



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

ALYNNE RODRIGUES DA SILVA

**USO DE EXTRATO DE ALHO CONJUGADO A REVESTIMENTO DE QUITOSANA
NA ESTABILIDADE EM ALMÔNDEGAS ELABORADAS À BASE DE CARNE
MECANICAMENTE SEPARADA DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

FORTALEZA

2025

ALYNNE RODRIGUES DA SILVA

USO DE EXTRATO DE ALHO CONJUGADO À REVESTIMENTO DE QUITOSANA NA
ESTABILIDADE EM ALMÔNDEGAS ELABORADAS À BASE DE CARNE
MECANICAMENTE SEPARADA DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Tecnologia do pescado.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Ianna Wivianne Fernandes de Araújo.

Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a Ana Paula Colares de Andrade.

FORTALEZA

2025

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)

- S578u Silva, Alynne Rodrigues da.
Uso de extrato de alho conjugado a revestimento de quitosana na estabilidade em almôndegas elaboradas à base de carne mecanicamente separada de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) / Alynne Rodrigues da Silva. – 2023.
78 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Ianna Wivianne Fernandes de Araújo.
Coorientação: Profa. Dra. Ana Paula Colares de Andrade. .
1. Controle de qualidade. 2. Segurança dos alimentos. 3. Estabilidade Oxidativa. 4. Revestimentos comestíveis. I. Título.

CDD 639.2

ALYNNE RODRIGUES DA SILVA

USO DE EXTRATO DE ALHO CONJUGADO À REVESTIMENTO DE QUITOSANA NA
ESTABILIDADE EM ALMÔNDEGAS ELABORADAS À BASE DE CARNE
MECANICAMENTE SEPARADA DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de doutorado em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Tecnologia do pescado.

Aprovada em: 30/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Ianna Wivianne Fernandes de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Larissa Moraes Ribeiro da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a. Dra. Luciana de Siqueira Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Janevane Silva de Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Ariévilo Gurgel Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio concedido por meio da bolsa de estudos. O incentivo desta instituição foi essencial para a realização deste trabalho, possibilitando dedicação integral à pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Com o coração cheio de saudade e gratidão, dedico este trabalho à minha mãe Maria da Conceição (*in memoriam*), que sempre foi meu alicerce de amor, elo de família, resiliência perante inúmeras limitações, fé e ternura. Sua ausência física jamais apagará a presença viva que carrego todos os dias em mim. Honro nossa história buscando o melhor dessa vida e nas pessoas, levando seus ensinamentos e valores. Foi pelo seu amor e com você, em pensamento, que segui firme nesta caminhada. E tu estarás em todos os lugares que meu olhar pousar. Onde meu coração estiver, o seu vai continuar batendo. Te amo nesta vida e em outras mais.

Concluir esta tese é, para mim, mais do que encerrar um ciclo acadêmico. É honrar cada gesto de apoio. Assim, meus agradecimentos seguem:

Agradeço a Deus, por estar sempre comigo, por todas as bênçãos durante essa tão especial trajetória, às bençãos que me concedeu, inclusive por mais essa vitória.

À minha família, meu porto seguro que mesmo à distância me escutou, me incentivou. Em especial, ao meu pai, que nunca hesitou em me dar suporte emocional, material e humano para que eu pudesse viver meu sonho, estudando e morando longe de casa. Sem o seu apoio, esse caminho teria sido muito mais difícil.

À minha querida amiga Jéssica, minha colega de laboratório que tem sido um grande presente desde o mestrado e ao longo dos anos de doutorado, deixo um agradecimento cheio de carinho, com imensa gratidão. Sua presença constante, leal e generosa fez toda diferença na rotina e no enfrentamento dos desafios. Obrigada por caminhar ao meu lado, com empatia, parceria.

Aos que contribuíram de forma técnica e científica para que esta pesquisa se realizasse, expresso minha mais sincera gratidão:

À minha orientadora, Profa. Dra. Ianna, agradeço pela confiança e por guiar esta pesquisa com compreensão e respeito.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Ana Paula, agradeço por aceitar o convite para somar forças neste trabalho e torná-lo viável com sua experiência e disponibilidade. E por ceder o uso do laboratório para realizar a maioria das análises presentes nessa pesquisa.

Ao Ariévilo, pela dedicação generosa em compartilhar conhecimentos técnicos e científicos. Ensinava com humildade e paciência. Estando presente em momentos de incerteza.

Aos técnicos do Laboratório de Carnes e Pescado, Janevane e Sr. Luiz, minha gratidão pela convivência respeitosa, pela rotina agradável e pelo auxílio nos momentos de experimentação.

Aos professores e avaliadores participantes da banca examinadora Profa. Dra. Larissa, Profa. Dra. Luciana, Dr. José Ariévilo, Dr. Janevane de Castro pela disponibilidade, pelas valiosas contribuições.

Agradeço a todos os alunos do curso de Engenharia de Alimentos que colaboraram nas atividades de bancada no Laboratório de Carnes e Pescados para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará e a todos os professores que contribuíram para essa conquista.

Aos laboratórios da Universidade Federal do Ceará, que por meio de suas estruturas, equipamentos e apoio técnico, tornaram possível a execução das análises deste trabalho, contribuindo de forma essencial para realização dos experimentos: Laboratório de Bioquímica Marinha, Laboratório de Carnes e Pescados, Laboratório de Microbiologia de Alimentos, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, Laboratório de Análises de Traços e a Central Analítica por toda a estrutura, apoio técnico e colaboração que foram fundamentais para a execução das análises e o bom andamento da pesquisa.

A todas as pessoas que, de alguma forma, passaram pelo meu caminho e contribuíram para que esta etapa fosse possível, registro aqui o meu muito obrigada.

RESUMO

Durante o processamento e armazenamento de produtos à base de pescado, as alterações físicas, químicas e microbiológicas constituem uma grande preocupação devido a redução da estabilidade. O presente estudo teve o objetivo de avaliar a influência do extrato de alho (*Allium sativum* L.) e do revestimento de quitosana comercial em almôndegas refrigeradas à base de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). O extrato aquoso de alho foi caracterizado por análise de atividade antimicrobiana *in vitro*, caracterizado por meio das análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (EITF). A qualidade microbiológica da CMS foi avaliada conforme legislação vigente. Foram elaborados cinco tratamentos de almôndegas, tais como: três com adição de extrato de alho (1%, 3% e 6%), além dos grupos controle negativo sem aditivos e controle positivo com aditivo sintético butil-hidroxitolueno (BHT), sendo modeladas com 50g cada unidade. O revestimento foi aplicado, exclusivamente, no grupo de concentração de 6% de extrato de alho. As almôndegas foram armazenadas em geladeira a 4 °C por 28 dias para avaliação da estabilidade. No tempo zero, as amostras dos tratamentos foram analisadas quanto à capacidade de retenção de água (CRA) e perda por cocção (PPC), assim como por MEV e determinação do perfil de ácidos graxos, do grupo controle negativo. Os dados foram analisados pelo teste ANOVA seguido de Tukey, considerando nível de significância ($p \leq 0,05$). O extrato de alho apresentou atividade antimicrobiana significativa contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. A EITF e a CLAE caracterizaram o extrato de alho confirmando a presença de grupos funcionais contendo compostos sulfurados e nitrogenados, bem como a alicina e inulina, relacionadas à ação antimicrobiana e antioxidante. A MEV mostrou microestruturas irregulares e dispersas no extrato. A CMS atendeu aos padrões microbiológicos da legislação vigente, apresentando uma estabilidade dos produtos elaborados com variação de pH em torno de 5,9 a 6,5 e TBARS variando de 1,58 a 4,89 mg kg⁻¹. Foi observado que o extrato de alho adicionado nas almôndegas não influenciou ($p < 0,05$) a CRA e a PPC. As almôndegas refrigeradas conjugadas ao revestimento de quitosana, revelaram microestruturas porosas, enquanto o revestimento isolado apresentou superfície mais contínua, homogênea e com pouca dispersão e porosidade, validando o filme natural quando analisadas pela MEV. Na análise de ácidos graxos das almôndegas sem aditivos foi detectado componentes lipídicos saturados e insaturados, assim como: ácido palmítico, linoleico e eicosanóico. Desta forma, concluímos que as almôndegas com extrato de alho revestidas com quitosana apresentaram maior segurança microbiológica e

estabilidade sob refrigeração, mantendo as características físico-químicas dentro dos padrões de qualidade.

Palavras-chave: controle de qualidade; segurança dos alimentos; estabilidade oxidativa; revestimentos comestíveis.

ABSTRACT

During the processing and storage of fish products, physical, chemical, and microbiological changes are a major concern due to reduced stability. This study aimed to evaluate the influence of garlic (*Allium sativum* L.) extract and a commercial chitosan coating on refrigerated meatballs made from mechanically separated meat (MSM) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The aqueous garlic extract was characterized by *in vitro* antimicrobial activity analysis using scanning electron microscopy (SEM), high-performance liquid chromatography (HPLC), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The microbiological quality of the MSM was assessed in accordance with current legislation. Five meatball treatments were prepared: three with the addition of garlic extract (1%, 3%, and 6%), in addition to the negative control group without additives and the positive control group with the synthetic additive butylhydroxytoluene (BHT). Each meatball was modeled with 50g of each. The coating was applied exclusively to the 6% garlic extract group. The meatballs were stored in the refrigerator at 4°C for 28 days to assess stability. At time zero, treatment samples were analyzed for water holding capacity (WHC) and cooking loss (CLP), as well as by SEM and determination of the fatty acid profile of the negative control group. Data were analyzed by ANOVA followed by Tukey's test, considering a significance level of $p \leq 0.05$. Garlic extract showed significant antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. FTIR and HPLC characterized the garlic extract, confirming the presence of functional groups containing sulfur and nitrogen compounds, as well as allicin and inulin, associated with antimicrobial and antioxidant activity. A MEV revealed irregular and dispersed microstructures in the extract. The CMS met the microbiological standards of current legislation, demonstrating stability of the prepared products with a pH range of approximately 5.9 to 6.5 and TBARS ranging from 1.58 to 4.89 mg kg⁻¹. It was observed that the garlic extract added to the meatballs did not influence ($p < 0.05$) the WHC and PPC. The refrigerated meatballs combined with the chitosan coating revealed porous microstructures, while the coating alone presented a more continuous, homogeneous surface with little dispersion and porosity, validating the natural film when analyzed by SEM. The fatty acid analysis of the meatballs without additives detected saturated and unsaturated lipid components, as well as palmitic, linoleic, and eicosanoic acids. Therefore, we concluded that the chitosan-coated meatballs with garlic extract presented greater microbiological safety and stability under refrigeration, maintaining their physicochemical characteristics within quality standards.

Keywords: quality control; food safety; oxidative stability; edible coatings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Os bulbos do alho (<i>A. sativum</i>) e a representação da estrutura química de seus compostos sulfurados como a aliina e a alicina.....	26
Figura 2 –	Etapas para obtenção do extrato de alho.....	29
Figura 3 –	Almôndegas de CMS de tilápia com revestimento de quitosana (A); e solução do revestimento de quitosana (B).....	36
Figura 4 –	Cromatograma obtido do extrato de alho (A) e utilizando acetonitrila (B)...	41
Figura 5 –	Cromatograma complementar do extrato de alho (A) e utilizando acetonitrila (B).....	41
Figura 6 –	Halos de inibição do extrato de alho. (A) <i>Staphylococcus aureus</i> , (B) <i>Salmonella</i> spp., (C) <i>Escherichia coli</i>	44
Figura 7 –	Espectro de infravermelho da amostra EITF do extrato de alho.....	46
Figura 8 –	Imagem de microscopia eletrônica de varredura de amostra do extrato de alho bruto.....	47
Figura 9 –	Cromatograma representativo da identificação química dos compostos poliinsaturados.....	59
Figura 10 –	Microscopia Eletrônica de Varredura dos tratamentos das almôndegas.....	61
Figura 11 –	Microscopia Eletrônica de Varredura do tratamento com revestimento e revestimento.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Formulação das almôndegas com e sem antioxidante.....	35
Tabela 2 –	Diferenças significativas da atividade antimicrobiana do extrato de alho extrato alho <i>Allium sativum</i> L. por difusão em ágar.....	43
Tabela 3 –	Grupos funcionais de EITF do carboidrato inulina encontrado na amostra concentrada de extrato de alho.....	46
Tabela 4 –	Composição centesimal da matéria prima (CMS) e almôndegas.....	48
Tabela 5 –	Análises microbiológicas da matéria-prima (CMS) utilizada na elaboração das almôndegas.....	50
Tabela 6 –	Capacidade de retenção de água (CRA) das almôndegas e CMS de tilápia..	52
Tabela 7 –	Perda de peso por cocção (PPC) das almôndegas e CMS de tilápia.....	54
Tabela 8 –	Valores de pH das almôndegas a base de CMS de tilápia durante armazenadas sob refrigeração (4 °C)	55
Tabela 9 –	Avaliação dos valores de TBARS nas almôndegas de CMS de tilápia armazenadas sob refrigeração (4° C)	55
Tabela 10 –	Identificação química dos compostos poliinsaturados em almôndega de CMS de tilápia.....	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Valor calórico.....	32
Equação 2 – Perda de peso por cocção (PPC).....	37
Equação 3 – Redução do tamanho.....	37

LISTA DE SIGLAS

AG	Ácidos graxos
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BHA	Butil-hidroxianisol
BHT	Butil-hidroxitolueno
CIM	Concentração inibitória mínima
CMS	Carne mecanicamente separada
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CRA	Capacidade de retenção de água
CT	Coliformes termotolerantes
DADS	Dialil dissulfeto
DAS	Dialil sulfeto
DATS	Dialil trissulfeto
DEAL	Departamento de Engenharia de Alimentos
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DHA	Ácido Graxo Docosaheptaenoico
DTA	Doença transmitida por alimentos
EITF	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
EPA	Ácido eicosanóico
ERO	Espécies reativas de oxigênio
GC-MS	Cromatografia Gasosa-Espectrometria de Massa
HPLC	Cromatografia líquida de alta frequência
LST	Lauryl Triptose
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MDA	Malondialdeído
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NMP	Número Mais Provável
OEs	Óleos essenciais
PCA	<i>Plate Count Agar</i>
PG	Propil galato
PPC	Perda de peso por cocção
PUFAs	Ácidos graxos poliinsaturados n-3
RIISPOA	Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos Animal

TBA	Ácido tiobarbitúrico
TBARS	Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico
TBHQ	Butil-hidroquinona terciária
TCA	Ácido tricloroacético
UFC/g	Unidades Formadoras de Colônias por grama

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1	Pescado e sua importância nutricional.....	20
3.2	Processamento da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	21
3.3	Produtos de valor agregados à base de pescado.....	22
3.4	Deterioração do pescado.....	23
3.5	Alho (<i>Allium sativum</i> L.): um antioxidante natural.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1	Obtenção do extrato de alho.....	29
4.2	Caracterização do extrato de alho.....	29
4.2.1	<i>Análise cromatográfica Líquida de Alta Eficiência (CLAE)</i>.....	29
4.2.2	<i>Avaliação da atividade antimicrobiana in vitro</i>.....	30
4.2.3	<i>Preparação do inóculo</i>.....	30
4.2.4	<i>Teste de difusão em Ágar</i>.....	30
4.2.5	<i>Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier –EITF</i>.....	30
4.2.6	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>.....	31
4.3	Obtenção da Carne Mecanicamente Separada (CMS)	31
4.4	Avaliação físico-química da CMS e das almôndegas elaboradas.....	32
4.4.1	<i>Composição centesimal e valor calórico</i>.....	32
4.5	Análises microbiológicas da CMS “in natura”	33
4.5.1	<i>Detecção de Salmonella</i>.....	33
4.5.2	<i>Bactérias aeróbias mesófilas</i>.....	33
4.5.3	<i>Determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Termotolerantes (CT)</i>	33
4.5.4	<i>Contagem de Staphylococcus aureus coagulase positiva</i>.....	34
4.6	Elaboração das almôndegas.....	34
4.7	Preparação do revestimento de quitosana.....	35
4.8	Avaliação físico-química da CMS “in natura” de tilápia e das almôndegas.....	36

4.8.1	<i>Capacidade de retenção de água (CRA)</i>	36
4.8.2	<i>Determinação da perda de peso por cocção (PPC)</i>	36
4.9	<i>Avaliação da estabilidade oxidativa da CMS e almôndegas</i>	37
4.9.1	<i>pH</i>	37
4.9.2	<i>Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)</i>	37
4.10	<i>Caracterização das almôndegas</i>	38
4.11	<i>Análise estatística</i>	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Caracterização química-estrutural, morfológica e microbiológica do extrato de alho	40
5.1.1	<i>Análise cromatográfica Líquida de Alta Eficiência (CLAE)</i>	40
5.1.2	<i>Avaliação da atividade antimicrobiana in vitro</i>	42
5.1.3	<i>Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier – EITF</i>	45
5.1.4	<i>Análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	46
5.2	Avaliação físico-química da CMS e das almôndegas elaboradas	48
5.2.1	<i>Composição centesimal e valor calórico</i>	48
5.3	Análises microbiológicas da CMS	49
5.4	Capacidade de retenção de água (CRA) das almôndegas	51
5.5	Determinação da perda de peso por cocção (PPC) das almôndegas	53
5.6	Avaliação da estabilidade sob refrigeração das almôndegas de Carne Mecanicamente Separada de tilápia	54
5.6.1	<i>Avaliação dos valores do pH</i>	54
5.6.2	<i>Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)</i>	55
5.7	Caracterização química-estrutural e morfológica das almôndegas de carne mecanicamente separada de tilápia	56
5.7.1	<i>Análise de ésteres metílicos de ácidos graxos usando cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS)</i>	56
5.7.2	<i>Análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	59
6	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O pescado é uma fonte importante de proteínas de alto valor biológico, além de fornecer ácidos graxos ômega-3 e -6, cálcio, fósforo, ferro e vitaminas A, D e B, especialmente vitamina B12 (MAULU *et al.*, 2021). Entre as espécies de maior relevância na aquicultura, a tilápia (*Oreochromis* sp.) destaca-se pelo elevado potencial produtivo e econômico, contribuindo para o crescimento do comércio, geração de benefícios financeiros e fornecimento de proteínas e nutrientes essenciais. Em 2022, foi uma das espécies de peixes mais cultivadas no Brasil com produção superior a 550 mil toneladas. No Brasil, a tilápia do Nilo é responsável por 63,93% da produção de peixes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PISCICULTURA, 2023).

O processamento da tilápia é uma estratégia essencial de agregação de valor ao pescado, compreende etapas como sangria, evisceração, decapitação, filetagem, esfola e aparamento antes que os filés sejam comprados pelos consumidores (OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014; TOPPE *et al.*, 2018). No entanto, esse processo na indústria de filé de tilápia gera uma quantidade de subprodutos de processamento estimada em 60%–70% do peso total, incluindo cabeça, carcaça, vísceras, nadadeiras, pele e escamas (SANTOS, *et al.*, 2021; ALDA *et al.*, 2021).

O aumento da produção de pescado tem resultado em um crescimento proporcional na geração de resíduos, que tradicionalmente foram considerados de baixo valor e descartados de forma inadequada, contribuindo para impactos ambientais negativos. O descarte incorreto desses resíduos pode causar poluição ambiental, representando riscos significativos à saúde pública (VIGNESH *et al.*, 2015; SRICHAROEN *et al.*, 2020).

O uso de resíduos do processamento de pescado para obtenção de novos produtos pode ser efetivamente realizado para possibilitar um aumento de receita e contribuir para a conservação ambiental. Os subprodutos gerados pela indústria de processamento de pescado têm maior valor agregado quando destinados ao consumo humano (LEIRA *et al.*, 2019).

