para o Laboratório de Tecnologia do Pescado (Latepe), do Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza, Ceará.

#### 3.2 Extração da gelatina das escamas de tilápia do Nilo

O processo de extração da gelatina (Figura 2), foi iniciado assim que as escamas de tilápia do Nilo chegaram ao Latepe, seguindo a metodologia descrita por Martins *et al.* (2015), com algumas adaptações, detalhadas a seguir.

Figura 2 – Fluxograma do processo de extração da gelatina



Fonte: Autora (2024).

### **3.2.1 Pré-tratamento e desmineralização das escamas**

No laboratório, as escamas foram lavadas em água corrente para tirar o excesso de resíduos (sangue, pedaços de carne e nadadeiras, sujeiras e outros fragmentos). Depois, foram secas em estufa, a 35 °C por aproximadamente 24 h e armazenadas em temperatura ambiente (cerca de 25 °C).

Para a desmineralização foram pesadas mil gramas (g) de escamas secas e adicionada uma solução de cloreto de sódio (NaCl P.A.-A.C.S, Synth, Brasil) 10% (m/v) na proporção 1:10 (m/v), ficando a mistura em repouso por 24 h a 25 °C.

Na sequência, foi realizada a lavagem das escamas com água destilada, imersão em ácido clorídrico (HCl P.A. ACS, Alphatec, Brasil) 0,4 mol/L na proporção 1:10 (m/v), e deixadas em repouso por 90 min. A solução, depois, foi neutralizada com NaOH para descarte.

As escamas, então, foram lavadas com água destilada até a retirada do excesso da solução e secas em estufa a 35 °C por 24 h, a fim de ficarem completamente secas, sendo então pesadas e armazenadas em temperatura ambiente (25 °C) até a próxima etapa do processo de extração.

### **3.2.2 Hidrólise ácida-alkalina-ácida**

Para o processo de hidrólise foi realizada a aplicação sequencial de ácido, base e ácido, à temperatura ambiente, sem agitação, e lavadas com água destilada para retirada do excesso da solução usada em cada etapa.

Primeiro, as escamas foram imersas em ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH 99,7% P.A.-A.C.S., Alphatec, Brasil) 0,1 mol/L na proporção 1:10 (m/v) durante 1 h. Logo a seguir, foi aplicado o tratamento alcalino com hidróxido de sódio (NaOH em lentilhas P.A., Neon, Brasil) 0,1 mol/L na proporção de 1:3 (m/v) durante 1 h. Por fim, o tratamento com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> P.A.-A.C.S., Dinâmica, Brasil) 0,1 mol/L na proporção de 1:3 (m/v) durante 1 h. As soluções usadas nesta fase foram neutralizadas com NaOH ou HCl para o descarte.

### 3.2.4 Extração térmica de gelatina

De posse das escamas desmineralizadas e hidrolisadas, a extração térmica da gelatina foi iniciada imergindo as escamas, em água destilada, na proporção de 1:4 (m/v) por 2 h, em banho maria a 60 °C, sob agitação, em grande reator com chiller (modelo 521-5D, Ethik Technology, Brasil) e agitador mecânico (modelo 713D, Fisatom, Brasil). Na sequência, foi realizada a filtração. A parte líquida foi deixada esfriando, e as escamas retornaram ao reator para uma segunda extração, agora na proporção de 1:2 (m/v) por mais uma hora. Depois, realizada nova filtração. As escamas foram descartadas e a segunda mistura líquida foi acrescentada à primeira e, então, colocada em recipientes de alumínio, congelada em freezer de temperatura ultrabaixa (modelo MDF-U33V, Sanyo, Japão) e liofilizada (modelo LP510, Liotop, Brasil), para a obtenção da gelatina seca, e depois triturada em moinho analítico (modelo LS-06MB-N, Skymesen, Brasil) para a obtenção da gelatina em pó.

### 3.2.5 Rendimento da extração

O rendimento da extração foi calculado pela razão do peso seco da gelatina obtida ao final do processo pelo peso seco do resíduo inicial utilizado (escamas), conforme a equação 1 (MARTINS *et al.*, 2015):

$$R (\%) = \frac{m(\text{gelatina})}{m(\text{escamas})} \times 100 \quad (1)$$

onde R (%) é o rendimento da extração, em porcentagem;  $m(\text{gelatina})$  é a massa obtida de gelatina em pó, ao final do processo, em gramas; e  $m(\text{escamas})$  é a massa seca de escamas no início do processo, em gramas.

### 3.2.6 Custo do revestimento

Após a obtenção do rendimento da extração, foi realizado o cálculo estimado do custo da solução de revestimento. O custo inicial foi calculado através dos reagentes utilizados em cada extração, sem contabilizar água e energia elétrica.

### **3.3 Caracterização físico-química da gelatina**

De posse da gelatina seca, esta foi qualificada físico-quimicamente, de acordo com as metodologias descritas a seguir.

#### **3.3.1 pH**

O pH foi determinado com o auxílio de um pHmetro de bancada (Kasvi, modelo K39-2013B), com eletrodo de vidro, usando 50 mL de solução de gelatina 6,67 % (m/v) a 25 °C, conforme adotado por IAL (2008), em oito repetições.

#### **3.3.2 Cor**

A cor da gelatina em pó foi acurada de acordo com a metodologia adotada por Souza Filho (2012), por meio de um colorímetro portátil da Shenzhen ThreeNH Technology CO. Ltd. (modelo NR200), utilizando-se as coordenadas de cor L\*, a\*, b\* do sistema CIELab, onde foram feitas oito repetições.

#### **3.3.3 Composição centesimal**

A análise elementar da gelatina de escamas de tilápia foi determinada, em triplicata, segundo a metodologia oficial da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2000) e IAL (2008), detalhadas a seguir.

##### **3.3.3.1 Umidade**

Para a determinação da umidade, por método gravimétrico, primeiro numerou-se os cadinhos, colocou-se em estufa a 105 °C por 40 min para retirar sua umidade e deixou-se esfriar em dessecador por 1 h. Depois, eles foram pesados e tarados em balança analítica (modelo AR2140, OHAUS, USA). Na sequência, pesou-se cerca 3,0 g de amostra dentro do cadinho, e levou-se o conjunto para aquecer em estufa a 105 °C por 24 h.



No dia seguinte, o conjunto foi deixado em dessecador por cerca de uma hora para resfriar e, então, pesou-se ambos. Para a obtenção do valor da umidade, calculou-se a diferença de pesos entre a amostra seca e a amostra úmida, retirando-se o peso do cadinho, conforme a equação 2:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{(\text{peso cadinho} + \text{amostra úmida}) - (\text{peso do cadinho} + \text{amostra seca})}{\text{peso da amostra úmida}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.3.3.2 Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, também por método gravimétrico, pegou-se os cadinhos pesados com as amostras secas, após a determinação da umidade, e levou-se os conjuntos para incinerar em mufla a 550 °C, até a incineração completa ou coloração cinza.

Então, deixou-se a amostra esfriar até 100 °C dentro da mufla e depois transferiu-se para o dessecador por 1 h. Por fim, pesou-se os cadinhos com as cinzas em balança analítica, utilizando a equação 3, seguinte:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{(\text{peso cadinho} + \text{cinzas}) - (\text{peso do cadinho})}{(\text{peso cadinho} + \text{peso da amostra úmida}) - (\text{peso cadinho})} \times 100 \quad (3)$$

### 3.3.3.3 Proteína bruta

Para esta, foi utilizado o método de Kjeldahl, baseando-se na determinação do nitrogênio total da amostra, que é convertido em proteína total. Primeiro pesou-se em papel vegetal 0,2 g da gelatina em pó. Depois, passou-se para um balão de Kjeldahl e acrescentou-se 2 g de catalisador e 4 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (P.A., Dinâmica, Brasil). Em seguida, a amostra foi transferida para o digestor de Kjeldahl (TE-036/1, Tecnal, Brasil) e aquecida brandamente no início a 150° C e depois mais energicamente à 350 °C até o final da digestão marcada pelo desaparecimento da cor escura.

A próxima etapa foi passar para o destilador, lavando os balões duas vezes com um pouco de água. A mistura foi neutralizada utilizando 10 mL de hidróxido de

sódio (NaOH) (Neon, Brasil), a 50%, até o aparecimento da cor escura do óxido de cobre formado.

Em seguida, foi feita a destilação com arraste de vapor, recolhendo o destilado em Erlenmeyer com 10 mL de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) a 2% com 3 gotas do indicador misto de verde de bromocresol (P.A. -A.C.S, Alphatec, Brasil) e vermelho de metila (P.A. -A.C.S, Alphatec, Brasil). Após 20 min do início do desprendimento de amônia, a destilação foi parada pois todo o nitrogênio desprendeu-se. O destilado foi então titulado com ácido clorídrico (HCl) (P.A., Alphatec, Brasil) 0,04 N padronizado (normalidade), e para o cálculo da porcentagem de proteína, foi utilizada a seguinte equação 4:

$$N (\%) = \frac{(\text{volume HCl} - \text{volume branco}) \times 0,014 \times 0,04 \text{ N HCl} \times \text{Fator do HCL}}{\text{peso da amostra}} \times 100 \quad (4)$$

onde 0,04 N é a normalidade do HCl e a determinação do volume branco é feita antes da determinação das amostras.

Por fim, para determinar o teor de nitrogênio na amostra de acordo com a norma ISO 1871, foi multiplicado o valor obtido por 6,25 para obtenção do teor de proteína (Pt), conforme a equação 5, sendo o resultado obtido expresso em g/100g.

$$Pt = N(\%) \times 6,25 \quad (5)$$

#### 3.3.3.4 Lipídios

O método gravimétrico para determinação do conteúdo de gordura iniciou-se pesando 3,0 g de amostra, colocando-a em cartucho de papel filtro e em estufa a 105 °C por 3 h para retirar o excesso de água. Também, foram colocados balões de Soxhlet na estufa a 105 °C por 1 h, e em dessecador para a redução da temperatura e posterior numeração e medição de seus pesos.

Depois, os cartuchos foram colocados nos balões de Soxhlet, e a eles adicionado 100 mL de acetona (solvente) nos balões. Então ligou-se o sistema de água do condensador e o extrator de Soxhlet (Tecnal, Brasil). A extração levou cerca de 2 horas a 90° C com um gotejamento de 30 min. Ao final, os balões foram retirados

do aparelho, colocados em estufa para volatilizar a acetona residual e, então, pesados após esfriarem.

O cálculo para obtenção de lipídeo (%) foi dado pela equação 6:

$$\text{Lipídeo (\%)} = \frac{(\text{peso do balão + óleo}) - (\text{peso do balão})}{\text{peso da amostra}} \times 100 \quad (6)$$

### **3.3.4 Força de gel**

A análise de força de gel foi realizada com um texturômetro (modelo TA-XT2i, Stable Micro System, Reino Unido), medindo-se a força equivalente à massa necessária em gramas para um cilindro de 12,70 mm de diâmetro penetrar a uma profundidade de 4 mm em um gel de gelatina de 6,67% (m/m), por 24 h a 10 °C, de acordo com a metodologia descrita pelo *Gelatin Manufacturers Institute of America* (GMIA, 2019), em 10 repetições.

### **3.3.5 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**

A DSC foi realizada usando um mensurador DSC (modelo DPUion Q20, TA Instruments, EUA), em atmosfera de nitrogênio, com uma taxa de fluxo constante de 50 ml.min<sup>-1</sup>, cerca de 2,1 mg da amostra em pó, taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> e faixa de temperatura de 0 a 400 °C, conforme Martins *et al.* (2018).

### **3.3.6 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)**

A análise de FTIR, pelo método KBr, as amostras secas e em pó foram misturadas com brometo de potássio e prensadas em pastilhas. Depois foram lidas em espectrofotômetro (modelo FT-IR, Varian, EUA) na faixa de comprimento de entre 4.000 e 400 cm<sup>-1</sup> e resolução de 2 cm<sup>-1</sup>, em 64 varreduras, de acordo com Muyonga, Cole e Duodu (2004).

### 3.4 Obtenção do camarão

Quinze quilos (kg) de camarão cinza (*Penaeus vannamei*), de tamanho médio de 11 cm, foram adquiridos frescos (abatidos na hora em gelo) de uma fazenda em Russas, Ceará, Brasil. Estes foram cuidadosamente acondicionados em caixas isotérmicas com gelo (1:1) e imediatamente transportados para o Latepe/UFC.

No laboratório, os exemplares foram descascados, descabeçados, lavados com água fria potável, pesados (9 kg), separados em lotes de meio quilo, embalados e congelados a -18 °C para realizar o revestimento (glaciamento) no dia seguinte.

### 3.5 Preparo da solução de revestimento à base de gelatina

A composição e concentração da solução utilizada no revestimento dos camarões, foi baseada em Alcântara (2015) e Alcântara *et al.* (2022), que pelas análises dos coeficientes de espalhamento e molhabilidade, a solução de 1,5% de gelatina e 0,2% de glicerol, se apresentou melhor no revestimento desse produto pesqueiro.

Para preparar tal solução de revestimento, foram dissolvidas 15 g de gelatina seca em 1000 mL de água esterilizada mais 2 mL de glicerol, sob agitação, a uma temperatura de 30 °C por cerca 20 min. E, após a completa diluição, a solução foi colocada em uma capela de fluxo laminar (modelo Pa40, Pachane, Brasil) sob luz ultravioleta por 30 min para esterilização e depois mantida sob refrigeração até o uso.

### 3.6 Aplicação da solução de revestimento nos camarões

Para o revestimento (glaciamento) dos camarões, estes foram separados em dois grupos: o controle (C), com 4,5 kg de camarões descascados e descabeçados que não foram revestidos, e o tratamento com revestimento de gelatina (G). Os 4,5 kg de camarões do tratamento G foram dispostos em uma grelha de aço inoxidável plana à temperatura ambiente e aspergidos (*spray*) com o auxílio de um borrifador com a solução de revestimento em temperatura ambiente, de um lado, deixando escorrer e secar por 1 min para formar o filme, virados e aspergidos do outro lado, deixando escorrer e secar por mais 1 min. Depois, todas as amostras, incluindo as revestidas e

as não revestidas (C), foram colocadas em bandejas de isopor de 10 x 20 cm estéreis e embaladas com polipropileno. Em seguida, foram identificadas e congeladas em freezer vertical (Frost Free 228 Litros - BVR28NB, Brastemp, Brasil) a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até o uso posterior, nas análises de qualidade e vida de prateleira.