Nesse contexto, a carne mecanicamente separada (CMS) da tilápia, a qual é obtida a partir do processamento da filetagem e resíduos, como espinhas e resíduos, representa uma alternativa viável para o aproveitamento integral do pescado. Seu uso é aplicado na elaboração de produtos reestruturados, como hambúrgueres, nuggets, mortadelas e salsichas, tem sido amplamente relatado, com bons resultados sensoriais e tecnológicos, além de agregar valor, contribui para sustentabilidade (SIGNOR *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2015; JAYASINGHE;

SILVA; JAYASINGHE, 2013; ALDA *et al.*, 2021; JERONIMO *et al.*, 2021; BESSA *et al.*, 2016; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2012; AKULLO; KIGOZI; MUYONGA, 2020).

Produtos à base de pescado, tais como hambúrgueres, filés, entre outros desse segmento oferecem praticidade, sendo uma estratégia para ampliar consumo, além de promover hábitos alimentares saudáveis. Tais produtos atendem a demanda pela comodidade. No entanto, caracterizam-se por conter um alto nível de gorduras, aumentando a oxidação da fração poliinsaturada de lipídios, consequentemente causando uma depleção do valor nutricional (SECCI; PARISI, 2016; HUSEIN *et al.*, 2020)

A peroxidação lipídica é um fator crítico que pode comprometer a qualidade nutricional e sensorial de produtos à base de pescado, devido às particularidades da composição muscular, além da fração de lipídios, o teor de ácidos graxos (ALI *et al.*, 2019). Como alternativa viável para minimizar a rancidez de gorduras, estudos apontam a aplicação de compostos naturais, óleos essenciais (OEs) e extratos de plantas com potencial antioxidante e agentes antimicrobianos, como bioativos presentes no alho (*Allium sativum* L.). Os efeitos positivos desses compostos estão relacionados principalmente à presença de metabólitos secundários, como os ácidos fenólicos, que mostram interação com a composição lipídica e proteica de produtos de origem animal, com resultados significativos na extensão da vida de prateleira (BASAVEGOWDA; BAEK, 2021).

O uso de antioxidantes naturais, como compostos bioativos presentes no alho (*Allium sativum* L.), tem ganhado destaque como alternativa ao uso dos antioxidantes sintéticos, devido a preocupações com os riscos à saúde decorrentes do uso excessivo dos conservantes químicos. O alho é amplamente produzido e consumido em todo o mundo, sendo acessível e de boa aceitação (KALLEL; CHAABOUNI, 2017; EKŞİ; ÖZKAN; KOYUNCU, 2020). O alho apresenta ainda potenciais terapêuticos, anti-inflamatório e o potencial antimicrobiano outros (BADAL *et al.*, 2019).

Além do uso estratégico de bioativos naturais em produtos alimentícios, relata-se o potencial da quitosana em diversas aplicações industriais, como na produção de alimentos, na agricultura, indústria de cosméticos, indústrias têxteis, biomedicina, aplicações ambientais, entre outros. Por ser um biopolímero versátil com propriedades antimicrobianas, propriedade de formação de filme, a quitosana é um biopolímero utilizado na elaboração de embalagens tecnológicas para alimentos e aplicados por meio de pulverização, imersão, revestimento ou envolvimento por filmes (KUMAR; MUKHERJEE; DUTTA, 2020).

Estudos utilizaram a quitosana incorporada a nanomateriais e/ou antimicrobianos naturais com o objetivo de prolongar a vida útil e preservar a qualidade de diversos produtos

alimentícios. A adição de biopolímeros naturais também tem demonstrado potencial para aprimorar as propriedades físico-químicas e biológicas. Além disso, tem sido observado que o revestimento de quitosana reduz as perdas de peso, firmeza e aumenta a atividade antioxidante nos alimentos (XING *et al.*, 2019).

Diante do exposto, o presente estudo avaliou a influência na estabilidade e nas propriedades físico-químicas após a incorporação do extrato de alho (*Allium sativum* L) e do revestimento de quitosana comercial em almôndegas elaboradas com carne mecanicamente separada (CMS) da tilápia (*Oreochromis niloticus*) armazenadas sob refrigeração (4 °C).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da incorporação do extrato aquoso de alho (*Allium sativum* L.) e do revestimento de quitosana comercial em almôndegas refrigeradas à base de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia (*Oreochromis niloticus*) na estabilidade dos produtos.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o potencial antimicrobiano do extrato aquoso de alho (*Allium sativum* L.);
- Caracterização o extrato aquoso de alho (*Allium sativum* L.) por meio de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (EITF), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE);
- Obter a carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*);
- Determinar a composição centesimal, pH e TBARS da CMS de tilápia, bem como avaliar a sua qualidade microbiológica;
- Elaborar as diferentes formulações de almôndegas à base de CMS de tilápia, incluindo controle negativo (sem aditivos), controle positivo (com antioxidante BHT), com concentração de 1% 3% ou 6 % de extrato de alho, sendo esta última combinada ao revestimento de quitosana;
- Avaliar a estabilidade das almôndegas adicionadas de extrato de alho durante 28 dias de armazenamento 4 °C por meio das análises de pH e TBARS;
- Investigar parâmetros químicos-estruturais das diferentes formulações de almôndegas desenvolvidas por meio de MEV, bem como avaliar a capacidade de retenção de água (CRA) e perda de peso por cocção (PPC) no tempo inicial de elaboração;
- Avaliar o perfil de ácidos graxos da formulação base das almôndegas (controle negativo) no tempo inicial de preparação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Pescado e sua importância nutricional

O crescimento populacional humano, aliado a elevação da renda, ao acesso à informação e a busca por dietas saudáveis tem impulsionado a maior demanda global por alimentos nutritivos (COSTELLO *et al.*, 2020). Neste cenário, a intensificação dos efeitos da expansão da produção terrestre tem causado impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana. Assim, os peixes e outros alimentos aquáticos despontam como uma interessante alternativa de fonte proteica. O pescado, em especial, é considerado nutricionalmente diverso sendo reconhecido por apresentar um conteúdo nutricional particularmente nutritivo, contendo ácidos graxos essenciais, micronutrientes, como ferro e zinco, cálcio e vitamina A, bem como proteínas (FAO, 2020).

A tilápia (*Oreochromis niloticus*) é atualmente o peixe mais cultivado no Brasil, representando 63,93% da produção nacional de peixes de cultivo em 2022, com 550.060 toneladas. O país ocupa a quarta posição no ranking mundial. As projeções apontam para um crescimento contínuo, impulsionadas pelas demandas internas e a nível internacional, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2023).

Uma pesquisa realizada pelo instituto Axxus, publicada no Anuário Peixe Br de 2023, revelou que 93,2% do público consultado confirma comer peixe e 83% acredita ser essa a proteína animal mais saudável. No caso da tilápia, 76,9% dos participantes disseram consumir a espécie, e boa parte deles afirmaram que consumiriam mais, caso houvesse maior possibilidade no mercado. Entre os principais fatores que motivam o consumo do pescado estão o alto teor de proteínas, vitaminas e ômega 3, a fácil digestão; além da baixa quantidade de gordura, auxilia a manutenção do peso e ter poucas espinhas. Outro aspecto mencionado na pesquisa, seria o interesse do público na ampliação da oferta de produtos com mais facilidade para o consumo e com mais opções de cortes (ANUÁRIO PEIXE, 2023).

Dados do Seafood Brasil (2022) indicam que após três anos de declínio no consumo de pescado per capita, o Brasil atingiu 10,5 kg em 2021, reflexo de um aumento de 3% (75 mil toneladas a mais). Esse aumento foi impulsionado pela expansão da aquicultura, aumento das importações de diversas espécies, especialmente de panga (cerca de 28%), seguido de cação e cavalinha. Destaque para bons resultados da piscicultura, sobretudo a tilápia, que contribuiu com 48 mil toneladas a mais.

Conforme os trabalhos de Golden *et al.* (2021) e Rimm *et al.* (2018), consumir pescado pode melhorar a saúde humana uma vez que, através de uma dieta com tal proteína, é

possível reduzir deficiências de micronutrientes, obter uma fonte única de ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 de cadeia longa, ácido docosahexaenóico (DHA) e ácido eicosapentaenóico (EPA), que podem reduzir o risco de doenças cardíacas e promover a saúde do cérebro e dos olhos. Outro ponto de destaque é que consumindo pescado consequentemente ocorre substituição do consumo de carnes vermelhas e processadas menos saudáveis que podem causar resultados adversos à saúde. Portanto, diante de todo o exposto, infere-se que diversificar produtos à base de pescado resulta em maior consumo.

3.2 Processamento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A tilápia apresenta alto teor de proteína bruta, além de fornecer minerais (como cálcio, fósforo, magnésio, sódio e ferro) e ácidos graxos. É também uma excelente boa fonte de vitaminas A, C, D, E, K, B6 e B12. Ademais, as carcaças de tilápia contêm 23 ácidos graxos, incluindo os muito importantes ácidos graxos poliinsaturados n-3 (PUFAs), ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosahexaenoico (DHA) (JUSTEN *et al.*, 2017).

A tilápia (*O. niloticus*) é uma espécie de grande importância comercial devido ao seu rápido crescimento, maior resistência a doenças e alto valor nutricional (FAO, 2022). Além de atender uma forte demanda interna, a tilápia responde por 88% das exportações brasileiras de pescado, atendendo sobretudo os Estados Unidos como principal destino – respondendo por exemplo a 83% das exportações, segundo dados do setor. O segundo mercado mais expressivo é Taiwan, que compra principalmente os produtos não comestíveis: pele, escama, farinha e óleo (ANUÁRIO PEIXE, 2023).

A tilápia possui grande relevância na aquicultura global, sendo especialmente adequada para cultivo intensivo no sentido de ser uma das espécies de peixes mais frequentemente usadas para indústria de filetagem devido à ausência de espinhas na forma de um "Y" em seu filé. (VIDOTTI; BORINI, 2006). Nas indústrias de filetagem, aproximadamente 35% do material de peixe é efetivamente aproveitado (VIDAL *et al.*, 2011; LEIRA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2021).

A obtenção da carne a partir do aproveitamento dos resíduos da filetagem, é uma das técnicas mais empregadas para a utilização dos subprodutos do pescado. Esse método consiste na separação mecanizada da parte comestível do peixe, gerando partículas de músculo esquelético livres de espinhas, pele e vísceras. A CMS mantém o conteúdo nutricional do pescado de origem e apresenta fácil digestão, configurando-se como uma alternativa promissora para a produção de novos alimentos à base de pescado (GONÇALVES, 2011).

Conforme Souza *et al.* (2024), os resíduos provenientes do processamento do peixe, podem ser transformados em subprodutos de valor agregado, proporcionando benefícios nutricionais, reduzindo desperdícios e incentivando o consumo de peixe. Dessa forma, tais subprodutos podem ser incorporados como ingredientes para enriquecer alimentos industrializados e melhorar seu perfil nutricional. Esta estratégia pode contribuir para a adoção de hábitos alimentares saudáveis e para a prevenção da desnutrição crônica, sobrepeso e obesidade etc.

O desenvolvimento de produtos reestruturados com novos ingredientes alimentares representa uma estratégia para substituir o consumo de carnes tradicionais por opções mais saudáveis, melhorar a comercialização e valorizar espécies de baixo custo (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2010). A elaboração de novos produtos à base de pescado – como nuggets, hambúrguer, apressado, salsichas, almôndegas – utilizando a CMS em conjunto com ingredientes como sal, farinha, especiarias resulta em produtos com excelentes características nutricionais e sensoriais, tornando-os atraentes e saudáveis para o mercado consumidor (MINOZZO, 2010).

3.3 Produtos de valor agregados à base de pescado

Com a mudança dos hábitos e o desenvolvimento de cadeias de frio confiáveis, os produtos de pescado frescos e os pré-processados – como os filés – tem ganhado maior popularidade entre consumidores e produtores devido à sua conveniência para processamento e cozimento. A agregação de valor por meio da produção de filés de peixe tem se mostrado uma estratégia eficaz tanto para aumentar a aceitabilidade do consumidor quanto o valor comercial dos produtos, além de possibilitar um melhor aproveitamento da tilápia. Entretanto, a elaboração de filés gera uma quantidade considerável de subprodutos (cabeças, estruturas como abas da barriga, e partes das vísceras como fígado e ovas) que podem ser convertidos em novos produtos (SARKER *et al.*, 2021).

Inovações recentes têm sido direcionadas para o desenvolvimento de novos produtos que possam explorar o peixe triturado, sem alterar o valor nutricional do peixe inteiro (BORGOGNO *et al.*, 2017). Estudos demonstram que a tilápia pode ser convertida em novos produtos como farinha, a qual pode substituir de 30% a 70% de farinha em brownies para adicionar nutrientes como proteína e cálcio (LIMBE; MILE; YUSUF, 2019) além de ser empregada na preparação de rolinhos primavera, que apresentaram alta aceitabilidade dos consumidores (OKEREKE, 2011).

A carne moída de tilápia, pode ser usada diretamente como matéria prima na produção de hambúrgueres (SIGNOR *et al.*, 2019), *nuggets* (LIMA *et al.*, 2015; JAYASINGHE; SILVA; JAYASINGHE, 2013), mortadela (ALDA *et al.*, 2021; JERONIMO *et al.*, 2021) e salsichas (BESSA *et al.*, 2016; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2012; AKULLO; KIGOZI; MUYONGA, 2020). Além disso, a CMS ou o peixe picado, obtido a partir das espinhas de tilápia, ofereceram boa qualidade e características organolépticas e, portanto, têm grande potencial para desenvolver produtos de valor agregado. Da perspectiva microbiológica, a carne moída congelada foi determinada como segura e tinha uma qualidade físico-química e sensorial estável por até 6 meses de armazenamento (LIZÁRRAGA-MATA *et al.*, 2016).

Um aspecto fundamental dos produtos à base de pescado é a sua alta perecibilidade decorrente composição química do peixe, incluindo pH neutro e tecidos conjuntivos. Por esse motivo, é fundamental que o armazenamento, transporte e o processamento sejam feitos de maneira adequada visando manter a durabilidade e reter seu valor nutricional. Ademais, o processamento de peixes e o desenvolvimento de novos produtos de pescado são estratégias essenciais de atingir a manutenção da qualidade nutricional, além de aumentar a vida útil bem como agregar valor (SARKER *et al.*, 2021; AHERN; THILSTED; OENEMA, 2021).

Conforme Lago *et al.* (2019), a segurança alimentar é uma preocupação central tanto para os consumidores quanto para a indústria alimentícia, dada a influência direta dos alimentos na saúde humana e na qualidade de vida. Para enfrentar a perecibilidade inerente ao pescado, tem sido adotadas medidas como aplicação das boas práticas de manipulação, adição de antioxidantes, a redução da temperatura e o uso de atmosfera modificada ou embalagem a vácuo são procedimentos que têm sido adotados para conter a velocidade dessas mudanças e prolongar a vida comercial dos produtos (PARRA *et al.*, 2012; ROGERS *et al.*, 2014)

3.4 Deterioração do pescado

As características intrínsecas no pescado podem acelerar os processos de autólise durante ou após a despesca, como a oxidação lipídica, o qual favorece o crescimento microbiano e outros mecanismos de deterioração (JAVADIAN; SHAHOSSEINI; ARIAI, 2017; SHENG; WANG, 2020; NIE *et al.*, 2022).

Durante o processamento e armazenamento do pescado, a oxidação lipídica constitui uma grande preocupação, pois deteriora a qualidade da carne do peixe. Esse processo é influenciado por diferentes fatores, como o perfil de ácidos graxos, oxigênio, luz, temperatura e atividade da água (FREEMAN; HEARNSBERGER, 1993). Além das perdas de propriedades

funcionais, valor nutritivo e de colocar em risco a segurança do alimento, outro aspecto preocupante é a formação de produtos tóxicos no decorrer do fenômeno da oxidação lipídica (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Mesmo com o controle adequado de temperatura no armazenamento, a oxidação lipídica permanece como o primeiro processo natural a diminuir a qualidade da carne do pescado (AHMED *et al.*, 2015). Comparado aos mamíferos, o pescado apresenta um conteúdo lipídico distinto, caracterizado principalmente pela presença de ácidos graxos de cadeia longa insaturada. Além disso, o pescado possui outros ácidos graxos poliinsaturados essenciais para a dieta do ser humano, como o ácido graxo eicosapentaenoico e o ácido graxo docosahexaenoico. Portanto, a presença desses compostos contribui para a alta susceptibilidade da carne do pescado (SECCI; PARISI, 2016).

Durante o armazenamento, as proteínas também podem ser oxidadas, devido à sua natureza química, uma vez que os seus resíduos de aminoácidos com os grupos de enxofre apresentam alta suscetibilidade às reações (FAN *et al.*, 2014). Um dos principais produtos da oxidação lipídica é o malondialdeído (MDA), um aldeído eletrófilo reativo que promove a oxidação de proteínas gerando espécies reativas de oxigênio (ERO) em um sistema alimentar (WANG *et al.*, 2019a). Consequentemente, a oxidação acelerada de proteínas pode levar à ruptura e agregação de estruturas secundárias e terciárias, afetando, portanto, as propriedades físico-químicas das proteínas e assim a qualidade da carne (FAN *et al.*, 2014).

Diversos estudos demonstram estratégias eficientes para mitigar o rápido processo intrínseco da oxidação lipídica e consequente deterioração de pescado. Por exemplo, a utilização da CMS de pescado, na elaboração de produtos processados, como hambúrgueres, “nuggets” e “fishburgers” com a incorporação de bioativos, o que tem se mostrado eficaz na redução da deterioração desses produtos. Tokur *et al.* (2004) observaram que “fishburgers” de tilápia armazenados a -18°C por oito meses mantiveram estabilidade química e sensorial, apesar de pequenas variações nos teores de oxidação lipídica. De forma similar, Tang *et al.* (2001) verificaram a incorporação catequinas do chá verde e observaram que estes compostos antioxidantes reduziram consideravelmente a oxidação lipídica em patês de pescado durante o armazenamento refrigerado. Esses achados evidenciam o potencial dos antioxidantes naturais para aumentar a vida útil e preservar a qualidade de produtos à base de CMS de pescado.

A literatura destaca que diversas fontes naturais de compostos antioxidantes como compostos fenólicos, carotenoides, vitaminas e outros, são agentes promissores para limitar a oxidação lipídica em produtos alimentícios (BARREIRA *et al.*, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Portanto, esses achados ressaltam a importância do controle das reações oxidativas,

especialmente em produtos de pescado, já que apresentam alta susceptibilidade à oxidação lipídica e possuem uma demanda considerável por parte do consumidor. Dessa forma, a aplicação de bioativos revela-se como uma estratégia essencial para desacelerar esse processo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021; BARREIRA *et al.*, 2023).

3.5 Alho (*Allium sativum* L.): um antioxidante natural

Os antioxidantes são compostos essenciais em alimentos, usados para retardar os processos oxidativos, neutralizar radicais livres e melhorar estabilidade de produtos alimentícios. Esses compostos podem atuar de diferentes maneiras, como doadores de elétrons, sequestrando o oxigênio, alterando o potencial redox do sistema, e assim reduzindo as oxidações indesejáveis dos produtos (APAK *et al.*, 2016). Os antioxidantes podem ser de origem natural (BOEIRA *et al.*, 2020) ou sintética (SERRA; MACIA; ESTÉVEZ, 2016).

Embora a indústria pesqueira utilize conservantes químicos ou artificiais para controlar os mecanismos de deterioração pós-despesca, vários estudos levantaram questões relevantes sobre os riscos do uso excessivo de produtos químicos sintéticos à saúde humana. Os antioxidantes sintéticos podem inibir a oxidação dos alimentos, melhorar a estabilidade dos alimentos, ampliar a vida de prateleira entre outras funções, no entanto sua adição excessiva ou uso incorreto pode ser prejudicial à saúde humana, e uma mistura de antioxidantes pode aumentar seus efeitos tóxicos (WANG *et al.*, 2019b; LIU; MABURY, 2020; XU *et al.*, 2021).