### **3.7 Estudo da vida de prateleira**

Para as análises de qualidade e vida de prateleira dos exemplares, foram adotadas as metodologias descritas a seguir, e realizadas análises microbiológicas e físico-químicas (pH, N-BVT, N-TMA e SRATB), de amostras dos camarões revestidos (G) e não revestidos (C), no momento zero ( $T_0$ ), a cada 30 dias, nos 6 primeiros meses, e as duas últimas análises a cada 90 dias ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_9$  e  $T_{12}$  meses). Por fim, foram comparados os resultados entre os dois grupos.

#### **3.7.1 Análise Microbiológica**

A análise microbiológica das bactérias psicotróficas seguiu as recomendações da *American Public Health Association* (APHA), na 4ª edição do *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (DOWNES; ITO, 2001). Para o preparo da amostra, foram macerados 25 g de músculo e homogeneizados em 225 mL de solução salina a 0,85% de NaCl (Dinâmica, Brasil), correspondendo à diluição  $10^{-1}$ . 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  $10^{-5}$ . Os tubos de cada diluição, do músculo, foram homogeneizados com auxílio de um vórtex (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) (Merck, Alemanha) pela técnica de incorporação em placas (*pour plate*) (TORTORA; FUNKE; CASE, 2017).

As placas para contagem de bactérias psicotróficas foram invertidas e incubadas a temperatura de  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 10 dias em estufa de incubação do tipo DBO (modelo Q 315M26, QUIMIS, Brasil).

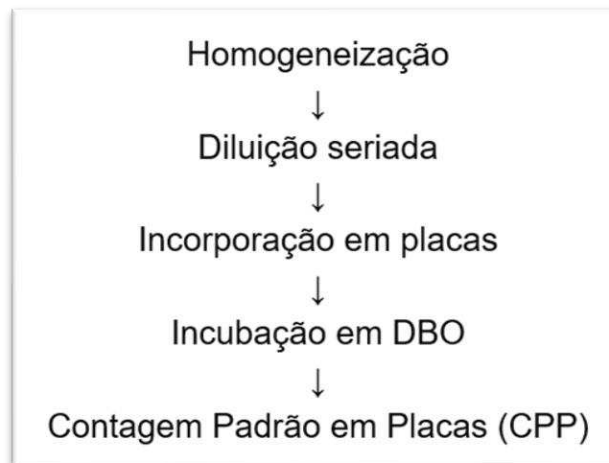
Após o período de incubação, foi feita a determinação do número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC). Para o cálculo da Contagem Padrão em Placas (CPP) foram selecionadas placas com crescimento entre 25 e 250 UFC e calculados pela equação 7 e os resultados expressos em UFC/g de músculo (DOWNES; ITO, 2001):

$$CPP = UFC \times \text{inverso do fator de diluição} \quad (7)$$

Os dados microbiológicos foram transformados em logaritmos do número de unidades formadoras de colônias (log UFC/g). E as amostras que não apresentaram placas com crescimento no intervalo estipulado tiveram suas contagens estimadas (est.).

A Figura 3 exibe o fluxograma das principais etapas do processo metodológico de análise microbiológica das bactérias psicotróficas.

Figura 3 - Fluxograma da análise microbiológica das bactérias psicotróficas



Fonte: Autora (2024).

### 3.7.2 pH

O potencial hidrogeniônico de amostras dos grupos C e G foi determinado, com auxílio de um pHmetro portátil, a partir da homogeneização de 5,0 g da amostra

macerada com 50 mL de água destilada por 30 s, de acordo com a metodologia citada nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), em nove repetições.

### **3.7.3 Nitrogênio das Bases Voláteis Totais (N-BVT)**

O N-BVT foi determinado pelo método de destilação a vapor, seguindo a metodologia descrita por Malle e Tao (1987), com pequenas adaptações. Para isso, foi realizada a homogeneização, com grau e pistilo, de 150 g de amostra de músculo dos camarões com 300 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 7,5% (v/v) e deixado em repouso por 30 min.

O homogenato preparado foi filtrado através de papel de filtro Whatman Nº 1. Do filtrado, foram retirados 25 mL e adicionados 5 mL de solução aquosa de NaOH a 10% (p/v), em nove repetições, que foram adicionados a um tubo de destilação do tipo Kjeldahl.

Então, foi realizada destilação a vapor em destilador (TE-036/1, da Tecnal, Brasil), onde 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 dos indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol. Por fim, o destilado coletado foi titulado com solução de ácido sulfúrico (0,1 N) até o ponto de viragem, quando a coloração rosada apareceu com mais uma gota do ácido.

Os valores de N-BVT, foram calculados a partir do volume (n) de ácido sulfúrico 0,1 N utilizado para titulação, conforme demonstrado na equação 8, e os resultados expressos em mg de nitrogênio/100g de amostra.

$$NBVT = n \times 16,8 \text{ mg de nitrogênio/100 g} \quad (8)$$

### **3.7.4 Nitrogênio da Trimetilamina (N-TMA)**

A medida de N-TMA foi realizada com o mesmo procedimento do N-BVT, pelo método de destilação a vapor (MALLE; TAO, 1987), sendo a única diferença, a adição de 20 mL de formaldeído (Alpha378, Alfatech, Brasil) a 16% (v/v) no tubo de destilação a fim de bloquear as aminas primárias e as secundárias, e permitir a reação apenas com as aminas terciárias. Assim, os valores de N-TMA, expressos em mg de

nitrogênio/100 g de pescado, foram calculados a partir do volume (n') de ácido sulfúrico (0,1 N) utilizado para titulação, conforme demonstrado na equação 9:

$$NTMA = n' \times 16,8 \text{ mg de nitrogênio/100 g} \quad (9)$$

### 3.7.5 SRATB

A oxidação de lipídios, foi realizada por meio da avaliação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (SRATB), conforme instruções de Vyncke (1970). Para isso, foram pesadas em uma balança analítica 10 g de amostra de camarão, depois maceradas e homogeneizadas com 50 mL de solução contendo ácido tricloroacético (ATC) a 7,5%.

A mistura foi filtrada em papel de filtro Whatman Nº 1. Do filtrado, foram retirados 5 mL e adicionados em tubo de cultura com 5 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,02 M e agitados com um agitador de tubos (modelo QL-901), em nove repetições. Para o branco utilizou-se 5 mL de TBA e 5 mL de TCA.

Os tubos foram então aquecidos em banho maria (banho de aquecimento) a 90 °C por 10 min para o desenvolvimento de uma coloração rosa, e esfriados em banho de água gelada. Posteriormente, as amostras e o branco foram lidos em espectrofotômetro digital (modelo UV-2000A, Instrutherm, Brasil) a 532 nm.

Para encontrar o valor de SRATB em mg de malonaldeído equivalente por Kg muscular (mg MA eq./ Kg muscular) foi utilizada a curva padrão a partir de 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP), a partir da equação 10:

$$SRATB = \frac{ABS - 0,032}{0,0789} \quad (10)$$

onde, ABS corresponde a absorvância lida no espectrofotômetro.

## 3.8 Análise Estatística

Os dados acerca da caracterização da gelatina obtida a partir das escamas foram submetidos à estatística descritiva e os resultados foram expressos em média  $\pm$  desvio padrão, utilizando o *software* Excel.



As análises estatísticas dos parâmetros físico-químicos do *shelf life*, para os dois tratamentos, foram realizadas inicialmente aplicando o teste Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos valores obtidos. Depois foi aplicado o teste de Levene para averiguar a homogeneidade dos dados. Por fim, os valores foram submetidos ao teste t de Student para verificar diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. Para estes testes, foi utilizado o *software* Jamovi(R), versão 2.4.6.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Rendimento da extração de gelatina

O rendimento de gelatina (base seca) das escamas da tilápia do Nilo extraída em água quente foi de  $24,02 \pm 0,88\%$ . Este valor foi superior aos rendimentos encontrados na literatura:  $14,32\%$  de gelatina de escamas da tilápia do Nilo extraída em banho-maria a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  e ultrassom, por 3 horas (SENARATHNA; MARAPANA, 2021); e  $12,10\%$  de gelatina de escamas de tilápia do Nilo por extração ácido-alcalino-ácido e banho-maria a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 1 h (MARTINS *et al.*, 2018).

Em outras espécies também foram encontrados rendimentos inferiores, como:  $11,88\%$ , na extração de gelatina de escama de tilápia preta (*Oreochromis mossambicus*), em banho maria a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 8 h (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015);  $8,63$  e  $9,27\%$  de gelatina de escamas de peixe-cabra-pintado (*Spotted golden goatfish*) com 6 e 12 h de extração, respectivamente (CHUAYCHAN; BENJAKUL; KISHIMURA, 2017); e  $9,55\%$  de escamas de dourada (*Sea breams*) em banho-maria a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 12 h (AKAGÜNDÜZ *et al.*, 2014).

O alto rendimento de gelatina de escamas de peixe está correlacionado com o alto teor de aminoácidos (prolina) dessas estruturas (DAS *et al.*, 2017). E nas tilápias, pode estar correlacionada com o alto teor de colágeno, bem como aos métodos de pré-tratamento e extração eficazes utilizados (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015), especialmente com relação ao tempo de extração e à alta temperatura de extração, que aumentam significativamente o rendimento de gelatina, à medida que a temperatura aumenta (TAN *et al.*, 2019).

No entanto, esse rendimento foi menor que alguns valores de extração de peles de peixes. Por exemplo, Liao *et al.* (2021) obtiveram rendimentos de  $35,24$ ,  $41,91$ ,  $31,66$  e  $36,27\%$  de gelatina de pele de tilápia, extraída à  $60$  e  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  em pH 3 e à  $60$  e  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  em pH 5, respectivamente. Sinthusamran *et al.* (2018) alcançaram rendimentos de  $44,83$  a  $71,5\%$  de gelatina de pele de perca-gigante (*Lates calcarifer*) extraída em temperaturas de  $45$  a  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Muyonga, Cole e Duodu (2004) obtiveram rendimentos de  $70,0$  e  $86,5\%$  de gelatina de pele de perca-do-Nilo (*Lates niloticus*), adultos e jovens, extraídas à  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

Segundo Tkaczewska *et al.* (2018) o teor de proteína bruta relatado na literatura para gelatinas de pele de peixe, de diferentes espécies, chega na faixa de 87 e 89%, a depender do método de extração utilizado. Isso ocorre porque, em geral, as escamas e espinhas dos peixes contêm menor quantidade de colágeno do que as peles, e pode haver perdas de colágeno durante as etapas de processamento, como lavagem, pré-tratamento e extração (SOCKALINGAM; ABDULLAH, 2015).

De acordo com Martins *et al.* (2018) e Feng, Bansal e Yang (2016), os rendimentos de extração variam em função de muitos fatores, como espécie, idade, tipo de tecido e condições do processo, como pH, força iônica, tempo de pré-tratamento e extração, temperatura, tipo de ácido e forma de desmineralização das escamas. Nesta pesquisa, as diferenças entre os valores de rendimento provavelmente se deram em função do tempo de extração.

Diante dos resultados obtidos e dos valores presentes na literatura, pode-se deduzir que o processo utilizado para extração da gelatina das escamas de tilápia do Nilo neste estudo, foi eficiente e apresentou rendimentos significativos e compatíveis com os valores de outros autores.

## 4.2 Custo do revestimento

O custo de 1 L de solução de revestimento, calculado a partir de preços comerciais dos reagentes utilizados nas etapas de pré-tratamento, desmineralização, hidrólise ácida-alcálica-ácida e extração térmica, sem contabilizar a água e a energia elétrica utilizadas no processo, pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Custo (R\$) de 1 L de solução de revestimento

Composto	Quantidade	Valor unitário	Valor total (R\$)
Cloreto de sódio	1 kg	2,43/kg	2,42
Ácido clorídrico	83 mL	35,42/L	2,94
Ácido acético	57 mL	44,36/L	2,52
Ácido sulfúrico	16 mL	68,00/L	1,08
Hidróxido de sódio	12 g	44,00/500 g	0,53
Glicerol	2 mL	44,98/L	0,09
<b>Total/L:</b>			<b>9,59</b>

Fonte: Autora (2024).

Com 1 L de revestimento de 1,5% de gelatina e 0,2% de glicerol é possível revestir cerca de 5 kg de camarão. Isso, então, equivale a um custo aproximado de R\$ 1,92/kg de camarão descascado e sem cabeça revestido.

## 4.2 Caracterização físico-química da gelatina

### 4.2.1 pH

OkO *Gelatin Manufacturers Institute of America* (GMIA, 2019) diz que o processo de extração influencia tanto na qualidade quanto na quantidade de gelatina extraída. E, que a gelatina derivada de um precursor tratado com processo ácido é conhecida como Tipo A, tendo uma faixa isoelétrica entre pH 7 e 9; e a gelatina derivada de um processo alcalino é a Tipo B, com uma faixa isoelétrica entre pH 4,7 e 5,4. O pH afeta a viscosidade da gelatina. Em pH alcalino há grande redução da sua viscosidade, e em pH ácido, ocorre uma moderada redução da mesma. Tal característica se deve às alterações nas forças atrativas entre as cadeias das moléculas de gelatina (MARTINS *et al.*, 2015).

Martins *et al.* (2015) afirmam que, na literatura, há descritos valores de pH dentro da faixa de 3,8 a 5,0 para gelatinas processadas por tratamento ácido e de 4,7 a 7,5 para processadas por tratamento alcalino. Os mesmos autores, em sua extração de gelatina de escamas de tilápia do Nilo, obtiveram um valor médio de pH de  $4,41 \pm 0,04$ . Caldato, Naves e Zatta (2019) obtiveram um pH médio de  $5,42 \pm 0,15$ , também para extração de gelatina de escamas de tilápia do Nilo.

### 4.2.2 Cor

A cor da gelatina é um atributo comercial muito importante, e, em geral, as gelatinas comerciais possuem coloração que varia de um amarelo pálido para um âmbar escuro (MARTINS *et al.*, 2015). As coordenadas de cor, pelo sistema CIELab, é determinada no espaço de cor, onde o  $L^*$  varia de preto a branco (0 a 100), o  $a^*$  varia do verde ao vermelho (-60 a +60) e o  $b^*$  de azul a amarelo (-60 a +60).