São comumente usados como antioxidantes sintéticos em alimentos o butil-hidroxianisol (BHA), butil-hidroxitolueno (BHT), butil-hidroquinona terciária (TBHQ) e propil galato (PG), portanto, cada vez mais faz-se necessário dar atenção ao seu uso (XU *et al.*, 2021). Conforme o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o limite máximo permitido de antioxidantes sintéticos (BHT, BHA e PG) em produtos cárneos é de 0,01% (BRASIL, 2006).

Em contrapartida, o uso de antioxidantes naturais tem sido cada vez mais considerado como uma alternativa ao uso dos sintéticos. A literatura mostra que a aplicação de antioxidantes em produtos cárneos tem sido amplamente estudada tanto na forma sintética como natural.

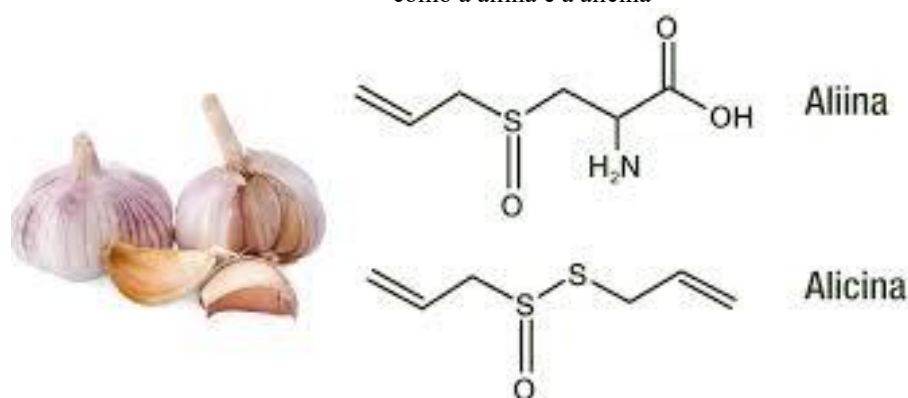
De acordo com Lee *et al.* (2020), que realizaram uma revisão sobre o uso de antioxidantes naturais em produtos cárneos, a quantidade de materiais antioxidantes pode variar de 7,8 ppm a 19,8% a depender da forma e concentração aplicada. Os extratos líquidos e compostos fenólicos são usados em pequenas quantidades (ppm a gramas) enquanto

ingredientes em pó ou crus podem ser adicionados em grandes quantidades (quantidades em gramas, maiores que 1% nas formulações). Os principais ingredientes usados em produtos cárneos processados são os aditivos sintéticos tradicionais, como eritorbato de sódio, hidrossulfito de sódio e antioxidantes sintéticos, em vez de antioxidantes naturais.

Dentro desse contexto, o alho (*A. sativum* L.) tem se destacado como uma opção promissora. Essa planta herbácea pertencente à família *Liliaceae*, originária da Ásia. Seu bulbo central, é conhecido popularmente como “cabeça de alho”, sendo formado por vários bulbilhos, chamados de “dentes”. Embora não seja nativo do Brasil, o alho é amplamente produzido e consumido em todo o mundo (KALLEL; CHAABOUNI, 2017; EKŞİ; ÖZKAN; KOYUNCU, 2020).

Segundo estudos de Lawson, Wang e Hughes (1991) a alicina é o composto mais amplamente estudado e conhecido quando se trata de pesquisas sobre o alho. A alicina é produzida quando os bulbilhos de alho são esmagados, picados, processados, adicionados de água ou até mesmo quando o alho é seco tornando-se pó. Além disso, alicina pode se decompor em diversos compostos, incluindo S-alilmercaptocisteína, alilmercaptano, dissulfeto de dialila, dissulfeto de alilmetila, vinilditiínas, ajoeno e possivelmente ácido alilsulfínico e alilsulfônico.

Figura 1 – Os bulbos do alho (*A. sativum*) e a representação da estrutura química de seus compostos sulfurados como a aliina e a alicina



Fonte: Adaptado de www.shutterstock.com, 2025.

O alho é amplamente usado na culinária sob forma de condimento, realçando sabor dos alimentos durante o cozimento. Além da vantagem de adicionar tempero aos alimentos, o alho apresenta ainda potenciais terapêuticos, os quais podemos citar: uso em tratamento de distúrbios pulmonares, tosse, distúrbios estomacais, resfriado, dor de ouvido e auxilia na prevenção de doenças cardiovasculares, entre outros (BADAL *et al.*, 2019). Pesquisas relatam o potencial antimicrobiano presente no óleo de alho, no qual foi observada atividade antibacteriana contra:

Listeria monocytogenes, *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* (FRATIANNI *et al.*, 2016).

No que se diz respeito aos métodos de extração de compostos bioativos, os extratos vegetais são preparações concentradas, obtidas de matéria prima fresca ou seca, utilizando solventes para separar compostos solúveis. Tal processo constitui-se basicamente das etapas de preparação da amostra: lavagem, secagem e moagem. Em seguida, na etapa de extração ocorre a separação dos compostos solúveis utilizando os solventes (SASIDHARAN *et al.*, 2011; AZWANIDA, 2015).

Com relação à escolha do solvente para extração dos compostos bioativos, este é selecionado de acordo com a polaridade da amostra. Neste caso, os solventes mais utilizados são água, álcool, metanol, glicerina, propilenoglicol ou misturas desses (ALTEMIMI *et al.*, 2017).

3.6 Aplicação de quitosana em revestimentos alimentícios

O filme comestível é uma camada fina, composta de ingredientes comestíveis, capaz de proteger contra mudanças físicas em produtos alimentícios. Além disso, apresenta muitas vantagens como redução do desperdício, melhoria das propriedades organolépticas e mecânicas em alimentos, incremento do valor nutricional e a atuação como um veículo para compostos antimicrobianos e antioxidantes. Ademais, pode ser usado como uma embalagem primária de alimentos (MANAB *et al.*; 2017). Outro tipo de camada fina que pode ser aplicada são os revestimentos.

O Revestimento comestível é uma película fina aplicada na superfície do alimento por meio de técnicas de imersão e /ou pulverização capaz de proteger ou agregar valor. Além disso, desempenha funções como regular a transferência de umidade, gases e gorduras, contribuindo para preservação do produto (CAMPOS; GERSCHENSON; FLORES, 2011).

Revestimentos comestíveis incorporados a agente antimicrobianos desempenham papel crucial na proteção dos alimentos contra deterioração microbiológica, prolongando sua vida útil. Conforme Reynaldi *et al.* (2019), essa tecnologia é especialmente benéfica para almôndegas, pois esses produtos podem rapidamente deteriorar-se em temperatura de refrigeração, condição comum em supermercados e comércios. Os autores ainda mencionam que revestimentos comestíveis com extrato de alho, um conservante natural, podem substituir conservantes artificiais prejudiciais, como benzoato, bórax e formaldeído. O alho tem

propriedades antimicrobianas, tornando-o uma opção segura e natural para conservar almôndegas de peixe.

A adição de hidrocolóides polissacarídeos como carragenana (SETYAJI *et al.*, 2018; PUTRI; MAY; HUSEIN, 2020), quitosana (ATMAKA; YUDHISTIRA; PUTRO, 2018), alginato bem como a reticulação química pode melhorar a espessura, resistência à tração, alongamento, solubilidade e taxa de transferência de vapor de água de filmes comestíveis (SANTOS *et al.*, 2018; DEANTI *et al.*, 2018). A quitosana é um copolímero de 2-acetamido-2-desoxi- d- glucopiranosose ligada a β -(1 $\rightarrow$ 4) e 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranosose, derivada da desacetilação da quitina, que é o segundo biopolímero mais abundante na Terra, sendo encontrado em conchas de crustáceos, como camarões e caranguejos (MUZZARELLI, 1973; WU *et al.*, 2012).

A quitosana destaca-se como um material promissor para o desenvolvimento de revestimentos e filmes comestíveis em nível industrial devido às suas características biodegradáveis, biofuncionais, biocompatíveis, não tóxicas, formadoras de filme e antimicrobianas (LIU *et al.*, 2016). Os revestimentos à base de quitosana auxiliam na regulação das trocas gasosas e na redução na taxa respiratória dos alimentos. Além disso, sua aplicação contribui para retardar o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, minimizando o processo oxidativo devido à redução da taxa de respiração. Outra vantagem é a capacidade desses revestimentos de quitosana retardarem o aumento de compostos tóxicos, como o malondialdeído (MDA) (XING *et al.*, 2010).

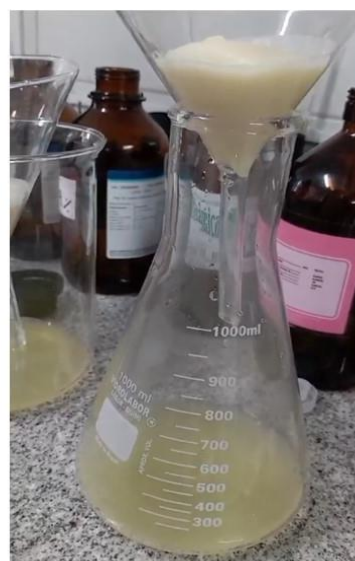
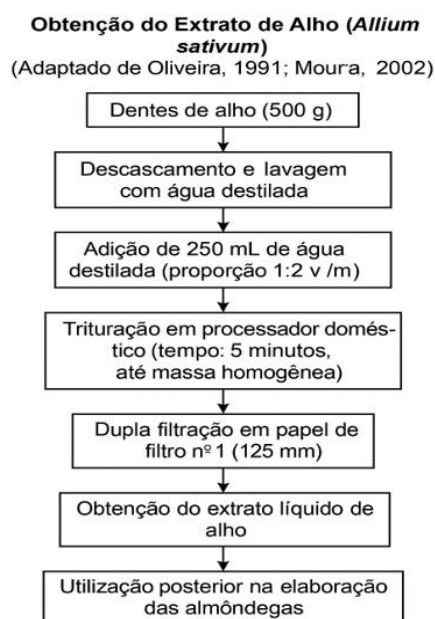
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção do extrato de alho

A obtenção do extrato de alho (*A. sativum*), foi conforme recomendações de Oliveira (1991) e Moura (2002) com modificações. Utilizou-se 500g de bulbilhos (dentes) de alho, previamente descascados e lavados com água destilada, aos quais foram adicionados 250 mL de água destilada (razão de 1:2 v/m) e a mistura foi triturada, uma única vez, em processador doméstico por 5 minutos, até obter uma massa homogênea.

Após obtenção da mistura homogênea, esta foi submetida por dupla filtração em papel de filtro n° 1 (125 mm). O extrato líquido do alho obtido foi armazenado sob condições de congelamento (-14 °C a -25 °C) até o momento da elaboração das almôndegas.

Figura 2 – Etapas para obtenção do extrato de alho



Fonte: Autora (2025).

4.2 Caracterização do extrato de alho

4.2.1 Análise cromatográfica Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

As análises cromatográficas foram realizadas através de um sistema de cromatografia líquida equipado com um detector arranjo de diodos (HPLC-DAD, Shimadzu 20A) e uma coluna Rigol com fase estacionária C18 (250 mm x 4,6 mm di, partícula 5,0 µm). O forno foi mantido a 40 °C. A fase móvel utilizada foi água (A) e acetonitrila (B) com eluição

no modo gradiente, fluxo de 1 mL min⁻¹: 0.00-10.00 min (40% B); 10.01-12.00 min (40-90% B); 12.01-25.00 min (90-40% B); 25.01-30.00 min (40% B). O volume de injeção foi de 20 µL.

4.2.2 Avaliação da atividade antimicrobiana

Seguindo a metodologia de BrCAST/EUCAST (2021), foram utilizadas as cepas comerciais de bactérias patogênicas Gram-negativas, *Salmonella Enteritidis* IAL 1132 e *Escherichia coli* ATCC 11775, e Gram-positivas: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 e *Listeria monocytogenes* ATCC 19115.

4.2.3 Preparação do inóculo

Colônias isoladas de aproximadamente 1 mm de diâmetro foram selecionadas e transferidas para tubos contendo 5 mL de Caldo Triptona de Soja - TSB. As culturas foram incubadas a 37 ± 2°C durante 24 horas. Após o período de incubação necessário para a obtenção de uma concentração bacteriana final de aproximadamente 10⁸ UFC/mL.

4.2.4 Teste de difusão em Ágar

A susceptibilidade bacteriana foi avaliada pelo método de difusão em ágar utilizando semeadura em superfície das suspensões bacterianas conforme BrCAST/EUCAST (2021), em que placas de Petri com ágar Mueller Hinton foram inoculadas com 10⁸ UFC/mL de microrganismos. Em seguida, foram feitos poços de aproximadamente 6 mm de diâmetro e 4 mm de profundidade, aos quais foram adicionados o volume de 50 µL/poço de extrato de alho nas concentrações de 100 %, 50 % e 25 %. Os antibióticos amicacina e gentamicina foram utilizados como controle positivo. As placas foram incubadas a 37 ± 2°C / 48h. O ensaio foi realizado em duplicata e a atividade antibacteriana quantificada a partir da média obtida pela medição dos halos de inibição em milímetros.

4.2.5 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier –EITF

A análise de EITF foi realizada em amostras do extrato de alho concentrado. A amostra líquida foi concentrada, utilizando uma lâmina de vidro como suporte para evaporação do líquido em sala com temperatura controlada (22,0 °C), após evaporação do solvente (água)

a amostra. A amostra concentrada foi macerada e homogeneizada com cristais de KBr, após esse processo foi confeccionada pastilha e feita a leitura no equipamento, na faixa de 4000-400 cm^{-1} . concentrada foi analisada utilizando o acessório de ATR, na faixa de 4000-560 cm^{-1} .

4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise de MEV do extrato de alho e das formulações das almondegas produzidas foi conduzida, com modificações, de acordo com o método de Zhu, Lanier e Farkas (2015). Pequenos cortes das almôndegas foram seccionados nas seguintes medidas 0,2 x 0,2 x 0,5 cm. Em seguida, foram adicionados em solução contendo glutaraldeído a 2,5% (v/v), formaldeído a 4,0% e tampão fosfato a 0,2 M (pH 7,2) durante 24 horas a 4 °C. Após esse período as amostras passaram por três lavagens com a mesma solução de tampão por 40 minutos. Posteriormente foram desidratadas em concentrações crescentes de acetona (de 40 a 100%) com duração de 40 minutos em cada etapa. Ao final do processo, as amostras foram levadas a um secador de ponto crítico (SEM 850) com CO_2 líquido, montadas em suportes metálicos (*stubs*) e revestidas com ouro por pulverização (Quorum QT150ES). Posteriormente, foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV QUANTA FEG), com ampliação de 1000X e 3000X, para observar suas microestruturas.

4.3 Obtenção da Carne Mecanicamente Separada (CMS)

As amostras de peixes foram coletadas numa feira livre em Fortaleza-CE. Os peixes foram registrados no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (código SISGEN ADA3181). Em seguida, foi realizada a biometria, pesagem e medição de comprimento de cada amostra. Um total de 40 unidades de peixes foram coletadas, com média de peso de 849g e comprimento de 33 cm. As amostras foram acondicionadas em caixas de poliestireno com gelo, devidamente higienizados, numa proporção 2:1 (gelo/pescado) e transportadas para o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em Pentecoste-CE.

Antes da obtenção da CMS, as amostras foram lavadas para remoção de sujeiras e muco, e submetidas a procedimentos de retirada de escamas e evisceração. Em seguida, foram lavadas novamente para retirada de resíduos e sangue. Por fim, as amostras passaram pelo processo de filetagem, que consiste em um corte feito atrás da cabeça, ou na base das nadadeiras peitorais, separando a carne da espinha central. Utilizou-se a máquina despulpadora (Marca:

High Tech, modelo HT 250) para a recuperação da carne. A CMS obtida foi embalada em porções de aproximadamente 1kg, em sacos de polietileno, vedadas e congeladas a -22°C. O transporte da CMS ocorreu em caixas isotérmicas até o Laboratório de processamento de carnes e pescados, localizado no Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) – UFC.

4.4 Avaliação físico-química da CMS e das almôndegas elaboradas

Para a avaliação físico-química da CMS e das almôndegas a base de CMS de tilápia foi determinada a composição centesimal, valor calórico, a capacidade de retenção de água, a perda do peso por cocção e a redução de tamanho no tempo inicial do armazenamento.

4.4.1 Composição centesimal e valor calórico

As determinações de umidade (%), proteína (%), lipídios (%) e cinzas (%) da matéria prima e das demais formulações foram feitas conforme AOAC (2011) e a % de carboidratos foi estimada pela diferença entre 100% e a soma das porcentagens dos demais componentes. As análises foram realizadas em triplicata. O valor calórico foi obtido a partir dos teores de carboidratos, proteínas e lipídios presentes na CMS, que foram encontrados na análise de composição centesimal, sabendo quanto o consumo de cada um destes fornecerá para o corpo.

De acordo com os fatores de Atwater (1910), carboidratos fornecem 4 kcal/g, proteínas fornecem 4 kcal/g e gorduras fornecem 9 kcal/g. Assim, o valor calórico poderá ser calculado por meio da equação 1.

Equação 1 – Valor calórico

$$\text{Valor calórico} = \left(\frac{g}{100g} \text{ de proteínas} \times 4 \right) + \left(\frac{g}{100g} \text{ de carboidratos} \times 4 \right) + \left(\frac{g}{100g} \text{ de lipídios} \times 9 \right)$$

4.5 Análises microbiológicas da CMS “in natura”

Foram realizadas análises microbiológicas após obtenção da CMS, antes de sua utilização para elaborar as formulações de almondegas. As análises microbiológicas foram escolhidas conforme legislação atual prevista pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para produtos derivados do pescado (surimi e similares) e produtos à base de pescado refrigerados ou congelados, Resolução RDC nº 724/2022 e IN nº 161/2022 da

ANVISA (BRASIL, 2022a), contagem de *Staphylococcus aureus* coagulase positiva, presença de *Salmonella* spp e coliformes a 45°C (BRASIL, 2022a). Além destas análises foi realizada a contagem total de bactérias aeróbias mesófilas.

4.5.1 Detecção de *Salmonella*

Para detecção da *Salmonella*, as amostras (25g) foram transferidas para frascos contendo 225mL de caldo lactosado, homogeneizadas e incubadas a 35°C por 24 horas. Em seguida, alíquotas 0,1mL e 1mL, foram transferidas, respectivamente, para caldos de enriquecimento Rappaport-Vassiliadis e Tetrationato, sendo incubadas a 41 °C durante 24 horas. Posteriormente, as colônias foram semeadas em placas de Petri com ágar Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD) e ágar Hektoen Enteric Agar (HE) com posterior incubação a 35°C/24 horas. As placas foram avaliadas quanto à presença ou ausência de colônias típicas (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2022).

4.5.2 Bactérias aeróbias mesófilas

Com relação à contagem de bactérias aeróbias mesófilas, o cultivo foi realizado pelo método de plaqueamento em superfície (spread plate), utilizando ágar padrão para contagem de placas (PCA). Após incubação a 35°C por 48 horas, as colônias foram quantificadas e os resultados expressos em Unidades Formadoras de Colônias por grama (UFC/g), conforme APHA (2015).

4.5.3 Determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Termotolerantes (CT)

A contagem de CT foi realizada a técnica dos tubos múltiplos (FENG *et al.*, 2002). Para a prova confirmatória, foram retirados os inóculos dos tubos de LST com resultado positivo no teste presuntivo, em seguida foram semeados em caldo *E. coli* com incubação de 44 a 45°C durante 48 horas. Para determinar a positividade do teste foi observada a produção de gás no interior dos tubos de Durham. O resultado do NMP foi obtido de acordo com a tabela de Garthright (2001), sendo considerados os tubos positivos na prova confirmatória.

4.5.4 Contagem de *Staphylococcus aureus* coagulase positiva

Para a análise de *S. aureus*, utilizou-se a metodologia da ISSO 6888-1 (1999). A amostra foi inicialmente homogeneizada em solução de peptona, seguida da preparação de diluições seriadas decimais. Em seguida, as diluições foram inoculadas em placas de Ágar Baird-Parker e incubadas a 35°C por 24 a 48 horas. Após a incubação, as colônias características de *Staphylococcus aureus* foram observadas. Elas apresentam coloração negra ou cinza-escura com um halo claro ao redor, devido à ação da lipase na gema de ovo. Colônias típicas foram selecionadas para confirmação, realizada através do teste de coagulase, onde a colônia suspeita foi inoculada em plasma de coelho e incubada a 37°C por até 24 horas, sendo a formação de um coágulo indicativa de resultado positivo. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônia por grama (UFC/g).