As médias obtidas neste experimento, foram  $L^* = 72,32 \pm 1,27$ ;  $a^* = 0,19 \pm 0,10$ ; e  $b^* = 1,86 \pm 0,22$ . Tais valores indicam que a gelatina obtida apresenta boa

luminosidade (Figura 4), pois o valor de luminosidade ( $L^*$ ) foi mais próximo ao valor de 100, correspondente a cor branca, do que de zero, correspondente a cor preta. E as coordenadas cromáticas ( $a^*$  e  $b^*$ ) positivas, indicando cores ligeiramente vermelho-amarelada.

Figura 4 – Cor da gelatina em pó



Fonte: Autora (2024).

Martins *et al.* (2015), que usou o mesmo processo de extração, porém somente com 1 h de extração térmica, alcançaram as seguintes coordenadas de cor:  $L^* = 91,31$ ,  $a^* = -0,24$  e  $b^* = 2,66$  para a gelatina em pó de escamas de tilápia do Nilo. Senarathna e Marapana (2021) obtiveram  $L^* = 77,37 \pm 0,06$ ,  $a^* = 0,93 \pm 0,12$  e  $b^* = 3,53 \pm 0,40$ , de gelatina de escamas de tilápia do Nilo extraída em banho-maria a  $60^\circ\text{C}$  por 3 horas assistido por ultrassom. E Weng, Zheng e Su (2014) obtiveram  $L^*$  entre  $90,37 \pm 0,16$  e  $90,61 \pm 0,08$ ;  $a^*$  entre  $-1,38 \pm 0,10$  e  $-1,23 \pm 0,05$ ; e  $b^*$  entre  $1,96 \pm 0,14$  e  $3,13 \pm 0,20$ , de gelatina de escamas de *Tilapia zillii* extraídas em pH 3 a 9.

Em geral, os revestimentos comestíveis nos alimentos ajudam a evitar o aumento da formação de uma coloração amarela e a diminuição de sua luminosidade ao inibir a oxidação de forma eficaz (YU *et al.*, 2018).

#### **4.2.3 Composição centesimal**

A gelatina é composta principalmente de proteína, umidade, cinzas e gordura (TAN *et al.*, 2019). A composição da gelatina extraída nesta pesquisa pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição centesimal da gelatina

Conteúdo	Média ± desvio padrão (%)
Proteína	97,21 ± 0,78
Umidade	1,65 ± 0,12
Cinzas	1,34 ± 0,25
Lipídios	0,47 ± 0,06

Fonte: Autora (2024).

Segundo o GMIA (2019) as gelatinas secas e hidrolisadas devem conter mais de 92% de proteína e menos de 2% de cinzas. Nesta pesquisa, o teor de proteína da gelatina de escamas de tilápia do Nilo ficou acima de 97% e o teor de cinzas inferior a 2,0%. Além disso, o teor de gordura foi inferior a 1% e o de umidade inferior a 6%, conforme também sugerido pelo GME (2022), indicando que a gelatina extraída neste experimento é considerada comestível (TAN *et al.*, 2019).

Os resultados obtidos neste estudo foram bem superiores aos encontrados por Senarathna e Marapana (2021), que obtiveram teores de proteína, umidade e cinzas de gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo em banho maria de  $40,53 \pm 0,40\%$ ,  $20,37 \pm 0,17\%$  e  $31,00 \pm 0,53\%$ , respectivamente. E também foram melhores que os resultados de teor de proteína de Weng, Zheng e Su (2014), que obtiveram valores de:  $77,61 \pm 0,18$ ,  $88,68 \pm 0,24$ ,  $90,76 \pm 0,26$  e  $90,14 \pm 0,12$  % para extrações de gelatina de escamas de *Tilapia zillii* utilizando pH 3, 5, 7 e 9, respectivamente.

A umidade é um dos principais fatores para os processos microbiológicos, como o desenvolvimento de bactérias. O teor de umidade das matérias-primas é de fundamental importância para a conservação e armazenamento. Gelatinas comerciais apresentam umidade de 9-14% à temperatura ambiente (25 °C).

Cinzas ou resíduo mineral fixo é o produto que se obtém após o aquecimento da amostra até a combustão completa da matéria orgânica que é toda transformada, basicamente, em água e CO<sub>2</sub>, resultando no teor de minerais contidos na amostra (AOAC, 2000).

Um teor de cinzas abaixo do máximo recomendado (2%) para gelatina indica que a matéria inorgânica na superfície das escamas de peixe, tendo como principal componente a hidroxiapatita, foi efetivamente removida durante o processo de descalcificação (TAN *et al.*, 2019).

Assim, a gelatina obtida nesta pesquisa apresentou excelente composição centesimal, com baixos teores de umidade e cinzas, alto teor de proteínas e dentro das faixas esperadas para gelatinas comestíveis comerciais. Esses resultados permitiram que a gelatina extraída pudesse ser aplicada nos camarões descascados e descabeçados como solução de revestimento.

#### **4.2.4 Força de gel**

A força de gel é um parâmetro relacionado à elasticidade mecânica do gel e é usado para classificar os tipos de gelatina em: *baixo Bloom* (quando a força de gel fica abaixo de 120 g), *médio Bloom* (quando a força de gel é entre 120 e 200 g) e *alto Bloom* (quando a força de gel está acima de 200 g) (MARTINS, 2015).

A aplicação final da gelatina varia com *Bloom*. Por exemplo, gelatinas de baixa força de gel (70-90 g) são usadas no clareamento de vinhos e sucos; as com faixa de 0 a 140 g são usadas na encapsulação de vitaminas A, D e E; e as gelatinas com força de gel de 125 a 250 g costumam ser usadas por indústrias têxteis. A maioria das gelatinas comerciais varia de 100 a 300 g (MARTINS *et al.*, 2015).

Nesta pesquisa, a força de gel média foi de  $173,0 \pm 20,5$  g ou  $173,0^\circ$  Bloom. Ou seja, de médio *bloom*. Um valor considerado dentro do esperado e dentro de uma faixa de valores obtidos em outros trabalhos, como em Martins *et al.* (2015), que obteve uma força de gel da gelatina extraída de escamas de tilápia de  $233,5 \pm 14,4$  g (alto *Bloom*). E Chuaychan, Benjakul e Kishimura (2017), que registraram força de gel média de gelatina de escamas de peixe cabra pintado dourado (*Parupeneus heptacanthus*) de  $124,86 \pm 1,38$  a  $286,61 \pm 1,02$  g, extraído em diferentes temperaturas (45, 60 e 75 °C) e tempos (6 e 12 h), sendo maior a força de gel encontrada quanto menor for a temperatura e menor tempo de extração.

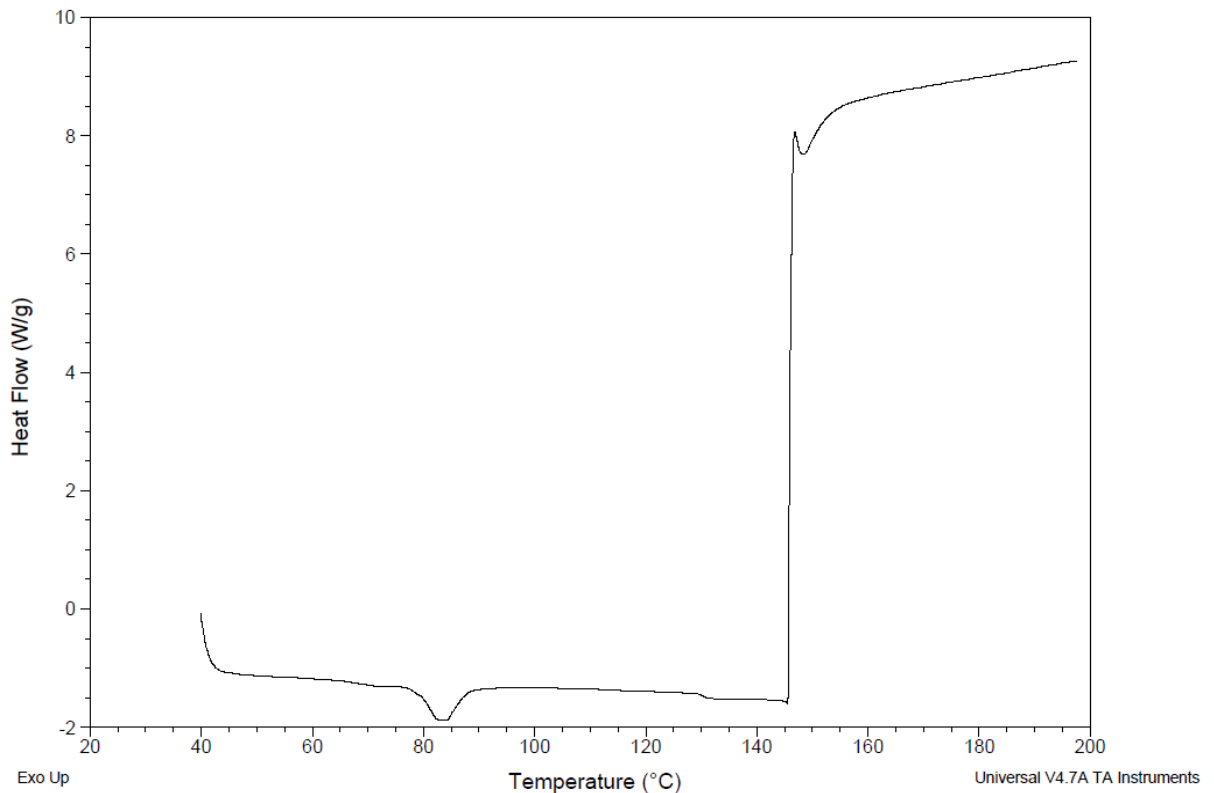
#### **4.2.5 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**

A análise DSC é uma técnica que mede as temperaturas e o fluxo de calor associado com as transições dos materiais em função da temperatura e do tempo. Ela se baseia na medição da diferença de energia necessária para uma amostra e um material de referência, inerte de modo térmico, enquanto ambos são submetidos a

uma variação controlada de temperatura, de modo que a amostra e a referência sejam mantidas em condições isotérmicas, uma em relação a outra, independente do evento térmico que esteja ocorrendo na amostra (MARTINS, 2015).

O termograma da análise de DSC da gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo pode ser visto na Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Análise de DSC de gelatina de escamas de tilápia do Nilo.



Fonte: Autora (2024).

O termograma mostrou três eventos endotérmicos em cerca de 80, 145 e 150 °C, uma temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) entre 60 e 80 °C e uma estabilidade térmica abaixo de 200 °C. Os dois primeiros picos podem estar associados ao teor de água quimicamente ligada remanescente no processo de secagem e a adsorção de água durante o armazenamento ou mudanças conformacionais na estrutura da proteína (MARTINS *et al.*, 2018).

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é um parâmetro importante para determinar a estabilidade de polímeros biodegradáveis comestíveis, e seu valor tem uma relação positiva com a resistência à tração ( $T_s$ ) de filmes de proteína (WENG;



ZHENG; SU, 2014). A presença de plastificantes na amostra pode ser avaliada, na curva de DSC, pela redução da Tg do polímero (MACHADO; MATOS, 2003).

Martins *et al.* (2018) obtiveram um termograma com quatro picos endotérmicos em cerca de 80, 140, 200 e 310 °C, e uma temperatura de transição vítrea (Tg) entre 65 e 75 °C. Weng, Zheng e Su (2014) obtiveram Tg de filmes baseados em gelatina extraída em pH 3 foi de 137 °C e diminuiu com o aumento do pH da gelatina extraída. Portanto, a Tg da gelatina de escamas de tilápia observada nesta pesquisa foi semelhante aos dados apresentados na literatura.

Martins *et al.* (2018) falam que eventos térmicos em torno de 200 e 310 °C podem estar associados ao processo de degradação da gelatina com perda de aminoácidos. A temperatura de degradação e outros eventos térmicos de biopolímeros de proteínas são influenciados principalmente pelo teor de umidade, composição química e tipo de matéria-prima. A gelatina desidratada possui junções intermoleculares microcristalinas que podem fundir na presença de alto teor de umidade e quando submetidas a aquecimento acima da temperatura de fusão, causa mudança da estrutura semicristalina para totalmente amorfa (MARTINS *et al.*, 2018).

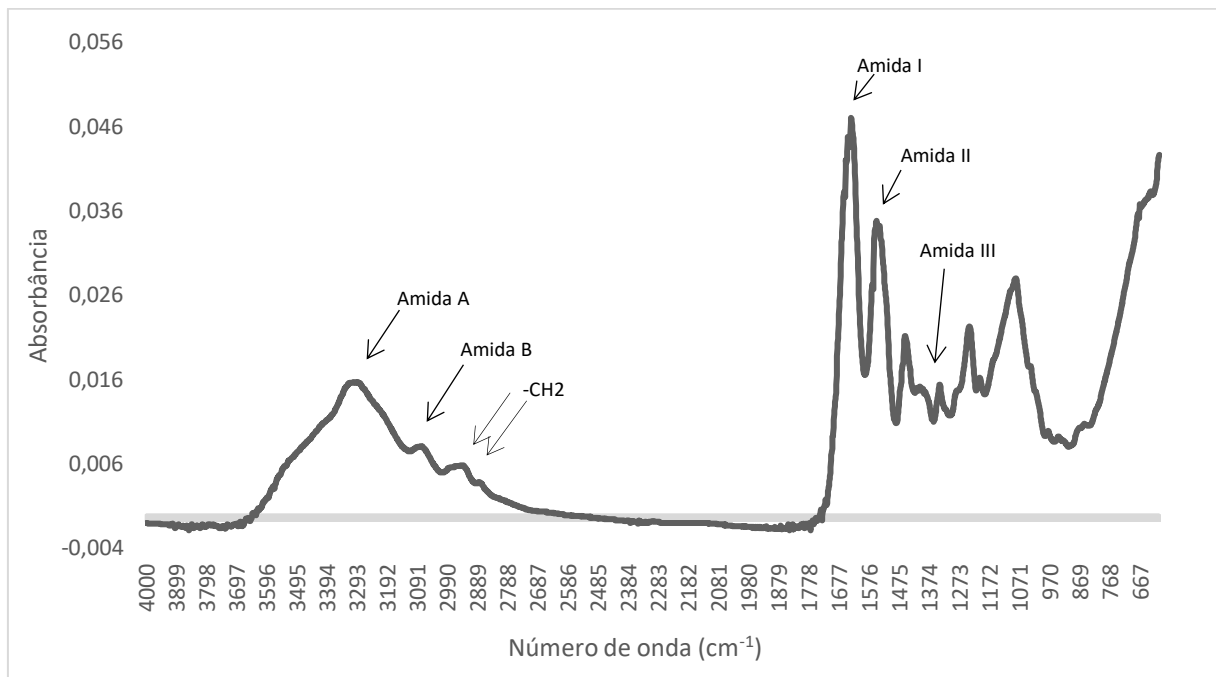
#### **4.2.6 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)**

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) esclarece as interações poliméricas (WENG; ZHENG; SU, 2014), e tem sido usada para estudar mudanças na estrutura secundária do colágeno e da gelatina, como por exemplo a reticulação de colágeno ou a desnaturação, automontagem térmica e derretimento da gelatina (MUYONGA; COLE; DUODU, 2004).