4.6 Elaboração das almôndegas

Para a elaboração das almôndegas de CMS de tilápia foi seguida a metodologia de Castro (2019) com modificações. Inicialmente os ingredientes foram incorporados à pasta base e homogeneizadas em bandejas sanitizadas. Para as diferentes formulações contendo extrato de alho, a massa foi dividida em partes iguais, seguidas da adição das diferentes concentrações de extrato de alho (1%, 3% ou 6%). Em seguida, realizou-se a modelagem das almôndegas com peso médio de 50g por unidade.

Foram produzidas cinco formulações de almôndegas: controle negativo (sem aditivos), controle positivo (com antioxidante sintético BHT), formulações com adição de extrato de alho em concentrações 1%, 3% e 6%. Na formulação com 6% foi incorporado o revestimento de quitosana. A quantidade do antioxidante BHT adicionado ao produto em questão foi determinada conforme a legislação brasileira para antioxidantes sintéticos (BRASIL, 2006). O produto final elaborado foi acondicionado em bandejas de isopor, cobertas com PVC transparente, em cinco lotes (controle positivo, negativo, formulações de 1%, 3% e 6%) identificados e armazenado a 4°C.

Tabela 1 – Formulação das almôndegas com e sem antioxidante

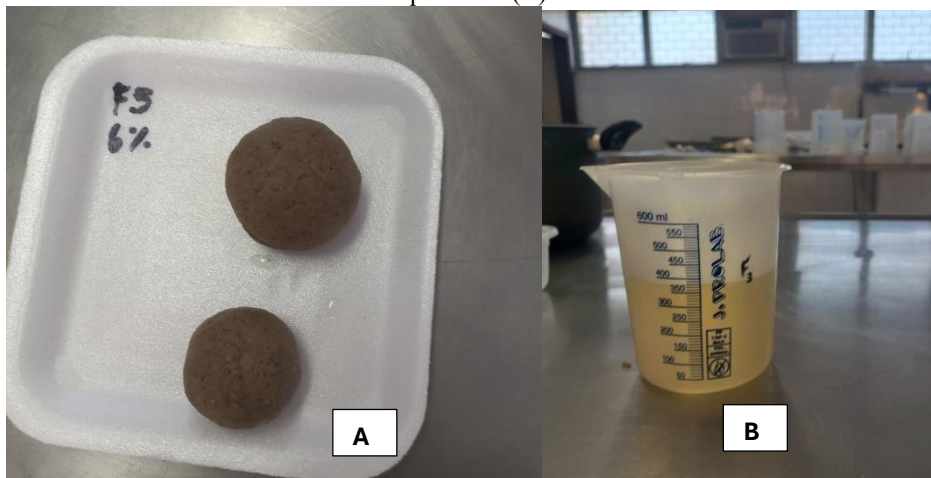
INGREDIENTES	F1(C-)	F2(C +)	F3 (1%)	F4(3%)	F5 (6%)
CMS	80% 400g	80,1%400,5g	79,1% 395,5g	77,1% 385,5g	74,1% 370,5g
Soja	6,6% 33g	6,6% 33g	6,6% 33g	6,6% 33g	6,6% 33g
Água	5% 25 mL	5% 25 mL	5% 25mL	5% 25mL	5% 25mL
Sal	2% 10g	2% 10g	2% 10g	2% 10g	2% 10g
Cebola	5% 25g	5% 25g	5% 25g	5% 25g	5% 25g
Pimenta	1% 10g	1% 10g	1% 10g	1% 10g	1% 10g
Glutamato	0,3% 3g	0,3% 3g	0,3% 3g	0,3% 3g	0,3% 3g
Antioxidante	0,01% 1g	0%	0%	0%	0%
Extrato de alho	% -	% -	1% 5mL	3%15mL	6% 30mL
Peso unidade	50g	50g	50g	50g	50g

Formulação das almôndegas com e sem revestimento. F1(C-) = Controle negativo (sem BHT antioxidante sintético); F2 (C+) = controle positivo (com BHT antioxidante sintético); F3= Adição de extrato de alho na concentração de 1%; F4 =Adição extrato de alho na concentração de 3%; F5 =Adição extrato de alho na concentração de 6% e com revestimento.

4.7 Preparação do revestimento de quitosana

Para a elaboração dos revestimentos, foram seguidas as orientações, com modificações, proposta por Silva (2019). A quitosana utilizada foi a comercial. Foi preparada uma solução contendo 3% de quitosana e 0,6% de glicerol, dissolvidos em ácido acético a 2% (p/v) e o extrato de alho (6%). A solução foi homogeneizada à temperatura ambiente usando agitadores magnéticos por 24 horas. Decorrido o tempo de agitação, as almôndegas foram imersas nos tratamentos citados por 30 segundos, drenadas por 30 segundos, logo em seguida acondicionadas em bandejas de poliestireno, recobertas com filme de PVC e armazenadas a 4 °C. Todo o procedimento foi realizado de forma higiênica para que a qualidade da carne não fosse comprometida, seguindo as normas de Boas Práticas de Fabricação (BPF) observadas na resolução RDC nº 724/ 2022 da ANVISA (Brasil, 2022b).

Figura 3 – Almôndegas de CMS de tilápia com revestimento de quitosana (A); e solução do revestimento de quitosana (B)



Fonte: Autora (2025).

4.8 Avaliação físico-química da CMS “in natura” de tilápia e das almôndegas

4.8.1 Capacidade de retenção de água (CRA)

A CRA das almôndegas (em todos os tratamentos, no tempo zero) foi medida orientada pelo método de Pardi *et al.* (1993) com adaptações. Foram pesados 5g de amostra, trituradas e mantidas sob refrigeração em tubos de vidro em triplicata. Em seguida, adiciona-se 8 mL de solução de cloreto de sódio (Na Cl) à 0,6M em cada tubo. As amostras foram homogeneizadas manualmente com bastão de vidro por 1 minuto, mantidas em repouso por 30 minutos em banho de gelo e agitadas novamente por mais 1 minuto. Após essa etapa as amostras foram centrifugadas em centrífuga com cabeçote JA-17, a $13.800 \times g$ (equivalente a 10.000 rpm), por 15 minutos, a 4 °C. O sobrenadante foi transferido para provetas graduadas de 10mL e o volume foi registrado. A CRA foi calculada pela diferença entre o volume e a solução salina inicialmente adicionada e o volume recuperado no sobrenadante, sendo os resultados expressos em mL de solução absorvida em 100g de amostra.

4.8.2 Determinação da perda de peso por cocção (PPC)

A determinação da PPC e da redução do tamanho das almôndegas (todos os tratamentos) foram realizadas de acordo com Liu *et al.* (2004). Inicialmente, as amostras das almôndegas, foram cortadas em segmentos retangulares, pesadas em uma balança analítica que foram adicionadas a sacos plásticos devidamente etiquetados e levadas à cocção em banho-maria à $85 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 25 minutos. Após essa etapa de cocção, as amostras foram resfriadas

em água corrente, o excesso de água foi removido utilizando-se papel-toalha e em seguida, sua massa e diâmetro foram novamente determinados. A perda de peso por cocção e a redução do tamanho (área) foram expressas em redução percentual, calculadas por meio das Equações 2 e 3, respectivamente.

Equação 2 – Perda de peso por cocção (PPC)

$$PPC = \frac{(m_{inicial} - m_{final})}{m_{inicial}} \times 100$$

Equação 3 – Redução do tamanho

$$RT = \frac{(D_{inicial}^2 - D_{final}^2)}{D_{inicial}^2} \times 100$$

4.9 Avaliação da estabilidade oxidativa da CMS e almôndegas

Para a avaliação da estabilidade oxidativa, foram analisadas as amostras de CMS e os tratamentos (controle positivo, formulação com 3% e 6%) de almôndegas, que foram avaliados semanalmente até 28 dias, através dos parâmetros físico-químicos, como descrito abaixo:

4.9.1 pH

A mensuração do pH foi realizada através do potenciômetro digital (PG3000), sendo utilizada 10 g de amostra em 100 mL de água destilada, conforme Pregolato e Pregolato (1985).

4.9.2 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

A metodologia utilizada foi descrita por Raharjo; Sofos; Schmidt (1992), modificada por Facco (2002). Em um tubo, foram pesadas em balança analítica (*Ohaus Analytical Standard model AS200*) $10,0 \pm 0,1$ gramas de amostra triturada em multiprocessador (Hamilton Beach, modelo 70595). Em seguida, foi adicionado 1 mL da solução de BHT 0,15% e 40 mL da solução de TCA 5% que foram homogeneizados em um triturador do tipo Marconi

(Modelo TE102, Piracicaba – SP). O homogeneizado resultante foi centrifugado por 10 minutos a $10.000 \times g$ a 4°C , utilizando a centrífuga Beckman J2-21. O sobrenadante foi filtrado, transferido para um balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com solução de TCA 5%. Em seguida, retiram-se 2 mL de cada balão (em triplicata) que foram transferidos para tubos de ensaio com tampa. Após a adição de 2 mL da solução de TBA 0,08 M os tubos foram vedados, agitados e aquecidos em banho-maria fervente por 50 minutos. A absorbância foi lida em espectrofotômetro a 531 nm.

Para esta determinação foi construída uma curva padrão de calibração para o cálculo dos níveis de TBARS nas amostras. Os resultados foram expressos em mg de malonaldeído (MDA)/Kg⁻¹.

4.10 Caracterização das almôndegas

4.10.1 Análise de ésteres metílicos de ácidos graxos usando GC-MS

Para esta análise foram utilizadas amostras do tratamento controle negativo, sem aditivos. Os ácidos graxos foram convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos de acordo com o método AFNOR (1984) conforme adaptado por Valasi, Kokotou e Pappas (2021) da seguinte forma: em um balão volumétrico de 10 mL, 1,12 g de KOH foram adicionados e diluídos para o volume com MeOH e agitados até a homogeneização completa da solução de KOH/MeOH (2,00 M). 100 µL da amostra a ser analisada, 200 µL da solução de KOH/MeOH e 1 mL de hexano foram adicionados em um frasco com tampa selada, agitados em vórtice e mantidos até a separação das fases polares e apolares.

Em um frasco com tampa selada, 200 µL da camada superior foram cuidadosamente coletados com uma pipeta e 775 µL de hexano foram adicionados. Uma quantidade de MgSO₄ foi adicionada ao frasco para absorver qualquer traço de umidade e a mistura foi filtrada através de um filtro não polar de 0,20 µm (Xtra PTFE 20/13 Chromafil). Decanoato de metila foi usado como um padrão interno para fins de quantificação.

Em relação à análise GC–MS, realizou-se por meio de um sistema Thermo Scientific (Trace GC ULTRA) equipado com um detector de massa (DSQ II) e uma coluna capilar de baixa polaridade trace GOLD TG-5MS (30 m, 0,25 mm ID, espessura de filme de 0,25 µm) com uma fase estacionária feita de 5% difenil/95% dimetil polissiloxano foi usado com hélio como gás de arraste com uma vazão de 1 mL/min sob pressão constante. A análise foi conduzida no modo dividido (1:50) com um volume de injeção de 1 µL.

A análise qualitativa foi obtida por meio da comparação (tempo de retenção e fragmentos de íons) dos dados do espectro de massa de cada ácido graxo na amostra com os espectros de massa obtidos das Bibliotecas GC–MS: Software de busca da biblioteca XCalibur e Biblioteca de Espectro de Massa do NIST. A quantificação dos ácidos graxos foi realizada usando decanoato de metila como padrão interno em triplicado e a média e o desvio padrão foram medidos (VALASI; KOKOTOU; PAPPAS, 2021).

4.10.2 Análise de *microscopia* eletrônica de varredura (MEV)

A análise de MEV de todos os grupos de tratamentos das formulações produzidas foi conduzida, com modificações, de acordo com o método de Zhu, Lanier e Farkas (2015). Pequenos cortes das almôndegas foram seccionados nas seguintes medidas (0,2 x 0,2 x 0,5 cm). Em seguida, foram adicionados em solução contendo glutaraldeído a 2,5% (v/v), formaldeído a 4,0% e tampão fosfato a 0,2 M (pH 7,2) durante 24 horas a 4 °C. Após esse período as amostras passaram por três lavagens com a mesma solução de tampão por 40 minutos. Posteriormente foram desidratadas em concentrações crescentes de acetona (de 40 a 100%) com duração de 40 minutos em cada etapa. Ao final do processo, as amostras foram levadas a um secador de ponto crítico (SEM 850) com CO₂ líquido, montadas em suportes metálicos (*stubs*) e revestidas com ouro por pulverização (Quorum QT150ES). Posteriormente, foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV QUANTA FEG), com ampliação de 1000X e 3000X, para observar suas microestruturas.

4.11 Análise estatística

Para análise estatística dos resultados referentes aos dados da atividade antimicrobiana *in vitro* do extrato de alho, a capacidade de retenção de água (CRA) e a perda de peso por cocção (PPC) utilizamos o programa estatístico PRISMA 5.0. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), considerando $n=3$. Quanto à avaliação de estabilidade dos *fishburgers* foi utilizado o programa *Excel* com análise de perfil (MANOVA) durante o tempo de estocagem, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização química-estrutural, morfológica e microbiológica do extrato de alho

5.1.1 Análise cromatográfica Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

As Figuras 4 e 5 ilustram os cromatogramas representativos das análises. O cromatograma obtido da análise do extrato de alho revelou picos distintos ao longo do tempo de retenção. O tempo de retenção é indicativo do tamanho de uma determinada molécula (RAHMAN; FAZLIC; SAAD, 2012). Observou-se um grupo de picos iniciais, entre 1 e 2 minutos seguidos de picos de baixa intensidade entre 4 e 5 minutos. De acordo com Yu e Wu (1989), esses picos podem ser atribuídos aos tiossulfatos, uma vez que os autores relataram a detecção de picos semelhantes entre 3 e 4 minutos.

O pico de maior intensidade foi registrado entre 6,5 e 7,5 minutos, sugerindo a presença da alicina, um dos principais componentes bioativos do alho. Essa identificação de picos da alicina foi conduzida pelos estudos de Jansen, Muller e Knobloch (1987), que constatarem o tempo de retenção da alicina em picos de 6,57 minutos para condições de CLAE, corroborando com os achados do presente estudo.

Os resultados do presente estudo foi registrado um pico de alta intensidade entre 6,5 e 7,5 minutos, o que pode indicar presença de alicina. Este resultado apresenta semelhança com os resultados publicados por Rahman, Fazlic e Saad (2012) e Rabinkov *et al.* (1997), que observaram picos próximos aos tempos de 6 e 8 minutos associados a presença do composto sulfurados, como alicina e seus derivados. De acordo com Rahman (2007), a alicina (dialil-tiosulfato) é um dos principais compostos organossulfurados no alho, considerado biologicamente ativo.

Lawson, Wang e Hughes (1991) relatam em sua pesquisa que a alicina é o composto mais amplamente estudado e conhecido. A alicina é produzida quando os bulbilhos de alho são esmagados, picados, processados, adicionados de água ou até mesmo quando o alho é seco tornando-se pó. Além disso, alicina pode se decompor em diversos compostos, incluindo S-alilmercaptocisteína, alilmercaptano, dissulfeto de dialila, dissulfeto de alilmetila, vinilditiínas, ajoeno e possivelmente ácido alilsulfínico e alilsulfônico.

Conforme a pesquisa de Colín-González *et al.* (2012), S-alil-cisteína é o composto organossulfurado mais abundante em extratos de alho envelhecido, que basicamente seria o alho resultante da extração prolongada de alho fresco à temperatura ambiente. Este composto possui uma estrutura química altamente indicativa de atividade antioxidante.

Figura 4 – Cromatograma obtido do extrato de alho (A) e utilizando acetonitrila (B)



Fonte: Autora (2025).

Figura 5 – Cromatograma complementar do extrato de alho (A) e utilizando acetonitrila (B)



Fonte: Autora (2025).

A identificação dos componentes presentes no extrato aquoso de alho obtidos neste trabalho, pode ser comparada parcialmente aos resultados apresentados por Jebeli *et al.* (2024), que utilizaram Cromatografia Gasosa-Espectrometria de Massa (GC-MS). Embora as técnicas apresentem alcance e sensibilidade distintas, ambas evidenciam a presença de bioativos sulfurados. Estes compostos identificados são reconhecidos por suas propriedades antibacterianas (compostos nos picos 2 a 5). Dessa forma, os resultados da análise de Cromatográfica Líquida de Alta Eficiência (CLAE) do extrato de alho indicaram predominância de compostos sulfurados, especialmente a alicina, dissulfetos e oligossacarídeos como a inulina. Tais achados corroboram a literatura quanto ao potencial fitoquímico do alho e evidenciando a sua aplicação como ingrediente funcional de propriedades conservantes e antimicrobianas.

5.1.2 Avaliação da atividade antimicrobiana *in vitro*

Os resultados obtidos quanto a atividade antimicrobiana do extrato aquoso de alho indica que o *S. aureus* foi o microrganismo mais susceptível ao extrato de alho em concentrações diferentes, apresentando halos de inibição entre 43,9 mm a 35 mm. Em seguida, *E. coli* e *Salmonella typhimurium* mostraram menor susceptibilidade, enquanto a *L. monocytogenes* apresentou zona de inibição de maior grau detectável. Comparativamente aos antibióticos de referência como amicacina e gentamicina, o extrato de alho demonstrou atividade superior frente a *S. aureus*, no qual foi determinado maior halo (43,9 mm) que a amicacina (21,5 mm), *E. coli*, onde o extrato (25,9 mm) superou gentamicina (13,5 mm), o que sugere a presença de compostos bioativos, como a alicina, reconhecida na literatura como um dos principais compostos responsáveis pelo potencial antimicrobiano do alho. Tais resultados são apresentados na tabela 2. Diferente de Santos (2022), que observou efeito antimicrobiano semelhante tanto para *S. aureus* e para *Listeria monocytogenes*, sendo que esta última não apresentou susceptibilidade aos extratos aquosos macerados de casca de alho. De forma complementar, estudos realizados por Ali *et al.* (2023) com extrato bruto misto de casca de cebola e alho indicaram as seguintes zonas de inibição: *Staphylococcus aureus* (18mm), *Escherichia coli* (14 mm), *Proteus* sp. (16 mm) e *Klebsiella pneumoniae* (16 mm).

Os resultados do presente estudo demonstraram atividade antimicrobiana do extrato bruto de alho frente a *Salmonella typhimurium*, com halos de inibição variando de 23,5 mm (100%) a 17mm (25%) e *L. monocytogenes* com halos maiores que o limite detectável da placa ($>90 \pm 0,00$). Esses achados estão de acordo com os estudos de Circella *et al.* (2022), que também observaram uma boa capacidade inibitória contra *Salmonella enterica* usando alho (*Allium sativum*), ainda que de forma variável e dependente da carga bacteriana inoculada. Segundo Choo *et al.* (2020) e Belguith *et al.* (2010), existem fatores que podem influenciar as discrepâncias nos resultados tais como a instabilidade da alicina, componente ativo responsável por sua atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, além da forma física do alho usado (fresco ou seco) e do método de preparação.

A intoxicação por *S. aureus* é uma doença transmitida veiculação hídrica e por alimentos (DTHA) mais prevalentes, ocorrendo por meio da ingestão de enterotoxinas estafilocócicas termoestáveis previamente formadas. Além disso, cepas *S. aureus* frequentemente apresentam resistência a antibióticos convencionais, o que impulsiona estudos por alternativas terapêuticas naturais mais efetivas (HENNEKINNE *et al.*, 2011).

Valores elevados na quantificação de microrganismos podem indicar que a matéria-prima foi contaminada ou que seu processamento foi inadequado, além de apontarem para possíveis falhas na gestão do binômio tempo x temperatura durante a estocagem (ORDOÑEZ *et al.*, 2005). A literatura evidencia que alimentos contaminados com bactérias patogênicas, como *L. monocytogenes*, *E. coli*, *Salmonella spp.* e *S. aureus*, representam um sério risco à saúde pública (SCALLAN *et al.*, 2011). A *L. monocytogenes* é um patógeno de origem alimentar preocupante para a indústria de alimentos devido à sua capacidade de crescer em temperaturas de refrigeração (GANDHI; CHIKINDAS, 2007). Essa bactéria também se prolifera em taxas mais elevadas devido a abusos de temperatura, que podem ser encontrados durante o armazenamento em depósito, transporte, exposição no varejo e armazenamento doméstico (RABSCH *et al.*, 2001).

Tabela 2 – Diferenças significativas da atividade antimicrobiana do extrato de alho extrato alho *Allium sativum* L. por difusão em ágar

Microorganismos				
Extrato de alho	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. typhimurium</i>	<i>L. monocytogenes</i>
100%	43,90 ± 0,15 ^a	25,90 ± 0,15 ^a	23,27 ± 0,50 ^a	>90 ± 0,00
50%	40,13 ± 0,44 ^b	23,63 ± 0,34 ^b	19,73 ± 0,21 ^b	>90 ± 0,00
25%	35,07 ± 0,69 ^c	19,67 ± 0,08 ^c	17,20 ± 0,20 ^c	>90 ± 0,00
** Amicacina (30 µg)	21,5 ± 0,00 ^d	ND	ND	24,00 ± 1,41
***Gentamicina (10 µg)	ND	13,5 ± 0,00 ^d	ND	ND

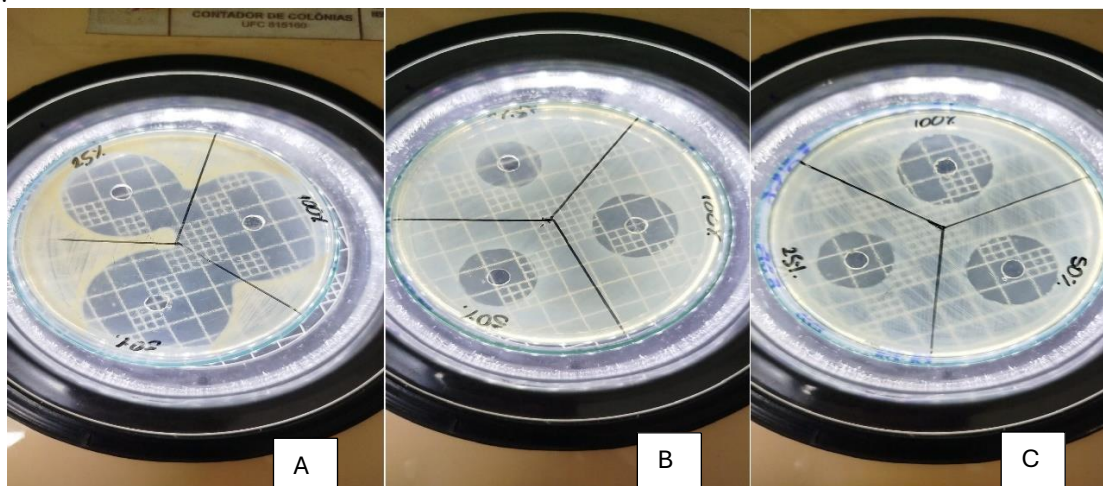
Fonte: elaborada pela autora (2025).

Letras diferentes entre colunas indicam diferenças significativas ao nível de 5% (ANOVA; teste de Tukey, $P < 0,05$).

Resultados expressos em milímetros (mm).

ND – Não determinado

Figura 6 – Halos de inibição do extrato de alho. (A) *Staphylococcus aureus*, (B) *Salmonella spp.*, (C) *Escherichia coli*.



Fonte: Autora (2025).

Tal potencial inibitório também foi descrito por Mnayer *et al.* (2014), que elucidam com mais detalhes como acontece o mecanismo inibitório promovido por determinados componentes do alho, como compostos organossulfurados, dialil sulfeto (DAS), dialil dissulfeto (DADS) e dialil trissulfeto (DATS) que possuem propriedades hidrofóbicas capazes de comprometer a integridade da membrana bacteriana do *S. aureus*. Esses compostos interagem com os fosfolipídios da membrana bacteriana aumentando a permeabilidade da membrana celular e promovendo o extravasamento de substâncias intracelulares de baixo peso molecular, o que leva a morte bacteriana.

A maior eficiência do extrato de alho pode estar relacionada a maior estabilidade da alicina em soluções aquosas, uma vez que tal composto é solúvel em água, quando comparada aos solventes alcoólicos como metanol etanol, nos quais essa substância degrada mais rapidamente (PARRA *et al.*, 2014). Ifesan e Fadipel (2014), também relataram efeitos inibitórios em *S. aureus*, *E. coli* e *P. vulgaris* ao utilizar extrato alcoólico de casca de alho em carne tratada com imersão em álcool 80%. Pinilla e Brandelli, (2016) obtiveram resultado semelhante ao do presente estudo. Os autores observaram susceptibilidade de *L. monocytogenes* aos extratos hidroalcoólico de alho e nisina livre encapsulada que foram adicionados ao leite integral para controlar o desenvolvimento de microrganismos. Os achados do presente estudo reforçam a eficácia antimicrobiana do extrato de alho e sua viabilidade em produtos cárneos, especialmente em pescado, foco principal desta pesquisa.

5.1.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier – EITF

A espectroscopia de infravermelho consiste em uma técnica analítica das mais relevantes existentes atualmente. Baseia-se nas vibrações dos átomos de uma molécula (STUART, 2004). A frequência dessas vibrações é praticamente igual as frequências da radiação infravermelha (BRADY; HUMISTON, 1986). Esse método analítico foi utilizado para identificar variados grupos funcionais presentes nos compostos por meio da vibração das moléculas e consequente variação do momento de dipolo.

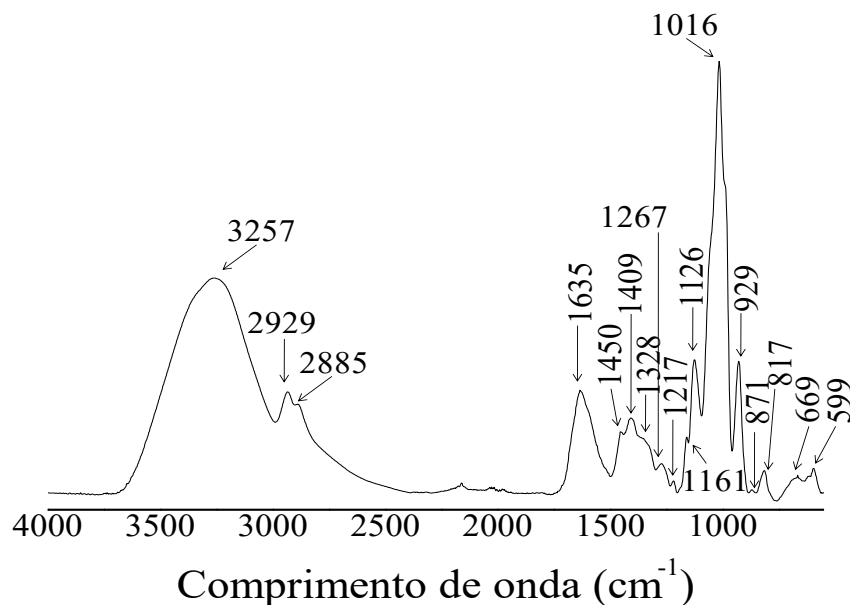
A análise espectroscópica de infravermelho da amostra de extrato de alho (Figura 7) revelou a presença de carboidratos, predominantemente a inulina (Tabela 3), além de flavonóides e componente secundário das plantas. Conforme Dalonso *et al.* (2009), Barreto *et al.* (2021) e Pelegriani (2022), o extrato de alho pode apresentar compostos contendo nitrogênio e enxofre, como identificado no espectro de infravermelho. A presença desses elementos pode estar associada a modificações químicas naturais nas classes dos flavonóides, como processos de sulfatação. De fato, sinais típicos de enxofre foram observados também na amostra concentrada de extrato de alho analisada nessa pesquisa.

A banda espectral registrada entre $3679 - 3000\text{ cm}^{-1}$, pode ser atribuída às vibrações de alongamento de O-H de álcoois e ácidos carboxílicos ou de vibrações de alongamento C-H, geralmente associada a moléculas orgânicas. Alternativamente, essa banda pode representar vibrações de alongamento da ligação N-H, sendo comum em moléculas de amina (HAMEED; AHMAD, 2009).

Bandas específicas associadas ao enxofre e nitrogênio foram observadas a 1240 cm^{-1} (SS), 1636 cm^{-1} (NH), 1718 cm^{-1} (C=O), corroborando a caracterização química apresentada por Garai *et al.* (2012) e Barreto *et al.* (2021). Tais achados reforçam a presença de compostos antioxidantes, no extrato de alho.

Conforme Gomes (1999), o grupo OH viabiliza a adsorção de substâncias nas superfícies metálicas pois tende a formar ligações de hidrogênio com os radicais livres compostos de carbono. Outras bandas específicas atribuídas a compostos contendo enxofre também foram detectadas em 720 cm^{-1} (CS), 1044 cm^{-1} (S=O) e 1235 cm^{-1} (SS). Esses achados apoiam a literatura e reforçam a hipótese que composto contendo enxofre e nitrogênio desempenham um papel importante no potencial antioxidante do extrato de alho, sendo importante para aplicações biotecnológicas, alimentícias e farmacêuticas.

Figura 7 – Espectro de infravermelho da amostra EITF do extrato de alho.



Fonte: Autora (2025).

Tabela 3 – Grupos funcionais de EITF do carboidrato inulina encontrado na amostra concentrada de extrato de alho

Sinal	Grupo funcional	Referência
3257	-OH	Dalonso <i>et al.</i> (2009).
2929/2885	C-H ₂ na região aromática dos flavanóides	Dalonso <i>et al.</i> (2009); Pelegrini (2022).
1635	Deformação angular (ligação dupla C=C do anel aromático dos flavanóides e/ou NH)	Dalonso <i>et al.</i> (2009); Pelegrini (2022); Barreto <i>et al.</i> (2021).
1409-1450	Região ácida, ligação COO-, CH ₃ e/ou CH ₃ em aromáticos e alifáticos	Dalonso <i>et al.</i> (2009); Pelegrini (2022)
1217-1267	Enxofre	Dalonso <i>et al.</i> (2009); Maciel <i>et al.</i> (2008); Silva <i>et al.</i> (2010).
1126-1161	Carboidrato	Dalonso <i>et al.</i> (2009)
1016	Carboidrato	Dalonso <i>et al.</i> (2009).
929	Ligações glicosídicas ou C-O-C de resíduo de anidroaçúcar	Maciel <i>et al.</i> (2008); Silva <i>et al.</i> (2010).
871	Ligações glicosídicas ou enxofre	Maciel <i>et al.</i> (2008).
817	Enxofre	Maciel <i>et al.</i> (2008); Silva <i>et al.</i> (2010)
669	Ligações glicosídicas ou nitrogênio (NH)	Barreto <i>et al.</i> (2021).
599	Ligações glicosídicas ou enxofre	Maciel <i>et al.</i> (2008).

Fonte: Autora (2025).

5.1.4 Análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi empregada para avaliar a morfologia da superfície, estrutura e dispersão das partículas presentes no extrato de alho aquoso. Nas

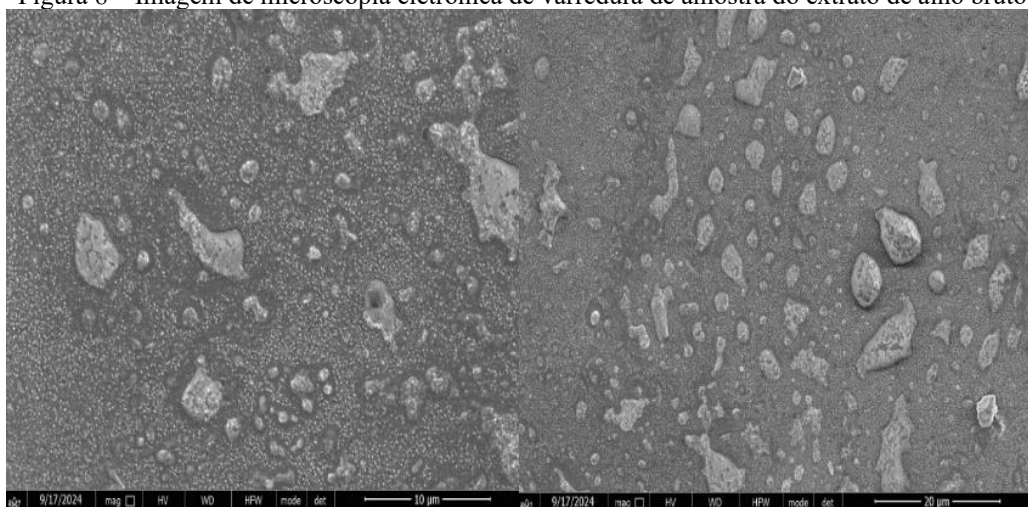
micrografias com diferentes ampliações (10 μm e 20 μm na escala), observou-se partículas com formato irregular, dispersas e heterogêneas com bordas rugosas e outras com bordas lisas.

Segundo Shang *et al.* (2019), os principais compostos bioativos no alho são derivados de compostos contendo enxofre e seus precursores. Esses compostos incluem alicina, sulfeto de dialila (DAS), trissulfeto de dialila (DATS), dissulfeto de dialila (DADS), ajoeno. Estes são compostos com potencial antioxidante e contribuem para uma atividade biológica importante para o alho. Além disso, a atividade antioxidante desses compostos se correlaciona com outros compostos bioativos, como peptídeos bioativos, fibras alimentares, polifenóis e micronutrientes (CAPASSO, 2013). Logo, a presença desses compostos pode influenciar a organização estrutural do extrato.

A rugosidade e as partículas dispersas também foram visualizadas nas micrografias da MEV reportadas por Saraiva (2024), que produziu um revestimento de fécula de mandioca e extrato aquoso de alho. De forma semelhante, Youssef *et al.* (2021) relataram a presença de pequenas esferas de bordas heterogêneas em bionanocompósitos, com diferentes concentrações de extrato de alho (2%, 4%, 8%,). Os autores também relataram que a adição do extrato à matriz do bionanocompósito tornou a superfície mais heterogênea, assumindo uma estrutura pétalas de flor.

A análise por MEV, portanto, contribui para a compreensão de como os compostos presentes no extrato aquoso se organizam estruturalmente, interagem como formam agregados ou se estão bem dispersos, o que pode influenciar sua funcionalidade em aplicações tecnológicas.

Figura 8 – Imagem de microscopia eletrônica de varredura de amostra do extrato de alho bruto



Fonte: Autora (2025). MEV de amostra do extrato de alho bruto com resolução de 10 μm e 20 μm .

5.2 Avaliação físico-química da CMS e das almôndegas elaboradas

5.2.1 Composição centesimal e valor calórico

Os valores obtidos nesse estudo para umidade (76,55%), proteína bruta (14,94%), lipídeos (7,53%) e cinzas (0,81%) são condizentes com os reportados no estudo da composição química da CMS, de Sary *et al.* (2009), Rebouças *et al.* (2012) e Fogaça *et al.* (2015), que relataram valores de 69 a 90% para umidade, 13 a 17,5% para proteína bruta, 2,9 a 15,42% para lipídeos e 0,8 a 1,5% para cinzas. Bernardino Filho (2018) apresentou resultados de CMS de tilápia com valores de umidade em torno de 75%, cinzas 1,7%, proteínas 12% e lipídeos 11%.

Os resultados do presente trabalho estão em conformidade com os resultados de estudos anteriores dos quais mostram que a composição química do CMS de tilápia “in natura” é variável dependendo de quais os resíduos a compõem.

Tabela 4 – Composição centesimal da matéria prima (CMS) e almôndegas

parâmetro (%)	Composição química (g 100 g ⁻¹)			
	CMS	BHT controle	F3%	F6%
umidade	76.55 ± 0.09 ^a	70.61 ± 0.03 ^a	70.87 ± 0.34 ^a	71.52 ± 0.20 ^a
proteínas	14.94 ± 0.12 ^b	18.61 ± 0.69 ^a	19.40 ± 0.29 ^a	18.95 ± 0.04 ^a
lipídios	7.53 ± 0.00 ^b	1.29 ± 0.07 ^a	1.30 ± 0.00 ^a	1.28 ± 0.00 ^a
cinzas	0.81 ± 0.00 ^b	3.60 ± 0.04 ^a	3.56 ± 0.02 ^a	3.61 ± 0.02 ^a
carboidratos	0.143 ^b	5.87 ^a	4.83 ^a	4.61 ^a
Valor calórico (Kcal g ⁻¹)	128.16 ^b	109.59 ^a	108.75 ^a	105.87 ^a

Fonte: Autora (2025). Resultados expressos como média ± desvio padrão.

Vale mencionar que as diferenças apresentadas nos valores do conteúdo lipídico da CMS sofrem variação devido a diferentes fatores, tais como tamanho do peixe, estado nutricional, sazonalidade, idade, parte do corpo e condições gonadais (BEIRÃO *et al.*, 2000). Outro aspecto a ser considerado, é que a maiores quantidades de gordura na CMS refere-se a diferentes formas de manipulação durante o processamento, formas de fazer a limpeza da carcaça antes da extração, resultando em maior quantidade de gordura aderida (DALLABONA *et al.*, 2013).

Todos os parâmetros avaliados na composição centesimal das almôndegas elaboradas com CMS de tilápia (Tabela 4) também estavam de acordo com os limites estabelecidos pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para almôndegas (BRASIL, 2000), no qual

permite valores máximos de Características físico-químicas, tais como Gordura (máx.) - 18% Proteína (mín.) - 12% Açúcares totais (carboidratos) (máx.) 10%. Os valores calóricos das formulações revelaram uma variação quando comparados ao valor energético da CMS (128,16 kcal/100g). Esta variação pode estar associada ao percentual lipídico mais elevado presente na matéria prima. Tal redução é desejável sob uma perspectiva nutricional, uma vez que há uma tendência pela escolha por produtos menos calóricos. O trabalho de Oliveira *et al.* (2021) corrobora essa observação ao relatar a redução dos conteúdos de calóricos na elaboração de massa alimentícia adicionada de CMS de tilápia. Os resultados obtidos acerca da umidade, proteínas, lipídeos, cinzas e valor calórico, tanto da matéria prima como das formulações das almôndegas estão apresentados na tabela 4.

5.3 Análises microbiológicas da CMS

As amostras de CMS de tilápia foram analisadas conforme os padrões de conformidade estabelecidos pela Resolução RDC nº 724/2022 e IN nº 161/2022 da ANVISA (BRASIL, 2022a), aplicáveis a carne moída, produtos cárneos crus, hambúrgueres, almôndegas e quibes. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 5. Não foi detectada a presença de *Salmonella spp*, sendo um indicativo de qualidade microbiológica satisfatória da matéria-prima (CMS) analisada. A contagem de *S. aureus* apresentou valores $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, coliformes termotolerantes apresentou contagens <10 UFC/g e para bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g) foi constatada a contagem de $1,1 \times 10^4$ UFC/g. Esta contagem apresentou-se abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação utilizada ($<10^5$ UFC/g), o que indica condições satisfatórias de higiene e armazenamento da matéria prima.