Na FTIR, as bandas de amida A, I e II são típicas de proteínas e são baseadas na molécula modelo N-metil-acetamida, onde a banda de amida A ocorre em 3300 cm<sup>-1</sup> e corresponde ao estiramento dos grupos N-H; a banda de amida I (em 1650 cm<sup>-1</sup>) compreende 80% do estiramento do grupo carbonila (C=O), 10% de deformação angular –CNH e 10% de estiramento –CN; e a banda de amida II (em 1560 cm<sup>-1</sup>) compreende 60% de deformação angular –CNH e 40% de estiramento –CN. Há também a banda de amida III em torno de 1300 cm<sup>-1</sup> que corresponde a uma sobreposição de vários modos vibracionais (FORATO *et al.*, 2010).

Os espectros FTIR de gelatina extraída de escamas de tilápia do Nilo em água destilada à 60 °C são mostrados na Figura 6.

Figura 6 – Análise de FTIR da gelatina de escamas de tilápia do Nilo



Fonte: Autora (2024).

Neste experimento, de acordo com a Figura 5, as amidas A, I, II e III foram registradas nos números de onda de 3300, 1652, 1562 e 1302  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente. Esses valores estão bem próximos aos descritos por Forato *et al.* (2010) como típicos para as bandas de amida A, I, II e III de proteínas.

Ainda pelo gráfico, observa-se que a amida B ficou com uma faixa de espectros típica para as amidas B, com números de onda entre 3079 e de 3084  $\text{cm}^{-1}$ . E as vibrações simétricas e assimétricas de alongamento dos grupos  $-\text{CH}_2$  foram observadas próximos de 2940 e 2882  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente.

As bandas de estiramento de amida A, amida B e  $-\text{CH}_2$  mostraram uma tendência para se juntar, o que pode ser devido às associações intermoleculares diméricas de grupos carboxílicos (MUYONGA; COLE; DUODU, 2004).

Os picos das amidas I, II e III indicam o grau de quebra molecular da gelatina. A amida I, por exemplo, que ocorre em torno de 1650  $\text{cm}^{-1}$ , é típica da estrutura de tripla hélice (FORATO *et al.*, 2010). E a amida II, relacionada com a

estrutura secundária da proteína, combina as vibrações de estiramento do C-N com as vibrações de deformação do CNH (MARTINS *et al.* 2018).

De acordo com Sow e Yang (2015), a banda de absorção da amida III acima de  $1240\text{ cm}^{-1}$  (aqui ocorreu em  $1302\text{ cm}^{-1}$ ), indica a presença de desordem resultante da desnaturação parcial do colágeno, com a presença de peptídeos de alto peso molecular.

Segundo Weng, Zheng e Su (2014) as propriedades mecânicas da gelatina são influenciadas pelo conteúdo da hélice tripla, visto que a gelatina é obtida pela desnaturação do colágeno em tripla hélice. Eles observaram que, bandas em  $1606$  e  $1626\text{ cm}^{-1}$  são características de grupos amida envolvidos nas estruturas de folhas  $\beta$  estendidas. As bandas fortes em  $1642$  e  $1658\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas a estruturas não ordenadas e  $\alpha$ -hélice, respectivamente. Além disso, as componentes em  $1674$  e  $1690\text{ cm}^{-1}$  correspondem a voltas.

Muyonga, Cole e Duodu (2004) observaram que as gelatinas extraídas em alta temperatura consistem principalmente em peptídeos de baixo peso molecular e a gelificação de frações de gelatina de baixo peso molecular envolve mais ligações proteína-proteína do que a gelificação de gelatinas de alto peso molecular. E que durante a secagem, as frações de gelatina extraídas em alta temperatura e de baixo peso molecular renaturaram lentamente, formando uma rede com mais ligações proteína-proteína do que os extratos de baixo peso molecular e baixa temperatura. Além disso, é possível que as gelatinas extraídas em alta temperatura contenham algumas ligações intermoleculares covalentes (reticulação sobrevivente), podendo produzir espectros FTIR de maior grau de ordem molecular. Assim, a conversão do colágeno em gelatina leva à perda da estrutura da tripla hélice e a diminuição na ordem molecular.

Weng, Zheng e Su (2014) obtiveram números de onda entre  $1630$  e  $1632\text{ cm}^{-1}$  para as amidas I, entre  $1542$  e  $1545\text{ cm}^{-1}$  para as amidas II, e entre  $1233$  e  $1235\text{ cm}^{-1}$ , das gelatinas de tilápia extraídas entre  $45$  e  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Martins *et al.* (2018) obtiveram uma faixa de espectros para a amida A, com números de onda entre  $3399$  e  $3342\text{ cm}^{-1}$ ; de  $3084\text{ cm}^{-1}$  para a amida B; e de  $2959,90$  e  $2884,33\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente, para as vibrações simétricas e assimétricas de alongamento dos grupos  $-\text{CH}_2$ . Tais valores demonstram que os números encontrados nesta pesquisa estão dentro dos referenciados na literatura para gelatinas comerciais.

### 4.3 Avaliação dos parâmetros de qualidade

#### 4.3.1 Análise microbiológica

A deterioração microbiana de pescados é atribuída principalmente ao crescimento de bactérias em grande número e aos produtos de seu metabolismo, causando alterações sensoriais, como descoloração, alterações físicas, alterações de textura, formação de lodo ou gás ou odores e sabores desagradáveis (JIA *et al.*, 2019).

Os resultados da média do logaritmo decimal das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias psicrotróficas detectadas no músculo do camarão (*P. vannamei*) estão detalhados na Tabela 3 e Figura 7.

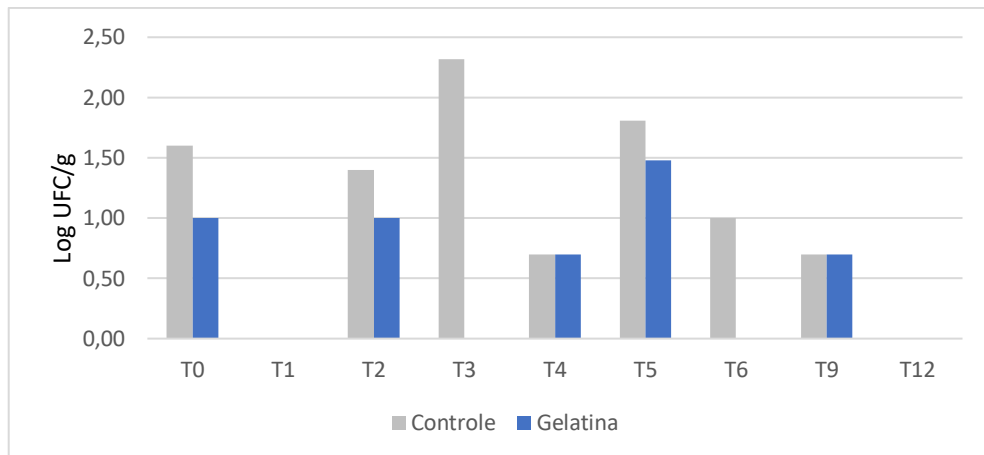
Tabela 3 – Logaritmo das médias dos valores das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias psicrotróficas detectadas no músculo dos exemplares de camarão de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses, dos tratamentos controle e gelatina.

Mês	Controle (log UFC/g)	Gelatina (log UFC/g)
T0	1,60/est.	1,00/est.
T1	0,00	0,00
T2	1,40/est.	1,00/est.
T3	2,32	0,00
T4	0,70/est.	0,70/est.
T5	1,81/est.	1,48/est.
T6	1,00/est.	0,00
T9	0,70/est.	0,70/est.
T12	0,00	0,00

Legenda: T = tempo (mês); est. = estimado.

Fonte: Autora (2024).

Figura 7 – Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias psicrotróficas detectadas no músculo dos exemplares de camarão de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses, dos tratamentos controle e gelatina.



Legenda: T = tempo (mês).

Fonte: Autora (2024).

Observando a Tabela 3 e Figura 7, percebe-se que em 5 das 9 análises, a contagem total de bactérias (CTB) do tratamento C foi superior ao tratamento G. Nos demais momentos, ambos apresentaram a mesma contagem: em T1 e T12, onde os valores foram iguais as zero e em T4 e T9 com 0,70 log UFC/g. Outro fato é que a variação total do logaritmo do número de bactérias psicrotróficas do tratamento C foi 0,00 a 2,32 log UFC/g, enquanto o tratamento G foi menor, de 0,00 a 1,48 log UFC/g estimado.

Esses resultados podem sugerir que o revestimento combinado de gelatina e glicerol utilizado, provavelmente em função da ação antimicrobiana da gelatina, relatada na literatura (DAS *et al.*, 2023; NAGARAJAN *et al.*, 2021; MIRZAPOUR-KOUHDASHT; MOOSAVI-NASAB, 2019), inibindo ou retardando o crescimento de bactérias psicrotróficas nas amostras de camarão congeladas do tratamento G.

Os valores encontrados no presente estudo são similares aos encontrados por Vieira (2019), a qual verificou que os camarões congelados revestidos com polissacarídeo sulfatado, apresentaram menores valores de contagem das bactérias psicrotróficas por grama de músculo do camarão quando comparado ao tratamento sem revestimento.

Farajzadeh *et al.* (2016) notaram que a CTB do grupo controle aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ) mais rápida que o grupo do camarão (*P. vannamei*) revestido com quitosana e gelatina bovina comercial, ambos mantidos sob refrigeração a 4 °C, saindo de 2,5 log UFC/g iniciais para o limite máximo permitido de

7,0 log UFC/g, segundo a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos (ICMSF), em apenas 8 dias (controle), enquanto o grupo revestido só atingiu tal limite com 14 dias de estocagem (STEWART, 1986).

Mirzapour-Kouhdasht e Moosavi-Nasab (2019) também viram que a CTB do grupo controle aumentou bem mais e mais rápido ( $p < 0,05$ ) que as amostras de camarões *Penaeus merguensis* revestidos de gelatina extraída da pele de *Scomberomorus Commerson*, sozinha e combinada com hidrolisados de gelatina de peixe, e que estas não ultrapassaram a contagem total máxima permitida para produtos marinhos crus (7,0 log UFC/g) após os 12 dias armazenados a 4 °C.

Jiang, Liu e Wang (2011) observaram que revestimentos de solução de gelatina (5% p/p) de pele de peixe-gato (*Ictalurus punctatus*), glicerol e sorbato de potássio e/ou tripolifosfato de sódio, foram eficazes contra o crescimento bacteriano e prolongaram a vida útil por até 10 dias do camarão branco (*Penaeus vannamei*) fresco estocado em gelo a 0 °C por 31 dias.

Ge *et al.* (2020) observaram que os valores de CTB do grupo controle foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) que os grupos dos camarões (*Parapenaeopsis hardwickii*) revestidos de gelatina e gelatina com ácido clorogênico, mantidos semicongelados (-5 °C) por 23 dias.

No Brasil, não há legislação que estabeleça os limites máximos de contagens de bactérias heterotróficas totais (mesófilas, psicrotróficas e psicrófilas) em pescado (VIEIRA, 2019). No entanto, a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos (ICMSF) 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 (STEWART, 1986). Considerando esse limite, todas as amostras dos tratamentos C e G estavam dentro dos padrões quanto à CTB psicrotróficas nos camarões, durante todo o período de estocagem.

As bactérias psicrotróficas têm capacidade de crescer e se multiplicar em baixas temperaturas de refrigeração, realizando atividades proteolíticas e lipolíticas, e incluem a maioria das espécies de bactérias deteriorantes, de *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brochothrix*, *Carnobacterium*, *Chromobacterium*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Listeria*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Moraxella*, *Pseudomonas*, *Psychrobacter*, *Serratia*,

*Shewanella*, *Streptococcus*, *Weissella*, *Alteromonas* (anteriormente *Pseudomonas putrefaciens*), *Photobacterium* e *Vibrio* (APHA, 2015).

Mudanças nas populações microbianas fornecem informações úteis para compreender as mudanças nas populações associadas à deterioração relacionadas às condições de armazenamento dos alimentos (JIA *et al.*, 2019).

#### 4.3.2 pH

Logo após a morte dos pescados, inicia-se a transformação de algumas substâncias sacarídicas, como o glicogênio, em substâncias ácidas pela glicólise. Em seguida, as proteínas degradam-se em substâncias alcalinas que provocam o aumento do pH (GE *et al.*, 2020). Assim, mudanças de pH podem ser usadas como indicadores de deterioração em produtos da pesca (FARAJZADEH *et al.*, 2016).

Valores de pH inferiores a 4,0 sugerem que o crescimento bacteriano é suprimido, enquanto as leveduras e bolores crescem abundantemente, e acima de pH 5, as bactérias proteolíticas podem se tornar ativas (GMIA, 2019). O pH dos músculos de exemplares de *P. vannamei* congelados por 12 meses dos tratamentos C e G podem ser observados na Tabela 4 e Figura 8, a seguir.