Os resultados microbiológicos obtidos no presente estudo mostraram semelhanças aos de Bordignon *et al.* (2010), que também analisaram a CMS de tilápia e apresentaram ausência de *Salmonella*, níveis de coliformes termotolerantes e estafilococos coagulase positiva dentro dos limites vigentes. Da mesma forma, houve concordância com os resultados de Bernardino Filho e Xavier (2019), que obtiveram valores de coliformes termotolerantes na CMS de tilápia do Nilo em conformidade com o padrão de qualidade microbiológica, similarmente aos resultados das demais análises apresentadas por Fogaça *et al.* (2015) em seu trabalho com surimi de CMS de tilápia, reforçando o padrão de qualidade microbiológica observado na CMS de tilápia.

No Brasil, a legislação vigente preconiza a importância da qualidade microbiológica dos produtos cárneos (ANVISA, 2022). De acordo com IN161/2022 da

ANVISA, é indispensável que estes alimentos sejam seguros, com base nas análises microbiológicas requeridas. Além disso, destaca-se a importância da adoção de análises microbiológicas, permitindo o controle de qualidade do produto alimentício bem como demonstram responsabilidade dos fabricantes, contribuído para evitar perdas econômicas e consequentemente ampliam a aceitação comercial por parte dos consumidores nos diversos seguimentos da área da alimentação.

Estas análises minimizam riscos à saúde pública, aumentam a confiança do consumidor e promovem a melhoria contínua nos processos produtivos e garantindo a qualidade dos produtos cárneos (BRASIL, 2022a). Dessa forma, a qualidade microbiológica da matéria-prima do presente trabalho foi atestada antes de iniciar a produção das formulações das almôndegas. Tais amostras foram submetidas a análise microbiológica apenas no tempo inicial visando garantir a qualidade inicial para a produção das formulações.

Tabela 5 – Análises microbiológicas da CMS utilizada na elaboração das almôndegas

Análise	Referência (Legislação)	Matéria prima (CMS)
<i>Salmonella</i> spp.	Ausência em 25g	Ausência
Coliformes termotolerantes (UFC/g)	$< 10^2$	< 10 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	$< 10^3$	< 10 UFC/g
Aeróbios mesófilos (UFC/g)	$< 10^5$	$1,1 \times 10^4$ UFC/g

Fonte: Autora (2025).

A presença de bactérias aeróbias mesófilas em produtos cárneos é um importante indicador das condições higiênicas durante o processamento e estocagem. Esses microrganismos podem se desenvolver devido falhas nos equipamentos, manipulação inadequada, processamento insuficiente e armazenamento indevido, o que pode reduzir o prazo de vida útil do produto (FRANCO; LANDGRAF, 2008).

Com relação a presença de *S. aureus*, a ANVISA estabelece para pescado “in natura”, o limite máximo de 10^3 UFC/g, além da exigência de ausência de *Salmonella* em 25g de alimento (BRASIL, 2022a). Os estafilococos geralmente são detectados quando ocorrem falhas na manipulação dos alimentos, e sob condições favoráveis de temperatura e pH, podem se multiplicar rapidamente (MELLO, 2009).

De acordo com Simões *et al.* (2007), em seu trabalho com “fishburgueres” elaborados com CMS de tilápia, a contagem reduzida de bactérias, assim como a ausência de estafilococos coagulase positiva e *Salmonella* spp. foram indicativos de que a manipulação ocorreu dentro de padrões higiênico-sanitários adequados. Portanto, os resultados da avaliação microbiológica obtidos no presente trabalho estão em conformidade com os padrões aceitáveis da legislação vigente e corroboram para atestar a qualidade higiênica-sanitária da matéria-prima utilizada.

5.4 Capacidade de retenção de água (CRA) das almôndegas

Os valores de CRA obtidos variaram entre 52,5% e 61,1%, sem diferenças significativas entre as formulações das almôndegas (Tabela 6). Já a CMS apresentou um CRA significativamente maior, de 89,8%, o que era esperado, pois esse tipo de matéria-prima, tende a apresentar uma maior retenção de água devido a natureza da carne de pescado (SIKORSKI, 2001).

Alguns fatores que devem ser considerados quando se avalia os resultados da capacidade de retenção de água. Sabendo-se que a carne do pescado possui proteínas miofibrilares, que constituem as miofibrilas, incluindo a miosina, a actina e as proteínas reguladoras como a tropomiosina, troponina e actinina (SIKORSKI, 2001). Estas proteínas apresentam uma elevada importância no processamento de polpas de pescado e afins, uma vez que são responsáveis pela coagulação, gelificação dos produtos e apresentam elevada capacidade de retenção da água, além de possuir boa digestibilidade (XIONG, 1997; SUZUKI, 1987).

Conforme Oetterer (2006), as propriedades funcionais, mencionadas anteriormente, presentes na carne de pescado, possuem grande relevância na elaboração de produtos à base de polpa de peixe, carne mecanicamente separada, tais como as almôndegas e hambúrguer de peixe.

A representação quantitativa de um valor elevado nos resultados da análise da CRA indica que parâmetros como umidade e suculência estão preservados, fato este que é de considerável relevância durante os processos de cocção dos produtos (MARTELO-VIDAL *et al.*, 2016).

Tabela 6 – Capacidade de retenção de água (CRA) das almôndegas e CMS de tilápia

Formulações	CRA (%)
F1 C-	61,1687 ± 1,0121 ^a
F2 C+	53,2283 ± 1,2444 ^a
F3 1%	53,9281 ± 0,0622 ^a
F4 3%	52,5961 ± 1,1236 ^a
F5 6%	52,5615 ± 1,1524 ^a
CMS	89,8882 ± 1,1998 ^b

F1 = Controle sem antioxidante (C-); F2 = Controle com antioxidante BHT (C+); F3 = Formulação com 1% de extrato de alho; F4 = Formulação com 3% de extrato de alho; F5 = Formulação com 6% de extrato de alho com revestimento; CMS = Carne mecanicamente separada. Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$, ANOVA, teste de Tukey).

Segundo Damodaran e Parkin (2017), o desejável seria obter valores que demonstrem o aumento da capacidade de retenção de água em produtos elaborados, pois seria indicativo de otimização da qualidade do produto, uma vez que repercute na diminuição ou ausência de sinérese de géis e, conseqüentemente, a não exsudação durante o descongelamento dos alimentos.

Essa informação vem de encontro com os estudos de Sousa (2021), que afirma que a análise de CRA se configura como um parâmetro muito importante para produtos reestruturados e, quanto maior for seu valor, melhor será a manutenção da umidade. O autor observou valores da CRA em hambúrguer reestruturado de pescado com galactomanana entre 47,75% a 77,50%, sendo números condizentes com os apresentados no presente trabalho.

Haguiwara *et al.* (2020) obtiveram valores de CRA que variaram de 60,4% a 91,9% em reestruturados de CMS de tilápia contendo aditivos como fécula de mandioca, concentrado protéico de soja, carragenana e fibra vegetal. Resultados superiores foram encontrados por Miranda *et al.* (2022), onde obtiveram CRA com variação entre 77,7% a 87,9 %. Tal retenção elevada foi atribuída à adição dos componentes incorporados aos hambúrgueres de tilápia, como amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo. Ou seja, são observados determinados efeitos de retenção quando se incorpora fibras em carne de pescado. Portanto, em linhas gerais, percebe-se que ao adicionar componentes de farinhas e fibras nas formulações mencionadas o valor de CRA eleva-se de forma considerável, sugerindo que os ingredientes adicionados neste estudo também contribuíram para retenção de umidade nas formulações.

Outro aspecto a ser mencionado sobre as formulações com extrato de alho e revestimento de quitosana é que esses ingredientes não repercutiram positivamente para aumento dos valores do CRA. Não há muitas evidências na literatura elucidando o comportamento do extrato de alho aquoso no processo de retenção de água em carnes de pescado. No entanto esse comportamento diverge dos resultados observados por Lopes (2023),

com adição de alho negro em carne suína (*jerked beef*), que relatou menores perdas de umidade. A diferença nestes achados pode estar relacionada ao tipo de matriz alimentar e as interações específicas que ocorreram entre alho e as proteínas miofibrilares presentes na constituição cárnea do pescado.

5.5 Determinação da perda de peso por cocção (PPC) das almôndegas

Os valores obtidos da análise de PPC das amostras de almôndegas variaram entre 7,3% a 7,6%, sem diferença significativa entre as formulações F1C-, F2C+, F3 1%, F4 3% e F5 6% (Tabela 7). O que nos leva a crer, que além das formulações demonstrarem estabilidade no teor de umidade e retenção de água, nem o extrato de alho adicionado nem o revestimento incorporado na formulação F5 apresentaram modificações que influenciassem no comportamento ligado a perda de água. Com relação ao valor de PPC apresentado para análise realizada com as amostras da CMS de tilápia, foi apresentado um valor significativamente maior de 27,4%, indicando que a matéria-prima se comportou diferente, demonstrando que a CMS apresenta maior perda de peso durante a cocção. Assim, infere-se que produtos elaborados apenas com CMS “in natura” de pescado poderiam ter mais instabilidade na forma após cozimento.

Com base em Damodaran e Parkin (2017), o ideal é que a perda de peso por cozimento seja a mínima possível, para assim evitar perdas da qualidade, do aporte de nutrientes e consequentemente perdas econômicas, como rendimento por exemplo.

A adição de certos ingredientes ocasiona a retenção de umidade em produtos reestruturados de pescado, essa informação pode ser respaldada pelos resultados apresentados por Miranda *et al.* (2022), que observaram a valores de PPC entre $7,12 \pm 0,54$ e $13,92 \pm 0,76$ % em hambúrgueres de tilápia reestruturados com fibras alimentares. No qual foi visto que a adição da fibra branca de trigo e carboximetilcelulose favoreceram a diminuição da perda de peso por cozimento.

Haguiwara *et al.* (2020) também usaram aditivos como fécula de mandioca, concentrado proteico de soja e carragenana em produtos reestruturados de CMS de tilápia e apresentaram PPC de 2,22% a 9,44%. Esses valores podem ser observados em Borderias *et al.* (2005) e Ramirezet *et al.* (2011), os quais indicaram em produtos de pescado, o efeito na formação do gel relacionado a ação física e ou físico-químico e as mudanças estruturais na

matriz da proteína, das quais variam, principalmente, com a composição, distribuição e interação entre proteínas.

Tabela 7 – Perda de peso por cocção (PPC) das almôndegas e CMS de tilápia

Formulações	PPC (%)
F1 C-	7,6280 ± 0,0703 ^a
F2 C+	7,6061 ± 0,0980 ^a
F3 1%	7,3257 ± 0,1011 ^a
F4 3%	7,4802 ± 0,1253 ^a
F5 6%	7,5743 ± 0,1620 ^a
CMS	27,4485 ± 0,1602 ^b

F1 = Controle sem antioxidante (C-); F2 = Controle com antioxidante BHT (C+); F3 = Formulação com 1% de extrato de alho; F4 = Formulação com 3% de extrato de alho; F5 = Formulação com 6% de extrato de alho com revestimento; CMS = Carne mecanicamente separada. Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$, ANOVA, teste de Tukey).

5.6 Avaliação da estabilidade sob refrigeração das almôndegas de Carne Mecanicamente Separada de tilápia

5.6.1 Avaliação dos valores do pH

Os peixes apresentam pH próximo à neutralidade, superior ao de outras carnes suínas, frango e bovina (SOARES; GONÇALVES, 2012), o que provavelmente contribuiu para o elevado pH inicial das almôndegas produzidas com CMS de tilápia do Nilo. Avaliar o pH durante o período da estocagem é de fundamental importância. De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos Animal - RIISPOA (BRASIL, 2001), o valor de pH é de 6,8 para carne de pescado, sendo estabelecido com valor máximo. Com base nos valores apresentados na tabela 8, observa-se que todas as formulações apresentaram um aumento gradual dos valores de pH ao longo dos 28 dias de estocagem a 4°C. No entanto, todos os valores permaneceram abaixo do limite da legislação, indicando boa estabilidade dos produtos elaborados com base no pH. No 28º dia a formulação controle, sem o extrato de alho, apresentou maior valor de pH de 6,54, seguida pela formulação com 3% de extrato de alho (F4) com pH 6,48. A formulação com 6% de extrato de alho (F5) apresentou o menor valor de pH ao final do período (6,29), sendo estatisticamente diferente das demais ($p < 0,05$). Esses resultados sugerem que o extrato de alho pode ter atuado como um agente conservante retardando o aumento do pH.

Tabela 8 – Valores de pH das almôndegas a base de CMS de tilápia durante armazenadas sob refrigeração (4 °C)

Formulação	dia 0	dia 7	Dia 14	dia 21	dia 28
F2 (C+)	5.92 ± 0.00 ^a	6.10 ± 0.01 ^a	6.05 ± 0.00 ^a	6.20 ± 0.01 ^a	6.54 ± 0.01 ^a
F4 (3%)	5.92 ± 0.00 ^a	6.09 ± 0.01 ^a	6.01 ± 0.01 ^a	6.13 ± 0.00 ^a	6.48 ± 0.01 ^a
F5 (6%)	5.93 ± 0.01 ^a	6.03 ± 0.01 ^a	5.95 ± 0.04 ^a	6.08 ± 0.00 ^b	6.29 ± 0.00 ^b

F2(C+) = Controle positivo apenas com BHT; F4(3%) = Formulação de almôndega com extrato de alho a 3%; F5(6%) = Formulação de almôndega com extrato de alho a 6%, mas sem revestimento. Resultados expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$, ANOVA, teste de Tukey).

5.6.2 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

A legislação brasileira não estabelece um limite para a oxidação lipídica medida pelo TBARS para produtos da pesca; no entanto, alimentos oxidados são mais propensos à formação de compostos tóxicos como aldeídos, cetonas, álcoois, ácidos e hidrocarbonetos (SUMMO; CAPONIO; PASQUALONE, 2006).

O teor de MDA no tempo 0 (dia zero) da matéria prima, constituída apenas de CMS de tilápia, apresentou 1,5 mg kg⁻¹. Já nos dias subsequentes, a quantificação das amostras de F4 e F5 apresentou redução nos valores quando comparadas aos valores da concentração de MDA das amostras controle, sem adição de extrato de alho (Tabela 9).

Tabela 9 – Avaliação dos valores de TBARS (mg kg⁻¹) nas almôndegas de CMS de tilápia armazenadas sob refrigeração (4° C)

formulação	dia 0	dia 7	dia 14	dia 21	dia 28
CMS	1.589 ± 0.02 ^b	-	-	-	-
F2(C+)	1.304 ± 0.01 ^a	2.138 ± 0.02 ^a	3.053 ± 0.01 ^a	3.816 ± 0.03 ^a	4.894 ± 0.02 ^a
F4(3%)	1.446 ± 0.01 ^a	2.00 ± 0.01 ^b	2.149 ± 0.02 ^b	2.253 ± 0.07 ^b	3.243 ± 0.01 ^b
F5(6%)	1.307 ± 0.00 ^a	1.68 ± 0.00 ^c	1.996 ± 0.01 ^c	2.152 ± 0.01 ^c	3.101 ± 0.03 ^c

CMS= carne mecanicamente separada; F2(C+) = Controle positivo apenas com BHT; F4(3%) = Formulação de almôndega com extrato de alho a 3%; F5(6%) = Formulação de almôndega com extrato de alho a 6%, mas sem revestimento. Resultados expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$, ANOVA, teste de Tukey).

Diante dos resultados obtidos, os valores de TBARS no dia 0 (zero) apresentaram-se relativamente elevados quando comparados aos dados de Costa (2017), que relatou valores iniciais de TBARS em torno de 0,7 mg MDA/kg⁻¹ para CMS de carcaça de tilápia sem lavagens, com aumento progressivo até 9,7 mg MDA/kg⁻¹ ao longo de 120 dias de congelamento. Essa diferença pode estar associada a condição da CMS utilizada neste estudo, especialmente ao

intervalo de tempo decorrido entre o dia da obtenção até o dia do experimento. O qual pode ter favorecido o início do processo de oxidação lipídica. Embora os valores de TBARS do início já se apresentem elevados, a adição do extrato de alho nos tratamentos da F4(3%) e F5(6%) foi eficaz na redução da oxidação lipídica ao longo do tempo.

Vale destacar que o processamento de carcaças de peixe para obtenção da CMS promove a oxidação por aumentar a área de superfície de contato com o músculo do peixe com o oxigênio (LIMA *et al.*, 2017; RUNDBLAD *et al.*, 2017). Como os produtos da oxidação são compostos voláteis, eles são responsáveis pelo odor e sabor ranço. Nos alimentos, a evolução da oxidação lipídica pode ser avaliada pela quantificação do MDA e outras substâncias que reagem com o TBA, denominadas TBARS (HAC-SZYMANCZUK *et al.*, 2019).

Os valores de TBARS aumentaram de 0,67 mg MDA/ kg⁻¹ (sem adição de CMS) para 1,24 mg MDA/kg⁻¹ (100% CMS) com o aumento da porcentagem de CMS nos citados subprodutos (salsichas). Esses valores podem ser elucidados pelo fato que o processo de obtenção de CMS pode causar rompimento das membranas musculares, facilitando a interação dos agentes oxidantes com os ácidos graxos poliinsaturados, resultando na propagação de reações oxidativas (ESTÉVEZ; VENTANAS; CAVA, 2007; GRAY; GOMAA; BUCKLEY, 1996).

5.7 Caracterização química-estrutural e morfológica das almôndegas de carne mecanicamente separada de tilápia

5.7.1 Análise de ésteres metílicos de ácidos graxos usando cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS)

A análise de ésteres metílicos de ácidos graxos dos extratos realizada por GC-MS foi essencial para caracterizar metabólitos e ácidos graxos presentes nos lipídeos das almôndegas de CMS de tilápia. A amostra analisada correspondeu ao tratamento do controle negativo, permitindo a avaliação de forma isolada do perfil lipídico, sem interferência de demais aditivos. Os compostos estão descritos na tabela 10 e no cromatograma da figura 9, evidenciando a presença de ácidos graxos saturados e insaturados. A caracterização do perfil lipídico é fundamental, pois influencia diretamente no conteúdo nutricional, na estabilidade oxidativa e sensorial dos produtos elaborados. A composição dos ácidos graxos (AG) dos lipídeos das almôndegas produzidas com CMS de tilápia teve maior destaque para ácido eicosanóico (EPA) (pico 13) e o estearato de metila (pico 12), além do ácido palmítico (pico 6) e o ácido γ -linolenato (pico 9). O estearato de metila, um derivado do ácido esteárico, pertence

ao grupo dos ácidos graxos saturados (SOUZA *et al.*, 2015). Segundo Minozzo (2010), o perfil de ácidos graxos da carne do pescado está intrinsecamente ligado à composição de ácidos graxos dos lipídeos presentes no alimento natural ou obtidos através de ingredientes das rações como óleo vegetal ou óleo marinho. Os óleos vegetais, como os óleos de soja, milho e girassol não apresentam colesterol e são ricos em ácidos graxos insaturados (oléico e linoléico).

Conforme Kubitza (2000) e Fernandes (2000), embora, as tilápias, não apresentem exigências nestes ácidos graxos poliinsaturados, a inclusão de óleos de peixes marinhos na ração pode ser uma boa alternativa para produzir filés enriquecidos com Ômega-3. O plâncton também é uma importante fonte de ácidos graxos poliinsaturados.

Observa-se, conforme a literatura, que peixes de água doce, como carpa e tilápia possuem maior percentual de ácidos graxos da família ômega-6, enquanto peixes de água salgada apresentam mais ômega-3 em sua constituição. Para contornar esse fato, o aumento do teor de ácidos graxos ômega-3 ocorre através do enriquecimento da ração dos peixes com fontes de ácidos graxos poli-insaturados (JABBEN; CHAUDHRY, 2011). Também foram identificados na análise do presente estudo ácido palmítico, ácido palmitoleico, ácido tetradecanoico ou ácido mirístico.

Apesar deste estudo não ter identificado eicosapentaenóico e docosahexaenóico nas almôndegas de CMS de tilápia, observou-se que dentre os pertencentes do grupo dos ácidos poliinsaturados foi detectada a presença do metil γ -linolenato, o qual vem a ser um dos ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs), que de acordo com Martin *et al.* (2006), é um ácido graxo ω -6. O γ -linolenato tem sido associado a efeitos benéficos para a saúde cardiovascular e o metabolismo lipídico, fato que reforça o valor nutricional da CMS de tilápia.