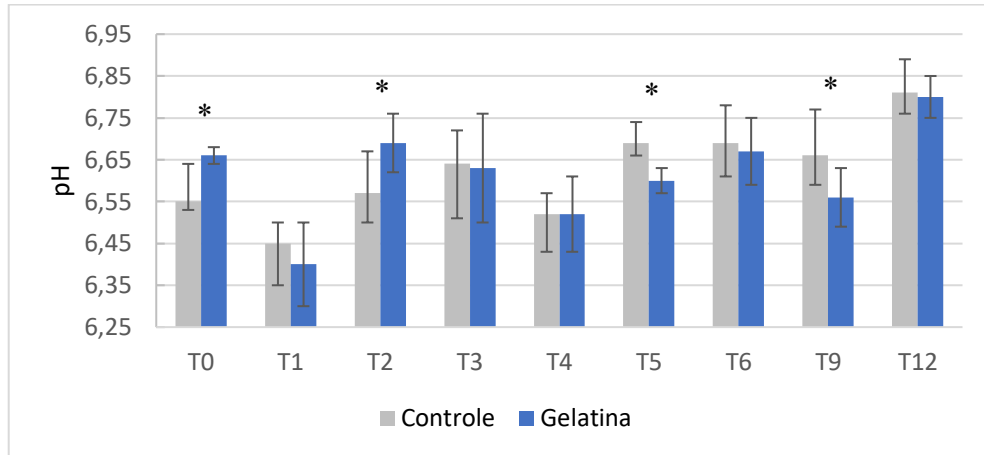
Tabela 4 – Médias e desvio padrão do pH do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.

Mês	Controle	Gelatina	p-valor
T0	6,55 ± 0,09	6,66 ± 0,02	p < 0,05
T1	6,45 ± 0,05	6,40 ± 0,10	ns
T2	6,57 ± 0,10	6,69 ± 0,07	p < 0,05
T3	6,64 ± 0,08	6,63 ± 0,13	ns
T4	6,52 ± 0,05	6,52 ± 0,09	ns
T5	6,69 ± 0,05	6,60 ± 0,03	p < 0,05
T6	6,69 ± 0,09	6,67 ± 0,08	ns
T9	6,66 ± 0,11	6,56 ± 0,07	p < 0,05
T12	6,81 ± 0,08	6,80 ± 0,05	ns

Legenda: T = tempo (mês); ns – indica que não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2024).

Figura 8 – Gráfico do pH do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.



Legenda: T = tempo (mês); \* – indica que houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2024).

No dia 0 (T0), o pH inicial do tratamento C foi de  $6,55 \pm 0,09$ , enquanto o pH médio do tratamento G foi maior ( $p < 0,05$ ), alcançando o valor de  $6,66 \pm 0,02$ . Com 30 dias (T1), foi o momento que apresentou menores valores de pH ao longo do experimento:  $6,45 \pm 0,05$  em C e  $6,40 \pm 0,10$  para G, sem apresentar diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). Esse comportamento era esperado, visto que, logo após a morte do camarão, inicia-se a glicólise anaeróbica e a formação de ácido láctico, que acarreta a diminuição do pH do músculo. Dias depois, inicia-se o processo de autólise, pela ação de enzimas naturais do camarão, produzindo compostos de baixo peso molecular, como por exemplo, a trimetilamina, que causam o aumento do pH do tecido muscular (DAS *et al.*, 2023; GE *et al.*, 2020). Assim, os momentos, entre T0-T1 e T1-T2, correspondem respectivamente a esses dois momentos pós-morte do camarão sob congelamento.

E, o fato do tratamento G ter ficado com valores mais elevados que C, pode ser devido ao fator de amostragem, pois, apesar de serem indivíduos de um mesmo lote, cada indivíduo pode ter estados de degradação diferentes. Contudo, ao longo dos dias, o efeito do revestimento reverteu essa tendência e foi capaz de reduzir significativamente ( $p < 0,05$ ) o pH do músculo do camarão no tratamento G com 5 e 9 meses de armazenamento.



Com o passar dos meses, houve uma tendência de aumento dos valores de pH. Esse comportamento é esperado, decorrente da decomposição química e microbiológica no pescado (VIEIRA, 2019). Analisando apenas os valores iniciais (T0) e finais (T12), observa-se que o tratamento G alterou menos seu pH, 0,14 ( $6,66 \pm 0,02$  e  $6,80 \pm 0,05$ , respectivamente), que o tratamento C, que aumentou 0,26 ( $6,55 \pm 0,09$  e  $6,81 \pm 0,08$ , respectivamente) em escala logarítmica de pH, sugerindo que o camarão entrou num menor estágio de autólise e de degradação de proteínas. Apesar disso, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos na última análise (T12), indicando que o revestimento sozinho tem pouco efeito no pH da carne.

Nesse período, o pH da carne de camarão dos tratamentos C e G, se manteve entre 6,40 e 6,81, ficando abaixo 7,85, que é valor máximo aceitável para o consumo de camarão congelado a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , segundo a Instrução Normativa N° 23/2019 (SDA/MAPA, 2019), bem como para camarões frescos, segundo o RIISPOA (BRASIL, 2020).

Ao observar o tratamento C nas Figuras 7 e 8, no período de T0 a T9, nota-se uma similaridade no comportamento das curvas de análise microbiológica e pH, indicando que quanto maior a CTB, mais alcalino era o pH das amostras, e conseqüentemente, maior a ação de enzimas e bactérias. Assim, vê-se que o uso do revestimento é uma boa prática para inibir a degradação do pescado.

Os valores obtidos nesta pesquisa foram menores que os obtidos por Vieira (2019), que realizou a aplicação de revestimento de polissacarídeo sulfatado a 1,0% em exemplares de *Penaeus vannamei* congelados por 12 meses (pH de 7,12 a 7,76 para controle e 6,89 a 7,66 para o grupo revestido). E abaixo também dos valores obtidos por Martins (2015), com camarões resfriados por 18 dias, que alcançou valores mínimos de pH de  $6,60 \pm 0,11$  da amostra controle e de  $6,60 \pm 0,15$  da amostra de gelatina 1,5%; e máximos de  $7,65 \pm 0,05$  para o controle e  $7,40 \pm 0,03$  para a gelatina 1,5%.

Ge *et al.* (2020), trabalhando com camarão espada (*Parapenaeopsis hardwickii*), notaram que o pH dos camarões do tratamento controle foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) a partir do 4° dia de estocagem até o último dia de análise (23° dia), em relação aos camarões tratados com gelatina ácido-clorogênico, ambos armazenados parcialmente congelados ( $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Mirzapour-Kouhdasht e Moosavi-Nasab (2019) ao usarem revestimentos de gelatina extraída da pele de *Scomberomorus commerson* puros e combinados com hidrolisados de gelatina de peixe em camarão inteiro (*Penaeus merguensis*) por 12 dias a 4 °C, observaram que o pH das amostras controle foi maior ( $p < 0,05$ ) que dos outros tratamentos.

Jiang, Liu e Wang (2011) não observaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) nos valores de pH da carne de camarões entre os tratamentos sem e com revestimentos de gelatina, ao longo dos 30 dias de armazenamento em gelo (0 °C), os quais iniciaram com pH de 6,7 e com 5 dias de experimento alcançaram pH 7,8. Em contrapartida, Farajzadeh *et al.* (2016) notaram que o pH do grupo controle, que variou de 6,32 a 7,91, alcançando valores significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) que o grupo do camarão (*P. vannamei*) revestido com quitosana e gelatina bovina comercial (30:70), com faixa de 6,22 a 6,44, ambos mantidos sob refrigeração a 4 °C.

#### 4.3.3 N-BVT

O N-BVT é um índice amplamente utilizado para avaliar a deterioração de pescados, resultante da ação de enzimas endógenas do animal e/ou ação bacteriana que degradam os compostos nitrogenados em proteínas musculares, como peptídeos, aminoácidos e nucleotídeos (PAN *et al.*, 2019). O valor de N-BVT vem do óxido de trimetilamina (OTMA), da amônia, da dimetilamina (DMA), da trimetilamina (TMA) e de outros compostos nitrogenados básicos voláteis no músculo do pescado durante o armazenamento, que causam a perda do frescor (GE *et al.*, 2020). A Tabela 5 e Figura 9 apresentam os valores de N-BVT dos tratamentos C e G, durante os 12 meses de armazenamento congelado destes.

Tabela 5 – Médias e desvio padrão de N-BVT (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.

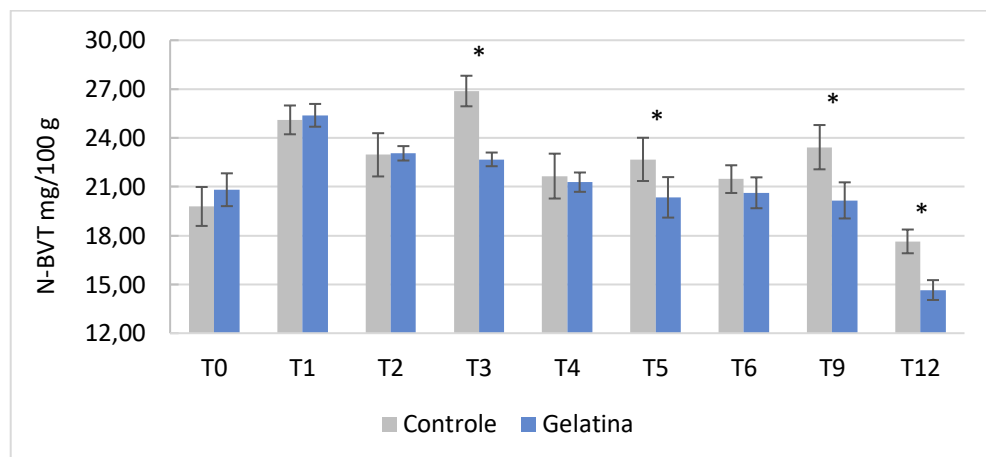
Mês	Controle	Gelatina	p-valor*
T0	19,79 ± 1,20	20,82 ± 1,01	ns
T1	25,11 ± 0,89	25,39 ± 0,70	ns
T2	22,96 ± 1,33	23,05 ± 0,44	ns

T3	26,88 ± 0,94	22,68 ± 0,42	p < 0,05
T4	21,65 ± 1,38	21,28 ± 0,59	ns
T5	22,68 ± 1,33	20,35 ± 1,24	p < 0,05
T6	21,47 ± 0,85	20,63 ± 0,95	ns
T9	23,43 ± 1,36	20,16 ± 1,11	p < 0,05
T12	17,64 ± 0,73	14,65 ± 0,61	p < 0,05

Legenda: T = tempo (mês); ns – indica que não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2024).

Figura 9 – Gráfico de N-BVT (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.



Legenda: T = tempo (mês); \* – indica que houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2024).

Pela Tabela 5 e Figura 9, observa-se que os tratamentos C e G não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) nos dois primeiros meses (T0 a T2). No entanto, com 3 meses (T3), o tratamento C, apresentou o maior valor de N-BVT registrado nos 12 meses de estocagem ( $26,88 \pm 0,94$  mg N/100 g de pescado), com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre ele e o tratamento G ( $22,68 \pm 0,42$  mg N/100 g de pescado), quando também foi registrado o maior valor de CTB (Tabela 2 e Figura 6), revelando uma coerência entre os resultados microbiológicos e os de deterioração do pescado.

Já as amostras de G apresentaram os maiores valores de N-BVT com 30 dias de experimento ( $25,39 \pm 0,70$  mg N/100 g de pescado) e os menores com 12

meses de experimento ( $14,65 \pm 0,61$  mg N/100 g de pescado), com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos C e G. Possivelmente esses resultados se deram em função do longo tempo de estocagem, contudo demonstra a manutenção na qualidade química das amostras revestidas (G), com inibição da formação das bases nitrogenadas voláteis totais no pescado.

Connell (1995) afirma que os valores indicadores de alimento considerado estragado para produtos marinhos estão acima de 30-35 mg N-BVT/100 g. O RIISPOA (BRASIL, 2020) estabelece o limite de BVT para pescados frescos abaixo de 30 mg de nitrogênio/100 g de tecido muscular, mesmo valor da Instrução Normativa N° 23 do MAPA (2019), para camarão congelado a  $-18^{\circ}\text{C}$  e camarão descongelado. Assim, as amostras do presente estudo de ambos os tratamentos mantiveram seus valores de N-BVT abaixo dos limites recomendados por parte da literatura e pela legislação brasileira vigente durante os 12 meses de armazenamento. Os baixos valores de N-BVT encontrados no presente estudo podem ser devido às boas condições iniciais de frescor dos exemplares de camarão analisados, bem como devido à baixa temperatura de estocagem ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) durante todo o período de armazenamento.

Os resultados desta pesquisa também ficaram consoantes com outras pesquisas descritas na literatura. Huang, Zelaya e Shiau (2016) relataram que a formação de N-BVT em *P. vannamei* sem revestimentos, aumentou significativamente de 4,2 mg/100 g (fresco) para um final de 49,0 mg/100 mg após 24 h de armazenamento a  $25^{\circ}\text{C}$ . Enquanto a tendência crescente de N-BVT foi efetivamente limitada quando a temperatura foi reduzida para  $4^{\circ}\text{C}$ , atingindo 52,8 mg/100 g após 14 dias de armazenamento a  $4^{\circ}\text{C}$ . Liu *et al.* (2016) observaram diminuições significativas ( $p < 0,05$ ) dos teores de N-BVT ao usarem revestimentos comestíveis de alginato de cálcio e de quitosana no camarão *P. vannamei* refrigerado por 6 dias a  $4^{\circ}\text{C}$ , em comparação as amostras sem revestimento.

Ge *et al.* (2020) perceberam diferenças significativas em camarões parcialmente congelados ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) que partiram de um N-BVT de 16,60 mg N/100 g no dia 0, para um N-BVT acima de 34 mg N/100 g nas amostras controle e um N-BVT abaixo de 24 mg N/100 g nas amostras tratadas com gelatina ácido-clorogênico, após 23 dias de análise.

Mirzapour-Kouhdasht e Moosavi-Nasab (2019) notaram que camarões *Penaeus merguensis* revestidos de gelatina extraída da pele de *Scomberomorus*

*Commerson* e gelatina extraída da pele de *S. commerson* combinada com hidrolisados de gelatina de peixe, apresentaram menores valores ( $p < 0,05$ ) de N-BVT que o tratamento controle, ao longo de 12 dias a 4 °C, tendo este controle ultrapassado o limite de 30 mg N/100 g de músculo aos 9 dias de experimento.

Farajzadeh *et al.* (2016) observaram que o conteúdo inicial de N-BVT do grupo controle aumentou exponencialmente ( $p < 0,05$ ) até o 8º dia de armazenamento sob refrigeração a 4 °C (10,48 para 33,58 mg N/100 g), enquanto os camarões revestidos com quitosana e gelatina bovina comercial (30:70) levaram 14 dias para alcançar o mesmo patamar (10,43 para 33,27 mg N/100 g). Segundo esses autores, o armazenamento em baixa temperatura combinado com tecnologias de revestimento comestíveis demonstraram significativas reduções na formação de N-BVT. Fato corroborado no atual trabalho.