Na pesquisa de Minozzo (2010), o ácido palmítico destacou-se na fração dos ácidos graxos saturados, para os patês de tilápia. Corroborando os achados de outros estudos e do presente trabalho, que também identificou esse composto. A investigação do conteúdo nutricional dos peixes, com ênfase na composição de ácidos graxos tem sido um tema de grande relevância no âmbito da pesquisa científica, uma vez que o consumo de ácidos graxos poliinsaturados está associada à saúde humana, por atuarem na prevenção de diversas doenças cardiovasculares, psoríase, artrite e câncer (DRUZZIANI; MARCHESI; SCAMPARINI, 2007).

Os ácidos graxos poliinsaturados, especialmente o ômega -6 e ômega-3 são nutrientes essenciais para saúde humana, uma vez que só podemos adquirir tais substâncias por meio da dieta. O peixe é uma fonte rica em ácido docosahexaenóico (DHA) e ácido eicosapentaenóico (EPA), que são conhecidos por seus diversos benefícios à saúde dos seus consumidores (SINGHA *et al.*, 2021; STONEHAM *et al.*, 2018). Com base nos resultados das

análises de GC-MS do presente estudo, uma possível melhoria para incrementar o aporte lipídico da CMS de tilápia, seria a inclusão de fontes ricas em ácidos graxos poliinsaturados na dieta dos peixes.

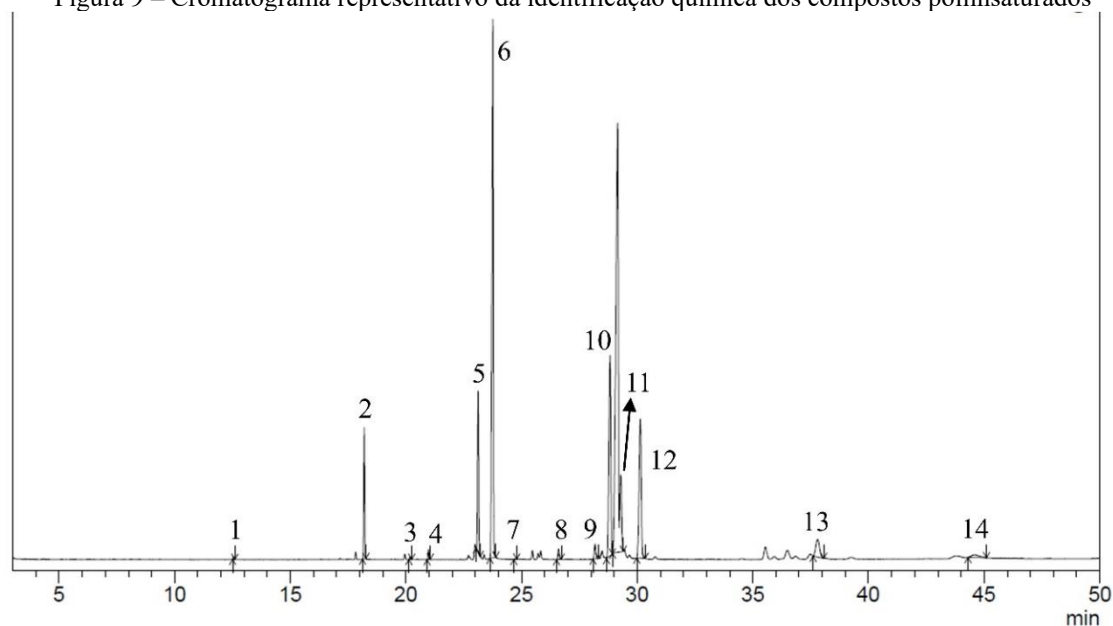
Segundo Nowsad *et al.* (2015), peixes e produtos de pescado são as principais fontes de ácidos graxos poliinsaturados, no entanto, em países em desenvolvimento com a baixa renda de uma parte da população, o acesso a esses alimentos geralmente é escasso. Assim, promover processamento de produtos com CMS, por não ser produzido de uma parte nobre e mais encarecida pode alavancar o consumo de pescado com tal interessante teor nutricional.

Tabela 10 – Identificação química dos compostos poliinsaturados em almôndega de CMS de tilápia

pico	tr (min)	ions fragmento (m/z)	Composto
1	12,54	55; 74; 87; 143	Ácido dodecanóico
2	18,20	55; 69; 74; 87	Tetradecanoato de metila
3	20,17	74; 87; 111; 143	Ácido tetradecanoico, 12-methyl-
4	20,98	43; 74; 87; 129	Ácido pentadecanóico
5	23,12	55; 69; 97; 157	Ácido palmitoleico
6	23,76	43; 74; 87; 115	ácido hexadecanóico
7	24,72	69; 110; 137	ácido cis-10-heptadecanóico
8	26,60	43; 74; 87; 129	ácido heptadecanóico
9	28,18	55; 79; 93; 107	metil-gamma-linolenato
10	28,83	55; 67; 81; 95	ácido 9,12-octadecadienóico (Z,Z)
11	29,16	55; 69; 83; 97	ácido octadecanóico- 9 (Z)-
12	30,13	43; 74; 87; 143	estearato de metila
13	37,80	55; 69; 111; 208	ácido eicosanóico -11
14	44,60	55; 79; 91; 119	ácido cis-7,10,13,16 docosa-tetraenóico

Fonte: Autora (2025).

Figura 9 – Cromatograma representativo da identificação química dos compostos poliinsaturados



Fonte: Autora (2025).

5.7.2 Análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) configura-se como uma ferramenta indispensável para analisar microestruturas de alimentos. Em combinação com técnicas de imagem, ela permite avaliar detalhadamente a estrutura dos alimentos, fornecendo resultados visuais únicos. As alterações na forma e composição de alimentos podem ser detectadas com técnicas de imagem. Visualizar microestruturas é desafiador, mas crucial, pois elas são afetadas durante todo o processo de preparação. Adições ou remoções de componentes podem alterar significativamente a estrutura da amostra (SHARMA; BHARDWAJ, 2019). Assim, por meio desta ferramenta de investigação, a MEV foi utilizada para visualizar os efeitos dos componentes empregados nas micro estruturas e morfologia das formulações.

Para as micrografias analisadas das formulações elaboradas estão representadas nas figuras 9 (controle negativo sem alho ou BHT, controle positivo com BHT, F3 com 1% de extrato de alho e F4 com 3% de extrato de alho) e figura 10 (F5 com 6% de alho e revestimento e apenas o revestimento). Na figura 10, são apresentadas as imagens obtidas das amostras de controle positivo (C+) e controle negativo (C-), na qual a diferença é a presença do , antioxidante BHT, muito utilizado na indústria de alimentos, como já foi mencionado.

As micrografias obtidas do controle positivo (C+), no presente estudo, apresentou estruturas mais compactas e densas. Já na imagem do controle negativo (C-) há formas mais porosas, com espaços vazios, o que pode indicar menos coesão. De forma geral as micrografias

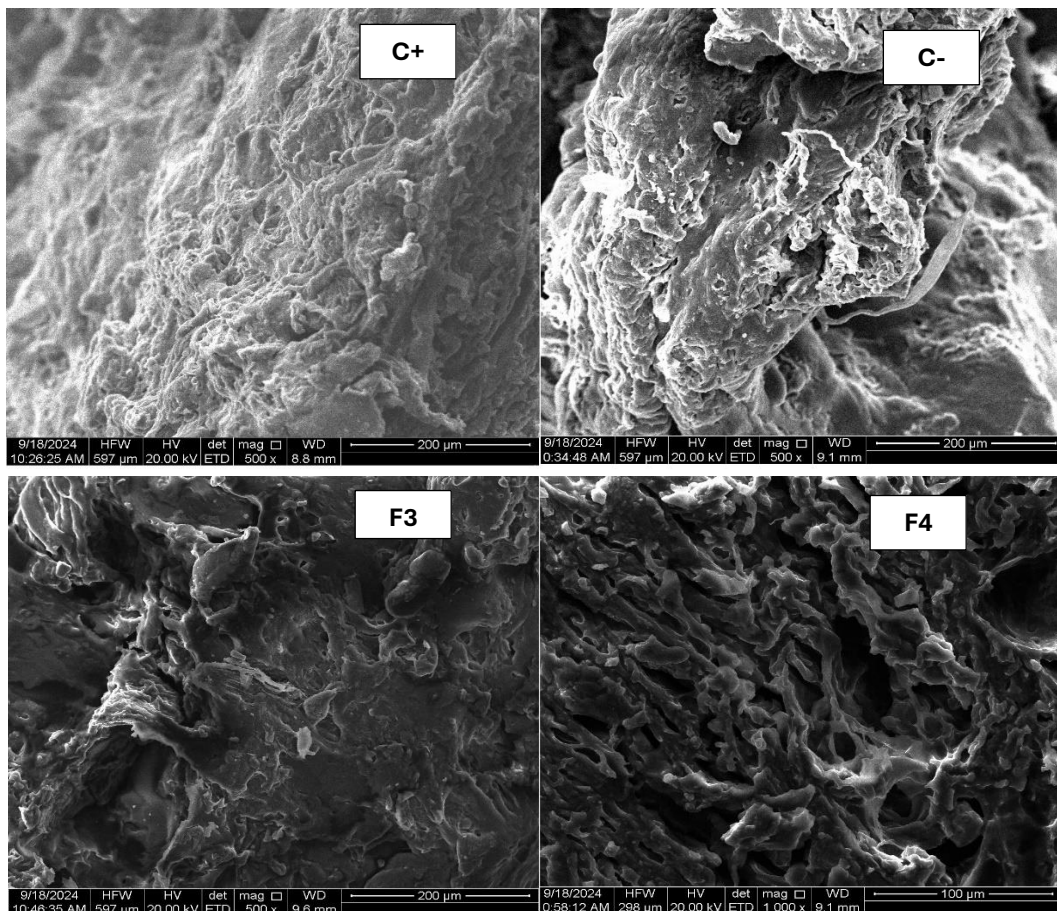
revelam morfologia amplamente rugosas, em todas as formulações, com alguns aglomerados, apresentando formas fibrosas típicas de carnes. Aspectos semelhantes ao presente estudo foram relatados por Liu *et al.* (2022), que analisaram microestruturas de materiais a base de surimi. No surimi cru, sem aditivos, a superfície foi descrita como muito áspera, fraturada e com furos evidentes. Essas características se assemelham à morfologia detectada na MEV da formulação do controle negativo do presente trabalho. Nas imagens F3 e F4 há regiões esféricas ou com aparência de glóbulos, parcialmente dispersas. Essa observação também foi relatada por Fogaça (2009) em sua pesquisa com surimi de tilápia, na qual visualizou uma rede proteica irregular, orifícios de ar e presença de glóbulos de gordura nas microestruturas das amostras.

De acordo com o trabalho de Sussel (2021), que elaborou *fishburger* com CMS de lambari, a presença de glóbulos de gorduras foi identificada como um indicativo de emulsificação insuficiente da massa proteica de CMS. Essa descoberta é importante pois a presença de partes não homogêneas de gordura ou presença de outros tecidos podem afetar negativamente a textura e consequentemente aceitação de um produto alimentício. Entretanto, Jamas (2012), em seu trabalho com surimi de tilápia, sugere que a presença de muitas gotículas de gordura podem indicar que a CMS utilizada possuía maior quantidade de músculo vermelho.

Os resultados do presente estudo seguem em concordância com as imagens apresentadas por Jamas (2012), no qual avaliou as microestruturas de gel de surimi e hamburgueres de tilápia reestruturados. Foi visualizado estruturas mais densas e compactas, matriz proteica com orifícios, aspecto de fios de proteínas interligados em forma de rede tridimensional e presença de gotículas de gordura.

Aspectos contrastantes foram encontradas com o trabalho de Sousa (2021), com hamburgueres reestruturados de peixe adicionados de galactomanana. Nesse caso, observaram micrografias com a formação de matriz proteica contínua, porções de músculos com agregação de proteínas numa estrutura mais densa, homogênea e agregada. Assim, infere-se, que aparentemente, o gel formado pela galactomanana não interage necessariamente com as proteínas, mas age como uma rede principal que engloba proteínas, fibras e gotículas de gorduras. Fato este que pode fomentar um entendimento de como se constituem as diferenças entre as formulações do presente estudo e os relatos na literatura

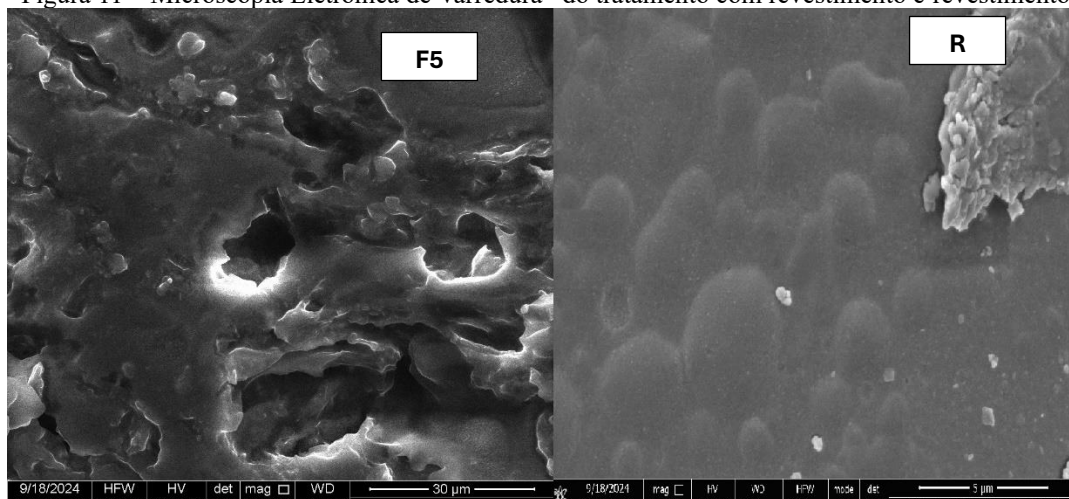
Figura 10 – Microscopia Eletrônica de Varredura dos tratamentos das almôndegas



Onde C+: formulação com adição de antioxidante BHT (controle positivo); C- :formulação sem adição de antioxidante; F3: adição de 1% de extrato de alho; F4: adição de 3% de extrato de alho.

Fonte: Autora (2025).

Figura 11 – Microscopia Eletrônica de Varredura do tratamento com revestimento e revestimento



Formulação 5 (F5): adição de 6% de extrato de alho e com revestimento de quitosana; Mev do Revestimento (R) : apenas o revestimento (quitosana, ácido acético, glicerol e 6% de extrato de alho)

Fonte: Autora (2025).

A figura 11 apresenta a amostra F3, correspondente às almôndegas contendo o revestimento de quitosana, glicerol, ácido acético e 6% de extrato de alho. Observa-se uma superfície irregular, com múltiplos poros de tamanhos variados, conferindo à amostra uma morfologia heterogênea e porosa. Já na imagem do revestimento (R) a superfície se apresenta mais contínua e homogênea com pequenas partículas dispersas. Essas características são semelhantes às descritas por Souza *et al.* (2011), com filmes com quitosana e ácido esteárico. Os autores observaram uma superfície altamente irregular, sugerindo uma separação de fases devido à incompatibilidade entre os componentes.

De modo semelhante, Ferreira (2014) destacou que a morfologia das partículas apresentadas na MEV de um filme elaborado com proteína recuperada de CMS de pescado, glicerol e óleo essencial de orégano foi afetada pela incorporação desses óleos essenciais aos filmes, mostrando uma superfície mais heterogênea, mas com porosidade reduzida. Assim, infere-se que a formação de poros na imagem F3 está relacionada a interação do revestimento com uma matriz proteica e não apenas uma característica intrínseca do revestimento de quitosana.

Estudos anteriores mostram que a quitosana pode variar sua morfologia nas imagens de MEV conforme forma de uso e componentes adicionados. Xue e Wilson (2016) observaram a MEV de quitosana pura em comparação com materiais de quitosana reticulada. A quitosana pura mostrou estrutura de poros mínima e isso é consistente com a natureza cristalina e em camadas deste polissacarídeo. A presença de pequenos poros neste tipo de análise também foi observada em filmes contendo quitosana e urucum de Fonteles (2019).

Segundo de Muzzarelli *et al.* (2004), que investigou a caracterização das microesferas em quitosana, foram obtidos resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho. Foi identificada a presença de fissuras e poros, que são características comuns nesse tipo de material. Essas estruturas podem influenciar as propriedades físico-químicas das microesferas, como a taxa de liberação de substâncias ativas e a estabilidade em diferentes condições ambientais. Dessa forma, sugere-se que as microesferas em quitosana podem apresentar características similares, independentemente do método de preparo ou das condições experimentais.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que a CMS de tilápia é uma matéria prima viável para elaboração de almôndegas com adequada qualidade microbiológica e características físico-químicas dentro dos padrões estabelecidos. A incorporação do extrato de alho isoladamente e combinado ao revestimento de quitosana contribuiu para estabilidade oxidativa e segurança microbiológica dos produtos, confirmando assim o potencial funcional dos aditivos naturais avaliados.

Embora o extrato de alho e o revestimento não tenham exercido influência nas análises de CRA e PPC, suas atividades conservantes e antimicrobiana foram evidenciadas nos ensaios microbiológicos e demais caracterizações. Com relação a quitosana, o biopolímero apresentou relevância nas estruturas morfológicas das formulações sugerindo uma certa contribuição tecnológica na matriz proteica bem como na porosidade refletindo nos mecanismos de liberação.

Tais achados reforçam o uso combinado do extrato de alho e o revestimento de quitosana como alternativa promissora na aplicação de produtos de pescado. Nesse sentido, vale destacar que o alho é um insumo de baixo custo, com ampla disponibilidade e aceitação no mercado nacional, o que torna sua aquisição e aplicação acessíveis, tanto em escala artesanal como industrial. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação conjunta do extrato de alho e do revestimento de quitosana representa uma alternativa promissora e viável para a elaboração de almôndegas de CMS de tilápia, sugerindo estabilidade microbiológica e oxidativa.

REFERÊNCIAS

- AHERN, M.; THILSTED, S. H.; OENEMA S. **The role of aquatic foods in sustainable healthy diets**. [S.l.]: United Nations, 2021.
- AHMED, Z. *et al.* Calpains- and cathepsins-induced myofibrillar changes in post-mortem fish: Impact on structural softening and release of bioactive peptides. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 130-146, 2015.
- AKULLO, D.; KIGOZI, J.; MUYONGA, J. H. Nutritional, sensory and shelf life quality of tilapia and Nile perch sausages enriched with fish bone soup. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 8, n. 3, p. 646-653, 2020.
- ALBUQUERQUE, B. R. *et al.* Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. **Food & Function**, v. 12, n. 1, p. 14-29, 2021.
- ALDA, P. C. *et al.* Physicochemical and sensory evaluation of mortadella based on Nile tilapia filleting residues. **Ciência Rural**, v. 51, n. 3, p. 1-10, 2021.
- ALI, H. *et al.* Synthesis and characterization of eco-friendly TiO₂ nanoparticle from combine extract of onion and garlic peel. **Journal of King Saud University – Science**, v. 35, n. 8, 2023.
- ALI, M. *et al.* Oxidative stability and Sensoric acceptability of functional fish meat product supplemented with plant-based polyphenolic optimal extracts. **Lipids in Health and Disease**, v. 18, n. 35, 2019.
- ALTEMIMI, A. *et al.* Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. **Plants**, v. 6, n. 42, p. 1-23, 2017.
- AOAC. **Official Methods of Analysis Manual**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC, 2008.
- APHA. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public Health Association, 2015.
- APAK, R. *et al.* Antioxidant activity/capacity measurement. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 997-1027, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2023**. São Paulo: PEIXE BR, 2023.
- ATMAKA, W.; YUDHISTIRA, B.; PUTRO, M. I. S. Characteristic study of chitosan addition in tilapia (*Oreochromis niloticus*) bone based gelatin film. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 142, n. 1, p. 012028, 2018.
- ATWATER, W. O. Principles of nutrition and nutritive value of food. **Farmers' Bulletin**, 142. Washington: Government Printing Office, US Department of Agriculture, 1910.