#### **4.3.4 N-TMA**

O acúmulo de compostos nitrogenados, como o N-BVT, a trimetilamina (TMA) e as aminas biogênicas, em produtos pesqueiros, é causado pelo metabolismo de bactérias e enzimas deteriorantes e, em última análise, afeta o sabor, a qualidade sensorial, a nutrição e a segurança dos produtos (LI *et al.*, 2018).

A TMA é uma das principais substâncias responsáveis pelo odor de peixe e algumas aminas biogênicas (como histamina, cadaverina e putrescina) são potencialmente tóxicas para os humanos (YU *et al.*, 2018). Para medir somente a TMA, pode-se usar o formaldeído para bloquear as aminas primárias e secundárias (HUANG; ZELAYA; SHIAU, 2016). Essa foi a metodologia adotada nesta pesquisa. A Tabela 6 e Figura 10 apresentam a evolução dos valores de N-TMA presentes na musculatura dos camarões dos tratamentos C e G, no decorrer dos 12 meses de armazenamento congelado.

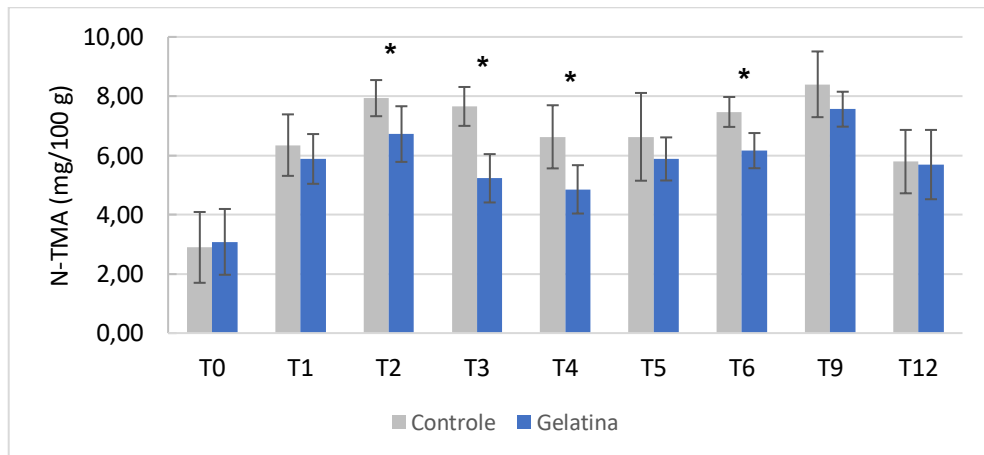
Tabela 6 – Médias e desvio padrão de N-TMA (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.

Mês	Controle	Gelatina	p-valor*
T0	2,89 ± 1,20	3,08 ± 1,11	ns
T1	6,35 ± 1,04	5,88 ± 0,84	ns
T2	6,35 ± 1,04	6,72 ± 0,94	p < 0,05
T3	7,65 ± 0,66	5,23 ± 0,82	p < 0,05
T4	6,63 ± 1,07	4,85 ± 0,82	p < 0,05
T5	6,63 ± 1,48	5,88 ± 0,73	ns
T6	7,47 ± 0,50	6,16 ± 0,59	p < 0,05
T9	8,40 ± 1,11	7,56 ± 0,59	ns
T12	5,79 ± 1,07	5,69 ± 1,17	ns

Legenda: T = tempo (mês); ns – indica que não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2024).

Figura 10 – Gráfico de N-TMA (mg N/100 g de pescado) do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.



Legenda: T = tempo (mês); \* – indica que houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos pelo teste t de Student.

Fonte: Autora (2024).

Pela Tabela 6 e Figura 10 observa-se que os tratamentos iniciaram sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nos teores de N-TMA do músculo dos camarões congelados. No entanto, com 2, 3, 4 e 6 meses de estocagem, as amostras com revestimento comestível de gelatina de escamas de tilápia do Nilo e glicerol (G), apresentaram menores valores ( $p > 0,05$ ) em relação ao controle (C). Apesar disto, o valor mais alto de C foi de  $8,40 \pm 1,11$  mg N/100 g de pescado em T9, e, de acordo

com Connell (1995), o nível máximo de N-TMA recomendado para consumo humano é de 10 a 15 mg N/100 g. Assim, nenhuma das amostras ultrapassou tal limite.

As mudanças N-BVT e N-TMA parecem, na maioria das análises, serem consistentes com as alterações no pH do músculo do camarão, resultante do acúmulo, mesmo que baixo, de compostos básicos induzidos pela atividade bacteriana ou enzimática. O aumento do pH, especialmente do grupo C, refletiu a produção de metabólitos bacterianos alcalinos no músculo de camarão.

Os resultados encontrados nesta pesquisa foram menores que os de Tsironi *et al.* (2009), que encontraram valores de até 25 e 14 mg N/100 g, de N-BVT e N-TMA, respectivamente, após 8 meses em amostras de camarões inteiros congelados sem revestimentos e armazenados entre - 5 e - 15 °C.

Huang, Zelaya e Shiau (2016) relataram que o teor de TMA aumentou 50% menos após 14 dias de armazenamento do *P. vannamei*, sem revestimentos, a 4 °C em comparação com 25 °C. Segundo estes autores, a quantidade de trimetilamina (TMA) presente é amplamente utilizada como um bom indicador do nível de contaminação bacteriana de peixes e frutos do mar.

Segundo Ge *et al.* (2020), organismos específicos de deterioração presentes no camarão produzem vários compostos voláteis, ácidos nitrogenados prejudiciais e ácidos graxos que causam problemas de segurança alimentar devido a perdas de qualidade nutricional e intoxicação alimentar. Nesta pesquisa, a gelatina combinada com a baixa temperatura retardou a produção dos compostos voláteis.

#### **4.3.5 SRATB**

Nos frutos do mar, a oxidação de lipídios leva ao desenvolvimento de descoloração, sabores rançosos e compostos potencialmente tóxicos. Além disso, os intermediários da oxidação lipídica também irão reagir com as proteínas, resultando na diminuição da funcionalidade da proteína e perda nutricional de alguns aminoácidos (YU *et al.*, 2018).

O teste de avaliação das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (SRATB) é usado na determinação do estado de oxidação lipídica em pescados. O ácido tiobarbitúrico (TBA), principal reagente utilizado nessa metodologia, reage com os tecidos produzindo uma coloração rosa, resultado da formação de um complexo

entre o TBA e compostos oxidados de gordura, principalmente o malonaldeído (MA), (VYNCKE, 1970) e/ou malondialdeído (MDA) (GE *et al.*, 2020).

A Tabela 7 e Figura 11 apresentam as quantificações dos valores de SRATB, em mg de MA equivalente por quilo de tecido muscular de pescado, presentes nas amostras de camarão dos tratamentos C e G, no decorrer dos 12 meses de armazenamento congelado a - 18 °C.

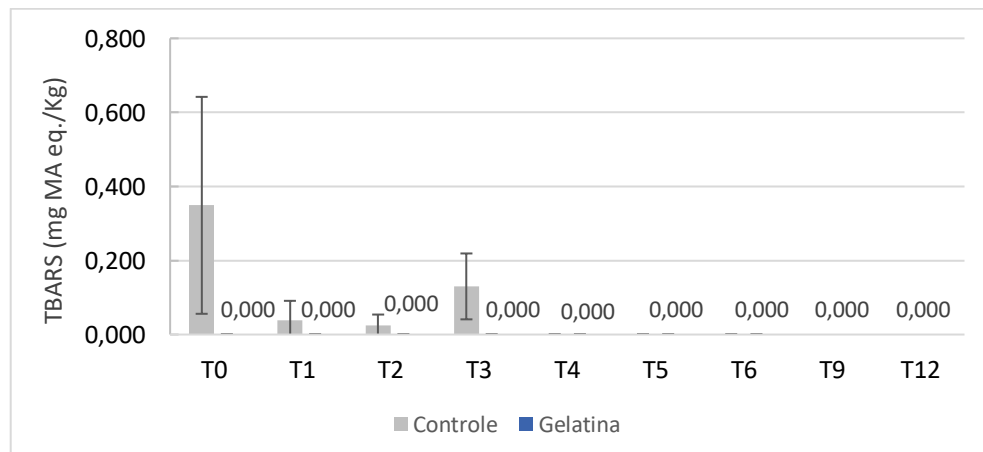
Tabela 7 – Médias e desvio padrão das SRATB (mg MA eq./Kg de pescado) do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.

Mês	Controle	Gelatina
T0	0,349 ± 0,29	0,00
T1	0,038 ± 0,05	0,00
T2	0,024 ± 0,03	0,00
T3	0,130 ± 0,09	0,00
T4	0,00	0,00
T5	0,00	0,00
T6	0,00	0,00
T9	0,00	0,00
T12	0,00	0,00

Legenda: T = tempo (mês).

Fonte: Autora (2024).

Figura 11 – Gráfico das SRATB (mg MA eq./Kg de pescado) do músculo de exemplares de *Penaeus vannamei* descascados, descabeçados e congelados por 12 meses dos tratamentos controle e gelatina.





Legenda: T = tempo (mês).

Fonte: Autora (2024).

Pela Tabela 7 e Figura 11 observa-se que o valor inicial de SRATB de C foi de  $0,349 \pm 0,29$  mg MA eq./Kg de pescado, depois demonstrou uma tendência de queda até zerar seus valores a partir de 4 meses de estocagem, com exceção do T3, quando houve aumento do TBARS. Nesse momento, possivelmente, as amostras de C podem ter sido mais expostas ao ambiente e à manipulação durante as etapas de processamento das análises, o que justificaria também o pico de contagem total de bactérias (CTB) e do N-BVT do tratamento controle também aos 3 meses.

Já o tratamento G apresentou valor de SRATB igual a zero ao longo dos 12 meses de armazenamento, demonstrando que o revestimento de gelatina com glicerol possui uma boa capacidade de proteger pescados congelados da oxidação lipídica causada principalmente pelo contato com o oxigênio atmosférico, mantendo a qualidade deste produto pesqueiro por mais tempo.

Connell (1995) diz que valores de SRATB entre 1,0 e 2,0 mg MDA/kg em músculo de pescado estão relacionados com sabor e odor desagradáveis. Assim, baseado nestes parâmetros, nenhum dos tratamentos atingiu o limite máximo recomendado.

Os resultados desta análise se assemelham a outras na literatura. Bono *et al.* (2012) avaliaram os níveis de BVT de camarões marinhos (*Parapenaeus longirostris*) congelados durante a estocagem a  $-18$  °C por 12 meses, e observaram que a oxidação lipídica (medida pelo teor de malonaldeído) de todas suas amostras (controle, sob atmosfera modificada, com tratamento de sulfitação e em embalagem a vácuo) permaneceram abaixo do nível limite proposto por Connell (1995) durante todo o período, no entanto, as amostras controle apresentaram tendência a se deteriorar mais rapidamente no segundo semestre do ano que as demais amostras.

Das *et al.* (2023) também observaram que, apesar de todas as amostras de *P. vannamei* testadas permaneceram abaixo do limite superior de 1-2 mg de MDA/kg, os valores de SRATB de camarões não revestidos (controle) foram significativamente maiores do que os camarões revestidos com gelatina e óleo de hortelã-pimenta comerciais no fim do período de armazenamento (12 dias resfriado a  $4$  °C e 6 meses congelados a  $-18$  °C, respectivamente). E concluíram que os

revestimentos apresentaram boa capacidade em proteger as amostras de camarão da oxidação lipídica.

Já Farajzadeh *et al.* (2016), perceberam em sua pesquisa, que o TBA aumentou com uma tendência significativamente mais lenta ( $p < 0,05$ ) no camarão revestido com quitosana-gelatina bovina comercial (30:70) do que no controle. E que os revestimentos de gelatina previnem significativamente a oxidação lipídica na carne.

Mirzapour-Kouhdasht e Moosavi-Nasab (2019) notaram que camarões *Penaeus merguensis* revestidos de gelatina extraída da pele de *Scomberomorus Commerson* combinada com hidrolisados de gelatina de peixe, apresentou uma variação do SRATB ( $0,23 \pm 0,01$  a  $0,54 \pm 0,07$  mg MA/kg) menor ( $p < 0,05$ ) que o tratamento sem revestimento ( $0,24 \pm 0,05$  a  $2,97 \pm 0,08$  mg MA/kg), estocados a  $4^\circ\text{C}$  por 12 dias, tendo o controle ultrapassado o limite de 2 mg MA/kg com 9 dias.

Em sua pesquisa, Yu *et al.* (2018) notaram que os revestimentos comestíveis retardaram efetivamente a oxidação lipídica dos produtos da pesca durante o armazenamento, principalmente por atuar como uma barreira ao oxigênio e por suas propriedades antioxidantes.

Os revestimentos ajudam a melhorar a segurança alimentar e o prazo de validade dos alimentos, retardando a oxidação lipídica, evitando a perda de funcionalidade da proteína e reduzindo os odores desagradáveis e a descoloração (FARAJZADEH *et al.*, 2016). Além disso, os revestimentos comestíveis podem funcionar como agentes de sacrifício de umidade e como barreiras para reduzir exsudatos de produtos alimentícios (YU *et al.*, 2018). Farajzadeh *et al.* (2016) viram que coberturas de quitosana-gelatina reduziram significativamente ( $p < 0,05$ ) a perda de peso (umidade) de camarões refrigerados.

A gelatina é um material de revestimento promissor por causa de suas habilidades de formação de filme ou gelificação, bem como sua resistência à secagem, luz e oxigênio (FENG *et al.*, 2017). E a gelatina obtida de fontes de resíduos de pescados é uma boa alternativa para reduzir desperdícios e impactos ambientais, e agregar valor ao produto (MARTINS *et al.*, 2018), com potencial tecnológico para a elaboração de revestimentos comestíveis de alimentos nas indústrias, como gelatina comercial.

De acordo com a FAO (2022), a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, é a terceira espécie mais produzida no mundo. Em 2020 foram produzidas 4,4 milhões de toneladas (peso vivo) desse peixe. Considerando tal produção e um residual de escamas da ordem de 2% (GHALY *et al.*, 2013), poderia ser aproveitado um total de 88 mil t de escamas de tilápia do Nilo ao ano, que, em geral, são simplesmente descartadas, podendo causar impactos negativos ao meio ambiente (MARTINS *et al.*, 2018). Esse montante poderia ser utilizado para extrair quase 21,7 mil t ao ano (considerando o rendimento obtido nesta pesquisa de 24,64%) de gelatina biodegradável, não-tóxica, comestível e biocompatível com carnes de pescados (VIEIRA, 2019).

A aplicação da gelatina como revestimento de carne de camarão permite a agregação de valor e auxilia na preservação do alimento contra a oxidação lipídica e o crescimento bacteriano, mantendo assim a qualidade e prolongando a vida útil deste pescado quando armazenado em ambiente refrigerado ou congelado (DAS *et al.*, 2023; NAGARAJAN *et al.*, 2021; MIRZAPOUR-KOUHDASHT; MOOSAVI-NASAB, 2019).

Na indústria de processamento de pescados, o glaciamento é uma tecnologia utilizada para proteger o pescado da degradação, evitando o excessivo contato com o ar atmosférico, e retardando assim, a perda de umidade e a oxidação lipídica (VIEIRA, 2019). Segundo a Instrução Normativa Nº 23/2019 do MAPA (2019) glaciamento consiste na aplicação de água, adicionada ou não de aditivos, sobre a superfície do camarão congelado, formando-se uma camada protetora de gelo para evitar a oxidação e desidratação. E, a gelatina pode ser utilizada como aditivo para realizar o glaciamento de pescados, visto que aditivos alimentares podem prolongar de forma eficiente a vida útil e garantir a aceitabilidade de produtos aquáticos congelados (LIU *et al.*, 2023).

Ainda segundo a IN Nº 23/2019 do MAPA, quando se tratar de camarão congelado com uso de aditivos na água de glaciamento, deve-se constar na rotulagem a expressão "contém (função principal e nome completo do aditivo ou função principal e número de INS do aditivo) na água de glaciamento", sendo permitida a realização de glaciamento do camarão congelado, até o limite máximo de 20% (vinte por cento) do peso líquido declarado (SDA/MAPA, 2019).

Neste experimento, foi utilizado um peso equivalente médio a 15% de solução de revestimento à base de gelatina de escamas de tilápia do Nilo, aplicado por pulverização, individualmente nos camarões descascados, descabeçados e congelados, a fim de garantir uma cobertura espessa e uniforme.

Os revestimentos, que formam uma camada comestível sobre a superfície do alimento, à base de gelatina, são geralmente aplicados por imersão, pulverização ou pincel, com a concentração da solução entre 1 e 8% (FENG *et al.*, 2017). Na atual pesquisa, a gelatina com glicerol foi aplicada numa concentração de 1,5% e 0,2%, respectivamente, o que garantiu bons resultados de cobertura e proteção.

O glicerol, por sua vez, é um plastificante adicionado aos revestimentos que tem como principal função melhorar a flexibilidade e estrutura do polímero, pois seu baixo peso molecular facilita a interação do plastificante com os polímeros, causando a redução das forças secundárias entre eles (na resistência mecânica) e um aumento na permeabilidade ao vapor de água e na elasticidade (LEITE, 2018). Além disso, possui alta hidrofiliabilidade, não toxicidade e alta compatibilidade com a gelatina (ALCÂNTARA *et al.*, 2022). Por isso, neste experimento, o glicerol foi utilizado como plastificante a fim de melhorar a estrutura do polímero.

Outra técnica muito comum na indústria de pescados, é a utilização do armazenamento congelado, um dos métodos de preservação mais eficaz e comum para o camarão (JIA *et al.*, 2019). Porém, ciclos de congelamento e descongelamento, e flutuações de temperatura durante o transporte, armazenamento e distribuição impactam negativamente a qualidade destes (ZUANAZZI *et al.*, 2020). E o prazo de validade para camarões não cozidos congelados (-18 °C) é longo, de 180 dias (FAO/WHO, 1981).

Além disso, o congelamento sozinho pode não inibir completamente o crescimento microbiano, a oxidação lipídica e degradação proteica em pescados (GE *et al.*, 2020), necessitando de outros métodos, para contornar tais limitações e fornecer produtos pesqueiros com qualidade (FARAJZADEH *et al.*, 2016). Diante disto, pesquisadores têm se dedicado a estudar embalagens sustentáveis, como revestimentos e filmes comestíveis, para uma conservação adequada de produtos aquáticos frescos, capazes de aumentar sua qualidade e prazo de validade (ALCÂNTARA *et al.*, 2022).

O uso combinado do revestimento comestível à base de gelatina com a baixa temperatura, pode ser utilizado para inibir significativamente a degradação dos pescados por bactérias (GE *et al.*, 2020) e oxidação lipídica (FARAJZADEH *et al.*, 2016), especialmente no camarão cinza *Peneaus vannamei*, que constitui um produto comercial nobre, muito rico nutricionalmente e valorizado por consumidores no mundo todo, porém de alta perecibilidade.

## 5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa confirmou a adequação das escamas de tilápia do Nilo como boa fonte de gelatina e comprovou a eficiência da adaptação da metodologia utilizada para a extração da gelatina, garantindo elevado rendimento do material.

A gelatina obtida apresentou boa composição centesimal, com baixos teores de umidade e cinzas e alto teor de proteínas, boa força de gel, massa molecular, DSC e FTIR, condizentes com a literatura.

Os valores de CTB, pH, N-BVT, N-TMA e SRATB de todas as amostras (C e G) mostraram-se abaixo da legislação vigente, durante os 12 meses de estocagem, evidenciando o excelente estado de frescor dos camarões utilizados.

O estudo demonstrou que muitas das análises de deterioração do camarão (crescimento de bactérias psicrófilas, pH, N-TMA, N-BVT e oxidação lipídica) das amostras de camarão revestidas com a solução de gelatina à base de escamas de tilápia do Nilo e glicerol apresentaram níveis menores que as amostras controle, sugerindo que o revestimento é uma boa técnica para inibir a degradação do pescado e conservar a qualidade do camarão descascado, sem cabeça e congelado por mais tempo.

Combinar os revestimentos comestíveis com o armazenamento congelado foi uma boa escolha para manter a qualidade do músculo do camarão e prolongar sua vida de prateleira.

Mais estudos são recomendados para comprovar as propriedades de conservação do revestimento, tais como: uso combinado da gelatina com substâncias de propriedades antibacterianas e antioxidantes, onde sejam avaliados os efeitos sinérgicos nos microrganismos; análises sensoriais; mecanismos de controle de oxidação e de inibição de enzimas para otimizar sua aplicação na preservação de produtos da pesca.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-FATTAH M. EL-SAYED. **Tilapia Culture**. 2nd ed. Massachusetts: Academic Press, 2020.

ABDELHEDI, O.; JRIDI, M.; NASRI, R.; MORA, L.; TOLDRÁ, F.; NASRI, M. Rheological and structural properties of *Hemiramphus* far skin gelatin: Potential use as an active fish coating agent. **Food Hydrocolloids**, Netherlands, v. 87, n. 1, p. 331-341, 2019.

AKAGÜNDÜZ, Y.; MOSQUERA, M.; GIMÉNEZ, B.; ALEMÁN, A.; MONTERO, P.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Sea bream bones and scales as a source of gelatin and ACE inhibitory peptides. **LWT - Food Science and Technology**, United States, v. 55, p. 579-585, 2014.

ALCÂNTARA, Lyndervan Oliveira de. **Avaliação de propriedades de superfície de revestimentos aplicados a filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e camarão (*Litopenaeus vannamei*)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia de Recursos Naturais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

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

ALCÂNTARA, L. O.; SOUSA, J. R. DE; ANDRADE, F. K.; TEIXEIRA, E. H.; CERQUEIRA, M. A.; SILVA, A. L. C. DA; SOUZA FILHO, M. DE S. M.; SOUZA, B. W. S. de. Extraction and characterization of hyaluronic acid from the eyeball of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Biological Macromolecules**, Netherlands, v. 226, p. 17-183, 2023.

ANEESH, P. A., ANANDAN, R., KUMAR, L. R. G., AJEESHKUMAR, K. K., KUMAR, K. A., & MATHEW, S. A step to shell biorefinery—Extraction of astaxanthin-rich oil, protein, chitin, and chitosan from shrimp processing waste. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, 205-214, 2023. doi:10.1007/s13399-020-01074-5

AOAC. **Official Methods of the Association of Official Agricultural Chemist's International**. 17th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2000.

APHA. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. Editors: Yvonne Salfinger and Mary Lou Tortorello. 4 ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2015.

ARAUJO, D. F. DE S.; SILVESTRE, D. D.; DAMASCENO, K. S. F. DA S. C.; PEDROSA, L. DE F. C.; SEABRA, L. M. J. Composição centesimal e teor de colesterol do camarão branco do Pacífico. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, 2012.

BENJAKUL S.; KITTIPHATTANABAWON P. Gelatin. *In: Reference Module in Food Science*, Encyclopedia of Food Chemistry, Academic Press, p. 121-127, 2019. DOI:10.1016/B978-0-08-100596-5.21588-6

BONO, G.; BADALUCCO, C. V.; CUSUMANO, S.; PALMEGIANO, G. B. Toward shrimp without chemical additives: A combined freezing-MAP approach. **LWT - Food Science and Technology**, United States, v. 46, n. 1, p. 274-279, 2012.

BORONAT, Ò.; SINTES, P.; CELIS, F.; DÍEZ, M.; ORTIZ, J.; AGUILÓ-AGUAYO, I.; MARTIN-GÓMEZ, H. Development of added-value culinary ingredients from fish waste: Fish bones and fish scales. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, Netherlands, v. 31, n. 1, ID 100657, 2023.

BRASIL. Decreto Nº 10.468, de 18 de agosto de 2020. Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de agosto de 2020.

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. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 2730-2751, 2019.

CHUAYCHAN, S.; BENJAKUL, S.; KISHIMURA, H. Characteristics and gelling property of gelatin from scale of spotted golden goatfish (*Parupeneus heptacanthus*). **Journal of Food Processing and Preservation**, United States, v. 41, e13139, 2017.

CONNELL, Jonh J. **Control of fish quality**. 4th ed. Scotland: Church Hill Livingstone Edinburg, 1995. 245 p.

DAS, M. P.; R., S. P.; PRASAD, K.; JV, V.; M., R. Extraction and characterization of gelatin: a functional biopolymer. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, India, v. 9, n. 9, p. 239-242, 2017.

DAS, S. K.; VISHAKHA, K.; DAS, S.; GANGULI, A. Study of Gelatin and Peppermint Oil Nanoemulsion Coating Against Food-Borne Pathogens, as Well as Its Effect on Shrimp Quality and Preservation. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, United States, v. 32, p. 142-157, 2023.

DOWNES, Frances Pouch; ITO, Keith. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4th ed. Washington, DC: APHA, 2001. 676 p.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation**. Rome: FAO, 2022.



FAO/WHO. Standard for quick frozen shrimps or prawns. *In*: FAO/WHO, **Codex Alimentarius**: International Food Standards. Washington, DC: FAO/WHO, 1981.

FARAJZADEH, F.; MOTAMEDZADEGAN, A.; SHAHIDI, S. A.; HAMZEH, S. The effect of chitosan-gelatin coating on the quality of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under refrigerated condition. **Food Control**, Netherlands, v. 67, p. 163-170, 2016.

FENG, X.; BANSAL, N.; YANG, H. Fish gelatin combined with chitosan coating inhibits myofibril degradation of golden pomfret (*Trachinotus blochii*) fillet during cold storage. **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 200, p. 283-292, 2016.

FENG, X.; NG, V. K.; MIKS-KRAJNIK, M.; YANG, H. S. Effects of fish gelatin and tea polyphenol coating on the spoilage and degradation of myofibril in fish fillet during cold storage. **Food Bioprocess Technology**, United States, v. 10, n. 1, p. 89-102, 2017.

FORATO, Lucimara Aparecida; BERNARDES FILHO, Rubens; OSIRO, Denise; BICUDO, Tatiana de Campos; COLNAGO, Luiz Alberto. A **Espectroscopia na região do infravermelho e algumas aplicações**. Documentos 51. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. 14 p.

FRIEDRICH, Jussara Carla Conti. **Biofilmes a base de amido, gelatina e extrato de Tetradenia riparia na conservação de morango**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017. 107 p.

GE, L.; XU, Y.; XIA, W.; JIANG, Q.; JIANG, X. Differential role of endogenous cathepsin and microorganism in texture softening of ice-stored grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, United Kingdom, v. 96, n. 9, p. 3233-3239, 2016.

GE, Y.; LIA, Y.; WU, T.; BAI, Y.; YUAN, C.; CHEN, S.; GAKUSHI, I.; HU, Y. The preservation effect of CGA-Gel combined with partial freezing on sword prawn (*Parapenaeopsis hardwickii*). **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 313, n. 126078, 2020.

GHALY, A. E.; RAMAKRISHNAN, V. V.; BROOKS, M. S.; BUDGE, S. M.; DAVE, D. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, United States, v. 5, n. 4, p. 107-129, 2013.

GIANNAKOUROU, M. C.; STAVROPOULOU, N.; TSIRONI, T.; LOUGOVOIS, V.; KYRANA, V.; KONTELES, S. J.; SINANOGLU, V. J. Application of hurdle technology for the shelf life extension of European eel (*Anguilla anguilla*) fillets. **Aquaculture and Fisheries**, China, v. 8, n. 4, p. 393-402, 2023.

GME. **Standardised methods for the testing of edible gelatine**: Gelatin monograph. Belgium: Gelatin Manufactures of Europe, version 17, dec. 2022.

GMIA. **Gelatin Handbook**. United States: Gelatin Manufacturers Institute of America, p. 1-27, 2019.

GÓES-FAVON, S. P.; MARICÁ, E. G. S.; SHIGEMATSU, E.; DORTA, C. Transglutaminase microbiana (MTGase) na elaboração de fishburguer com aproveitamento de carne mecanicamente separada de tilápia (*Oreochromis niloticus*) - Revisão de Literatura. **Brazilian Journal of Technology**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 20-35, 2021.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**, 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2021. 673 p.: il.; 28 cm.

GONÇALVES, A. A.; SANTOS, T. C. L. Improving the quality and the shelf life of whole chilled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by ozone technology associated with modified atmosphere package. **LWT - Food Science and Technology**, United States, v. 99, p. 568-575, 2019.

HOSSEINI, S. F.; REZAEI, M.; ZANDI, M.; GHAVI, F. F. Effect of fish gelatin coating enriched with oregano essential oil on the quality of refrigerated rainbow trout fillet. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, United States, v. 25, n. 6, p. 835-842, 2016.

HUANG, Y. R.; ZELAYA, M. F. G.; SHIAU, C. Y. Changes in Biochemical Compositions and Quality of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) During Storage. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, United States v. 25, n. 1, p. 35-45, 2016.

IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM 2020**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2020\\_v48\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2020_v48_br_informativo.pdf) Acesso em: 22 jul. 2022.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM 2022**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/18/16459> Acesso em: 11 mar. 2024.

ITIS. *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Report. [online database]. Washington, DC: Integrated Taxonomic Information System (ITIS), 2023. Disponível em: [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=551682#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=551682#null) Acesso em: 22 jul. 2023.

JIA, S.; LIUA, Y.; ZHUANGA, S.; SUNA, X.; LIA, Y.; HONGA, H.; LV, Y.; LUO, Y. Effect of  $\epsilon$ -polylysine and ice storage on microbiota composition and quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 0°C. **Food Microbiology**, United States, v. 83, p. 27-35, 2019.

JIANG, M.; LIU, S.; WANG, Y. Effects of Antimicrobial Coating from Catfish Skin Gelatin on Quality and Shelf Life of Fresh White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Journal of Food Science**, United States, v. 76, n. 3, 2011.

LEITE, Lana Oliveira. **Filmes e revestimentos antimicrobianos de proteínas miofibrilares a partir de subprodutos (*Oreochromis niloticus*) com aplicação em postas de cavala (*Scomberomorus cavalla*)**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Pesca) –Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

LI, E.; XU, C.; WANG X.; WANG, S.; ZHAO, Q.; ZHANG, M.; QIN, J. G.; CHEN, L. Gut Microbiota and its Modulation for Healthy Farming of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, United Kingdom, v. 26, n. 3, 2018.

LIAO, W.; ZHU, Y.; LU, Y.; WANG, Y.; DONG, X.; XIA, G.; SHEN, X. Effect of extraction variables on the physical and functional properties of tilapia gelatin. **LWT - Food Science and Technology**, United States, v. 146, ID 111514, 2021.

LIU, X. L.; JIA, Y. Y.; HU, Y. X.; XIA, X. D.; LI, Y.; ZHOU, J. Z.; LIU, Y. Effect of Citrus wilsonii Tanaka extract combined with alginate-calcium coating on quality maintenance of white shrimps (*Litopenaeus vannamei* Boone). **Food Control**, Netherlands, v. 68, p. 83-91, 2016.

LIU, Y.; LI, B.; ZHANG, K.; LI, J.; HOU, H. Novel hard capsule prepared by tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale gelatin and konjac glucomannan: Characterization, and in vitro dissolution. **Carbohydrate Polymers**, United Kingdom, v. 206, p. 254-261, 2019.

LIU, S.; LAU, C. S.; LIANG, K.; WEN, F.; TEOH, S. H. Marine collagen scaffolds in tissue engineering. **Current Opinion in Biotechnology**, United Kingdom, v. 74, p. 92-103, 2022.

LIU, Z.; YANG, W.; WEI, H.; DENG, S.; YU, X.; HUANG, T. The mechanisms and applications of cryoprotectants in aquatic products: An overview. **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 408, n. 135202, 2023.

MACHADO, L. D. B.; MATOS, J. R. Análise térmica diferencial e calorimetria exploratória diferencial. *In*: CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. (org.). **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2003.

MALLE, P.; TAO, S. H. Rapid quantitative-determination of trimethylamine using steam distillation. **Journal Food Protection**, United States, v. 50, n. 9, p. 756-760, 1987.

MARTINS, Maria Emanuella de Oliveira. **Extração, caracterização e aplicação da gelatina obtida da escama de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus,1758)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MARTINS, M. E. O.; CLAUDINO, R. L.; MORAIS, J. P. S.; CASSALES A. R.; ALEXANDRE, L. C.; SOUZA, B. W. S; SOUSA, J. R.; ALCANTARA, O. A.; SOUZA FILHO, M.S. M. **Obtenção de gelatina a partir de Escama de tilápia (*Oreochromis niloticus*):** Características Químicas e Físico-químicas. Boletim de Pesquisa Número 108. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2015.

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.; SOUZA FILHO, M.S. M.; SOUZA, B. W. S. Thermal and Chemical Properties of Gelatin from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Scale. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, United States, v. 27, n. 10, p. 1120-1133, 2018.

MINH, N. P. Application of edible coating to prolong shelf life of dried white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Plant Archives**, India, v. 19, p. 237-240, 2019.

MIRZAPOUR-KOUHDASHT, A.; MOOSAVI-NASAB, M. Shelf-life extension of whole shrimp using an active coating containing fish skin gelatin hydrolysates produced by a natural protease. **Food Science & Nutrition**, United Kingdom, v. 00, p. 1-10, 2019.

MONTEIRO, Levy Bento. **Aplicação de cobertura a base de gelatina de tilápia na conservação de tomates**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Mossoró, 2019.

MUYONGA, J. H.; COLE, C. G. B.; DUODU, K. G. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 86, n. 3, p. 325-332, 2004.

NAGARAJAN, M.; RAJASEKARAN, B.; BENJAKUL, S.; VENKATACHALAM, K. Influence of chitosan-gelatin edible coating incorporated with longkong pericarp extract on refrigerated black tiger Shrimp (*Penaeus monodon*). **Current Research in Food Science**, Netherlands. v. 4, p. 345-353, 2021.

NITSUWAT, S.; ZHANG, P.; NG, K.; FANG, Z. Fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin for food industry: A meta-analysis. **LWT - Food Science and Technology**, United States, v. 141, n. 110899, 2021.

NOWZARI, F.; SHABANPOUR, B.; OJAGH, S. M. Comparison of chitosan-gelatin composite and bilayer coating and film effect on the quality of refrigerated rainbow trout. **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 141, n. 3, p. 1667-1672, 2013.

OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025**. Paris: OECD Publishing, 2016.

PAN, C.; CHEN, S.; HAO, S.; YANG X. Effect of low-temperature preservation on quality changes in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, United Kingdom, v. 99, p. 6121-6128, 2019.

PAULA, J.; AMARAL, V. **Ciências da Saúde: saberes e práticas interdisciplinares**. Joelma Abadia Marciano de Paula; Vanessa Cristiane de Santana Amaral (orgs.). Anápolis: Ed. UEG, 2019. 410 p. Disponível em: <pp.http://cdn.ueg.edu.br/source/editora\_ueg/conteudoN/2167/ciencias\_da\_saude/ebook\_ciencias\_da\_saude\_2019.pdf> Acesso em 25 nov. 2022.

PEIXE BR. **Anuário 2022 Peixe BR da Piscicultura**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2022.

PEIXE BR. **Anuário 2024 Peixe BR da Piscicultura**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2024.

RIGUETO, C. V. T.; ROSSETO, M.; ALESSANDRETTI, I.; DE OLIVEIRA, R.; WOHLMUTH, D. A. R.; FERREIRA MENEZES, J.; LOSS, R. A.; DETTMER, A.; PIZZUTTI, I. R. Gelatin films from wastes: A review of production, characterization, and application trends in food preservation and agriculture. **Food Research International**, United Kingdom, v. 162, n. 112114, 2022.

ROCHA, I. 100% de crescimento. *In*: **Revista Feed Food**, Sorocaba, n. 183, p. 86-87, 2022. Disponível em: <https://www.revistafeedfood.com.br/pub/curuca/?numero=183&edicao=11841#page/4>. Acesso em: 22 jul. 2022.

ROSSETTO, J. F.; SIGNOR, A. Inovações tecnológicas empregadas em coprodutos gerados pelo processamento do pescado. **Pubvet**, Londrina, v. 15, p. 134, 2020.

SDA/MAPA. Instrução Normativa SDA nº 23, de 20 de agosto de 2019 - Regulamento Técnico que fixa a identidade e os requisitos de qualidade que devem apresentar o camarão fresco, o camarão resfriado, o camarão congelado, o camarão descongelado, o camarão parcialmente cozido e o camarão cozido. Secretaria de Defesa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 de agosto de 2019. 166 ed., Seção 1, p. 1.

SEBRAE. **Criação de Camarão: Cartilha Básica**. Sergipe: SEBRAE, 2018. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Aquicultura-a-Criacao-de-Camaracao-Cartilha-Basica.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

SEBRAE. **Criação de tilápias em viveiros escavados**. Brasília, DF: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae, 2016.

SENARATHNA, P. D. S.; MARAPANA, R. A. U. J. Comparative Analysis of the Effect of Ultrasound-Assisted and Conventional Water Bath Extraction Methods on the Physicochemical Characteristics of Tilapia Scales Gelatin, **Journal of Aquatic Food Product Technology**, United States, v. 30, n. 7, p. 893-906, 2021.

- SINTHUSAMRAN, S.; BENJAKUL, S.; HEMAR, Y.; KISHIMURA, H. Characteristics and properties of gelatin from seabass (*Lates calcarifer*) swim bladder: Impact of extraction temperatures. **Waste and Biomass Valorization**, Netherlands, v. 9, n. 2, p. 315-325, 2018.
- SOCKALINGAM, K.; ABDULLAH, H. Z. Extraction and characterization of gelatin biopolymer from black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) scales. In: Proceedings of the 23rd Scientific Conference of Microscopy Society Malaysia (SCMSM 2014), **AIP Conference Proceedings**, United States, v. 1669, p. 020053-1–020053-6, 2015.
- SOUSA, E. M.; MELO, E. F.; RIBEIRO, H. L.; FEITOSA, J. P. A.; SOUZA-FILHO, M. S. M.; MELO, M. M.; CASTRO-SILVA, I. I. Biocompatibility and biodegradation analysis of Nile Tilapia gelatin and apatite membranes. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 53, e20218217, 2022.
- SOUZA FILHO, M. DE S. M. DE; NUNES, Y. L.; CLAUDINO, R. L.; ROSA, M. DE F.; ITO, E. N.; FURTADO, Â. A. L.; RODRIGUES, M. DO L. L.; MELO, E. F. de. **Obtenção e caracterização de gelatina de pele de tilápia**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. 22 p.
- SOW, L. C.; YANG, H. Effects of salt and sugar addition on the physicochemical properties and nanostructure of fish gelatin. **Food Hydrocolloids**, Netherlands, v. 45, p. 72-82, 2015.
- STEWART, G. S. **Micro-organisms in food-2. Sampling for microbiological analysis**: principles and specific applications ICMSF. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986. 310 pp.
- SUPUT, D.; LAZIĆ, V.; POPOVIĆ, S.; HROMIS, N.; BULUT, S. Biopolymer films synthesis and characterization. **Journal on Processing and Energy in Agriculture**, Serbia, v. 21, n.1, p. 9-12, 2017.
- TAN, C. C.; KARIM, A. A.; UTHUMPORN, U.; GHAZALI F. C. Effect of extraction temperature on the physicochemical properties of gelatine from the skin of black tilapia (*Oreochromis mossambicus*). **Journal of Physical Science**, Malaysia, v. 30 (Supp. 1), p. 1-21, 2019.
- TILAMI, S.K.; SAMPELS, S. Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, United Kingdom, v. 26, p. 243-253, 2017.
- TKACZEWSKA, J.; MORAWSKA, M.; KULAWIK, P.; ZAJA, M. Characterization of carp (*Cyprinus carpio*) skin gelatin extracted using different pretreatments method. **Food Hydrocolloids**, Netherlands, v. 81, p. 169-179, 2018.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia** [recurso eletrônico]. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

- TSIRONI, T.; DERMESONLOUOGLOU, E.; GIANNAKOUROU, M.; TAOUKIS, P. Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. **LWT - Food Science and Technology**, United States, v. 42, p. 664-671, 2009.
- VIEIRA, C. B. **Filmes e revestimentos comestíveis do polissacarídeo sulfatado da alga marinha vermelha *Gracilaria birdiae* na qualidade do camarão *Litopenaeus vannamei* congelado**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- VYNCKE, W. Direct Determination of the Thiobarbituric Acid Value in Trichloroacetic Acid Extracts of Fish as a Measure of Oxidative Rancidity. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, Australia, v. 72, n. 12, p. 1084-1087, 1970.
- WENG, W.; ZHENG, H.; SU, W., Characterization of edible films based on tilapia (*Tilapia zillii*) scale gelatin with different extraction pH, **Food Hydrocolloids**, Netherlands, v. 41, 19-26, 2014.
- WU, S. Effect of chitosan-based edible coating on preservation of white shrimp during partially frozen storage. **International Journal of Biological Macromolecules**, Netherlands, v. 65, p. 325-328, 2014.
- YU, D.; JIANG, Q.; XU, Y.; XIA, W. The shelf life extension of refrigerated grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets by chitosan coating combined with glycerol monolaurate. **International Journal of Biological Macromolecules**, Netherlands, v. 101, p. 448-454, 2017.
- YU, D.; XU, Y.; REGENSTEIN, J. M.; XIA, W.; YANG, F.; JIANG, Q.; WANG, B. The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during refrigerated storage. **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 242, p. 412-420, 2018.
- YUAN, G.; LV, H.; TANG, W.; ZHANG, X.; SUN, H. Effect of chitosan coating combined with pomegranate peel extract on the quality of Pacific white shrimp during iced storage. **Food Control**, Netherlands, v. 59, p. 818-823, 2016a.
- YUAN, G.; ZHANG, X.; TANG, W.; SUN, H. Effect of chitosan coating combined with green tea extract on the melanosis and quality of Pacific white shrimp during storage in ice, **CyTA - Journal of Food**, United Kingdom, v. 14, n. 1, p. 35-40, 2016b.
- ZHANG, T.; XU, J.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LORENZO, J. M.; ZHONG, J. Gelatins as emulsifiers for oil-in-water emulsions: extraction, chemical composition, molecular structure, and molecular modification. **Trends in Food Science & Technology**, United Kingdom, v. 106, p. 113-31, 2020.
- ZINK, J.; WYROBNIK, T.; PRINZ, T.; SCHMID, M. Physical, Chemical and Biochemical Modifications of Protein-Based Films and Coatings: An Extensive Review. **International Journal of Molecular Sciences**, Switzerland, v. 17, 1376, 2016.

ZUANAZZI, J. S. G.; GOES, E. S. DOS R.; ALMEIDA, F. L. A.; GOES, M. D.; LARA, J. A. F.; RIBEIRO, R. P. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 300-304, 2020.