- AZWANIDA, N. N. A. Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation. **Medicinal and Aromatic Plants**, v. 4, n. 3, p. 1-6, 2015.
- BADAL, D. S. *et al.* Effect of organic manures and inorganic fertilizers on growth, yield and its attributing traits in garlic (*Allium sativum* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, p. 587–590, 2019.
- BARBUT, S. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 38, n. 4, p. 355-358, 1997.
- BARREIRA, C. F. T. *et al.* The impacts of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) on fatty acids and cholesterol oxides formation in canned sardines during thermal processing. **Food Chemistry**, v. 403, 2023.
- BARRETO, L. S. *et al.* Evaluation of vegetables residues as corrosion inhibitors. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021.
- BASAVEGOWDA, N.; BAEK, K. H. Synergistic antioxidant and antibacterial advantages of essential oils for food packaging applications. **Biomolecules**, v. 11, n. 9, p. 1267, 2021.
- BEIRÃO, L. H. *et al.* Processamento e industrialização de moluscos. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP “TECNOLOGIA PARA APROVEITAMENTO INTEGRAL DO PESCADO”, 2000, Campinas. **Anais [...]**. Campinas, 2000.
- BELGUITH H. *et al.* Study of the effect of aqueous garlic extract (*Allium sativum*) on some *Salmonella* serovars isolates. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 22, p.189–206, 2010.
- BERNADINO FILHO, R.; XAVIER, L. C. A. Obtenção, rendimento e caracterização de CMS produzida com resíduos da filetagem de Tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 9, n. 2, p. 01-04, 2019.
- BERNARDINO FILHO, R. **Elaboração de embutido “tipo mortadela” de CMS de tilápia adicionado de extrato de resíduos de camarão**. 2018. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- BESSA, D. P. *et al.* Functional sausage made from mechanically separated tilapia meat. **Italian Journal of Food Science**, v. 28, p. 426-440, 2016.
- BOEIRA, C. P. *et al.* Phytochemical characterization and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* extract for application as natural antioxidant in fresh sausage. **Food Chemistry**, v. 319, p. 126-553, 2020.
- BORDERÍAS, A. J.; SÁNCHEZ- ALONSO, I.; PÉREZ- MATEOS, M., New applications of fibers in foods: addition to fishery products. **Trends in Food Science and Technology**, Colney, v. 16, p. 458-465, 2005.
- BORDIGNON, A. C. *et al.* Elaboração de croquete de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) a partir de CMS e aparas do corte em 'V' do filé e sua avaliação físico-química, microbiológica e sensorial. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, p. 109-116, 2010.

BORGOGNO, M. *et al.* Technological and nutritional advantages of mechanical separation process applied to three European aquacultured species. **LWT-Food Science and Technology**, v. 84, p. 298-305, 2017.

BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. **Química orgânica**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Instrução Normativa nº 161, de 1º julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Brasília: ANVISA, 2022a.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 724, de 1º de julho de 2022**. Brasília, DF, n. 126, p. 205, 2022b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 51, de 29 de dezembro de 2006**. Regulamento Técnico de Atribuição de Aditivos. Brasília: Diário Oficial da União, seção 1, 2006.

BRASIL. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) para almôndegas**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2000.

BRCAST/EUCAST. **Teste de sensibilidade aos antimicrobianos Método de disco-difusão, 2021**. Disponível em: <https://brcast.org.br/metodo-de-disco-difusao-brcast-eucast/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

CAMPOS, C. A.; GERSCHENSON, L. N.; FLORES, S. K. Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 6, p. 849-875, 2011.

CAPASSO, A. Antioxidant action and therapeutic efficacy of *Allium sativum* L. **Molecules**, v. 18, n. 1, p. 690-700, 2013.

CASTRO, J. S. **Elaboração de “fishburger” de filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) adicionado de ácido láurico**. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2019.

CHOO S. *et al.* Review: Antimicrobial properties of allicin used alone or in combination with other medications. **Folia Microbiologica**, v. 65, p. 451–465, 2020.

CIRCELLA, E. *et al.* In Vitro Antimicrobial Effectiveness Tests Using Garlic (*Allium sativum*) against *Salmonella enterica* Subspecies *enterica* Serovar *Enteritidis*. **Antibiotics**, Basel, v. 11, n. 11, p. 1481, 2022.

COLÍN-GONZALEZ, A. L. *et al.* The antioxidant mechanisms underlying the aged garlic extract- and S-allylcysteine-induced protection. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, 1e16, 2012.

COSTA, D. P. S. **Desenvolvimento de hambúrguer com carne mecanicamente separada de carcaça e de refile de tilápia**: caracterização microbiológica, físico-química e sensorial. 2017. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2017.

COSTELLO, C. *et al.* The future of food from the sea. **Nature**, v. 588, p. 95-100, 2020.

DALLABONA, B. R. *et al.* Effect of heat treatment and packaging systems on the stability of fish sausage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 12, 2013.

DALONSO, N. *et al.* Extração e caracterização de carboidratos presentes no alho (*Allium sativum* L.): proposta de metodologia alternativa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 793-797, 2009.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Fennema's Food Chemistry**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

DEANTI, H. *et al.* The quality of edible film made from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin with addition of different type seaweed hydrocolloid. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 116, n. 1, 2018.

DRUZIANI, J. I.; MARCHESI, C. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Perfil de ácidos graxos e composição centesimal de carpas (*Cyprinus carpio*) alimentadas com ração e com dejetos suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 539-544, 2007.

EKŞİ, G.; ÖZKAN, A. M. G.; KOYUNCU, M. Garlic and onions: An eastern tale. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 10, 2020.

ESTÉVEZ, M.; VENTANAS, S.; CAVA, R. Oxidation of lipids and proteins in frankfurters with different fatty acid compositions and tocopherol and phenolic contents. **Food Chemistry**, v. 100, p. 55-63, 2007.

FACCO, E. M. P. **Parâmetros de qualidade do charque relacionados ao efeito da Suplementação de vitamina E na dieta de bovinos de raça Nelore em confinamento**. 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas – SP, 2002.

FAN, W. *et al.* Effects of tea polyphenol on quality and shelf life of pork sausages. **Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 1, p. 191–195, 2014.

FENG, P.; WEAGANT, S. D.; GRANT, M. A. Enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. In: U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Bacteriological Analytical Manual**. 8. ed. Washington, D.C.: FDA, 2002. Chapter 4.

FERNANDES, C. F. Processing of the tilapias. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J. E. **Tilapia Aquaculture in the Americas**. Louisiana: The world Aquaculture Society, 2000, v. 2, p. 100-118.

FERREIRA, F. A. **Filmes nanocompósitos antimicrobianos obtidos a partir de proteínas de pescado e nanoargila incorporados com óleos essenciais**. 2014. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2014.

FOGAÇA, F. H. S. *et al.* Caracterização de surimi obtido a partir da carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo e elaboração de fishburger. **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 765-776, 2015.

FOGAÇA, F. H. S. **Caracterização do surimi de tilápia do Nilo: morfologia e propriedades físicas, químicas e sensoriais**. 2009. 73 f. Tese (Doutorado em Aquicultura). Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2009.

FONTELES, U. V. R. S. **Filmes de quitosana com corante de urucum como potencial embalagem ativa para produtos cárneos**. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

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

FDA. Chapter 5: Salmonella. In: FDA. **Bacteriological Analytical Manual (BAM)**. [S.l.]: Food and Drug Administration, 2001. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam-chapter-5-salmonella>. Acesso em: 03 mar. 2025.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008.

FRATIANNI, F. *et al.* Phenolic constituents, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of different endemic Italian varieties of garlic (*Allium sativum* L.). **Journal of Functional Foods**, v. 21, p. 240–248, 2016.

FREEMAN, D. W.; HEARNSBERGER, J. O. An instrumental method for determining rancidity in frozen catfish fillets. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 2, p. 35–50, 1993.

GANDHI, M.; CHIKINDAS, M. L. Listeria: A foodborne pathogen that knows how to survive. **International Journal of Food Microbiology**, v. 113, p. 1–15, 2007.

GARAI, S. *et al.* A Comprehensive Study on Crude Methanolic Extract of *Artemisia pallens* (*Asteraceae*) and Its Active Component as Effective Corrosion Inhibitors of Mild Steel in Acid Solution. **Corrosion Science**, v. 60, p. 193-204, 2012.

GARTHRIGHT, W. E. **Bacteriological Analytical Manual (BAM) Online**. [S.l.]: US Food and Drug Administration, 2001. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm2006949.htm>. Acesso em: 17 fev. 2025.

GOLDEN, C. D. *et al.* Aquatic foods to nourish nations. **Nature**, v. 598, p. 315-320, 2021.

GOMES, A. W. M. **Inibidores naturais de corrosão extraídos em vegetais**. 1999. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de Campinas, Campinas, 1999.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do Pescado, Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. São Paulo: Atheneu, 2011.

GRAY, J. I.; GOMAA, E. A.; BUCKLEY, D. J. Oxidative quality and shelf life of meats. **Meat Science**, Essex, v. 43, n. 1, p. S111-S123, 1996.

HAC-SZYMANCZUK, E. *et al.* Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of oregano (*Origanum vulgare L.*) preparations during storage of low-pressure mechanically separated meat (BAADER meat) from chickens. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 2, p. 449-457, 2019.

HAGUIWARA, M. M. H. *et al.* Comportamento funcional da CMS reestruturada de tilápia híbrida vermelha. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 42759-42766, 2020.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 870-875, 2009.

HENNEKINNE, J. A.; BUYSER, M. L.; DRAGACCI, S. Staphylococcus aureus and its food poisoning toxins: characterization and outbreak investigation. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 36, n. 4, p. 815-36, 2011.

HUSEIN, Y. *et al.* Nutritional Quality, Physical Properties and Lipid Stability of Ready-to-cook Fish Products are Preserved during Frozen Storage and Oven-cooking. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 29, n. 2, p. 207–217, 2020.

IFESAN, B. O. T.; FADIPEL, E. A.; IFESAN, B. T. Investigation of Antioxidant and Antimicrobial Properties of Garlic Peel Extract (*Allium sativum*) and Its Use as Natural Food Additive in Cooked Beef. **Journal of Scientific Research & Reports**, v. 3, p. 711-721, 2014.

ISO. **ISO 6579-1:2017**. Microbiology of the food chain – Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella -Part 1: Detection of Salmonella spp. [S.l.]: International Organization for Standardization, 2017.

ISO. **ISO 6888-1:1999**. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (Staphylococcus aureus and other species) - Part 1: Technique using Baird-Parker agar medium. [S.l.]: International Organization for Standardization, 1999.

JABBEN, F.; CHAUDHRY, A. S. Chemical composition and fatty acid profiles of three freshwater fish species. **Food Chemistry**, v. 125, p. 991-996, 2011.

JAMAS, E. **Valor agregado aos resíduos do processamento de tilápia**: aspectos tecnológicos, químicos e microestruturais. 2012. 48 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura). Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, São Paulo, 2012.

JANSEN, H.; MULLER, B.; KNOBLOCH, K. Allicin Characterization and its Determination by HPLC. **Planta Médica**, v. 53, n. 06, p. 559–562, 1987.

JAVADIAN, S. R.; SHAHOSSEINI, S. R.; ARIAI, P. The effects of liposomal encapsulated thyme extract on the quality of fish mince and *Escherichia coli* O157:H7 inhibition during refrigerated storage. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 26, n. 1, p. 115-123, 2017.

JAYASINGHE, C. V. L.; SILVA, S. S. G.; JAYASINGHE, J. M. J. K. Quality improvement of tilapia fish nuggets by addition of legume flour as extenders. **Journal of Food and Agriculture**, v. 6, n. 1-2, 2013.

JEBELI, S. J. *et al.* Evaluation of bioactivity and antibacterial properties of Ti6Al4V-based green biocomposite implant encompassing TiO₂ nanotube arrays and garlic extract. **Heliyon**, v. 10, 2024.

JERONIMO, H. M. A. *et al.* Production and characterization of emulsified fish mortadella from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Food Studies**, v. 10, p. 203-2020, 2021.

JUSTEN, A. P. *et al.* Preparation of extruded snacks with flavored flour obtained from the carcasses of Nile tilapia: physicochemical, sensory, and microbiological analysis. **Journal Aquatic Food Product Technology**, v. 26, n. 3, p. 258-266, 2017.

KALLEL, F.; CHAABOUNI, S. E. Perspective of garlic processing wastes as lowcost substrates for production of high-added value products: A review. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 1, 2017.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: [s.n.], 2000.

KUMAR, S.; MUKHERJEE, A.; DUTTA, J. Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 196-209, 2020.

LAGO, A. M. T. *et al.* Shelf life determination of frozen fish sausage produced with fillet and minced fish derived from the Nile tilapia processing. **Journal of food processing and preservation**, v. 43, 2019.

LAWSON, L. D.; WANG, Z. J.; HUGHES, B. G. 1991. Identification and HPLC quantitation of the sulfides and dialk(en)yl thiosulfinates in commercial garlic products. **Planta Medica**, v. 57, n. 4, p. 363-70, 1991.

LEE, S.Y. *et al.* Overview of studies on the use of natural antioxidative materials in meat products. **Food Science of Animal Resources**, v. 40, n. 6, p. 863–880, 2020.

LEIRA, M. H. *et al.* Characterization of different techniques for obtaining minced fish from tilapia waste. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 63-67, 2019.

LIMA, D. P. *et al.* Mechanically separated fillet and meat nuggets of Nile tilapia treated with homeopathic product. **African Journal of. Pharmacy and Pharmacology**, v. 9, n. 6, p. 182-189, 2015.

LIMA, S. N. *et al.* Effect of marcela extract (*Achyroclines satureiodes*) on the shelf life of minced Tilapia (*Oreochromis niloticus*) sausages. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 26, p. 140-147, 2017.

LIMBE, S. S.; MILE, L.; YUSUF, N. Hedonic quality analysis of flour-based longgi brownies cake substituted with tilapia. **Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan**, v. 7, n. 4, p. 82-87, 2019.

LIU, K. *et al.* Influence of postharvest citric acid and chitosan coating treatment on ripening attributes and expression of cell wall related genes in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 1-11, 2016.

LIU, K. *et al.* Three-dimensional printing properties of polysaccharide hydrocolloids–unrinsed sturgeon surimi complex hydrogels. **Foods**, v. 11, n. 19, p. 2947, 21 set. 2022.

LIU, R.; MABURY, S. A. Synthetic Phenolic Antioxidants: a review of environmental occurrence, fate, human exposure, and toxicity. **Environmental Science & Technology**, v. 54, p. 11706–11719, 2020.

LIU, Y. *et al.* Principal component analysis of physical, color, and sensory characteristics of chicken breasts deboned at two, four, six, and twenty-four hours postmortem. **Poultry Science**, v. 83, n. 1, p. 101-108, 2004.

LIZÁRRAGA-MATA, W. L. *et al.* Mince from tilapia-backbone: effects of washing and cryoprotectant addition during frozen storage. **Journal of Food Research**, v. 5, n. 5, 2016.

LOPES, R. M. M. **Efeito da adição de alho negro nas características de qualidade de produto cárneo tipo jerked beef de carne suína da raça Moura**. 2023. 73 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Agroalimentar). Universidade Estadual da Paraíba, Bananeiras, 2023.

MANAB, A.; SAWITRI, M.E.; AL AWWALY, K. U. **Edible Film Protein Whey**. Malang: UB Press, 2017.

MARTELO-VIDAL, M. J. *et al.* Reduced-salt restructured European hake (*Merluccius merluccius*) obtained using microbial transglutaminase. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 38, p. 182–188, 2016b.

MARTIN, C. A. *et al.* Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 6, p. 761-770, 2006.

MAULU, S. *et al.* Fish nutritional value as an approach to children's nutrition. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, p. 780844, 2021.

- MELLO, S. C. R. P. **Caracterização físico-química, bacteriológica e sensorial de "Fishburger" e "kamaboko" obtidos da polpa e "surimi" de tilápia.** 2009. 119 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.
- MINOZZO, M. G. **Patê de pescado:** alternativa para incremento da produção nas indústrias pesqueiras. 210 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- MIRANDA, A. V. S. *et al.* Dietary fibers as potential partial meat substitutes in the technological quality of a fish burger. **Research, Society and Development**, v. 11, 2022.
- MNAYER, D. *et al.* Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of six essentials oils from the Alliaceae family. **Molecules**, v. 19, n. 12, p.20034–20053, 2014.
- MOURA, K. A. **Efeito do extrato aquoso de alho sobre a qualidade microbiológica de frangos resfriados.** 2002. 59 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- MUZZARELLI, C. *et al.* Spraydrying of solutions containing chitosan together with polyuronans and characterisation of the microspheres. **Carbohydrate Polymers**, n. 57, p. 73-82, 2004.
- MUZZARELLI, R. Chitosan. In: MUZZARELLI, R. (Ed.). **Natural Chelating Polymers.** Oxford: Pergamon Press, 1973, p. 144–176.
- NIE, X. *et al.* Mechanisms underlying the deterioration of fish quality after harvest and methods of preservation. **Food Control**, v. 135, p. 108805, 2022.
- NOWSAD, A. A. *et al.* Assessment of post harvest loss of wet fish: a novel approach based on sensory indicator assessment. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 75-89, 2015.
- OETTERER, M. **Proteínas do pescado:** processamento com intervenção na fração protéica. Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos. Barueri: Manole, 2006.
- OKEREKE, A. Sensory evaluation of fish spring roll produced from tilápia and catfish. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE FISHERIES SOCIETY OF NIGERIA (FISON), 26., 2011, Nigeria. **Annals [...]**, Nigeria, 2011, p. 243–246.
- OLIVEIRA FILHO, P. R. C. *et al.* Evaluation of physicochemical and sensory properties of sausages made with washed and unwashed mince from Nile tilapia by-products. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 21, n. 3, p. 222-237, 2012.
- OLIVEIRA FILHO, P. R. C. *et al.* Quality of sausage elaborated using minced Nile Tilapia submitted to cold storage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 183–190, mar./abr. 2010.
- OLIVEIRA, R. G. *et al.* Qualidade nutricional, microbiológica e sensorial da massa de pizza com inclusão de CMS de tilápia do Nilo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, 2021.

OLIVEIRA, S. R. **Ação antioxidante de extratos de alho (*Allium sativum* L.) e de cebola (*Allium cepa* L.) *in vitro* e em gordura de frango**. 1991. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

OLIVEIRA, V. S. *et al.* Effect of aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruit against polyunsaturated fatty acids and cholesterol thermo-oxidation in model systems containing sardine oil (*Sardinella brasiliensis*). **Food Research International**, v. 132, p. 109091, 2020.

OLSEN, R. L.; TOPPE, J.; KARUNASAGAR, I. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. **Trends in Food Science & Technology**, v. 36, iss. 2, 2014.

ORDOÑEZ, J. A. *et al.* **Tecnologia dos alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005, v. 2.

PARDI, M. C. *et al.* **Ciência Higiene e tecnologia da carne**. 1. ed. Goiânia: EDUFF, 1993, v. 1.

PARRA, C. L. C. *et al.* Soluções de alho (*Allium sativum* L.) no controle de nematódeos gastrintestinais em bovinos jovens da raça Holandesa. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 3, p. 545-551, 2014.

PARRA, V. *et al.* Effect of exposure to light on physicochemical quality attributes of sliced dry-cured Iberian ham under different packaging systems. **Meat Science**, v. 90, p. 236–243, 2012.

PELEGRINI, D. Y. **Estudo do efeito antioxidante da casca do alho (*allium sativum*) para biodiesel de canola**. 2022. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. Área de Concentração: Biocombustíveis, 2022.

PINILLA, C. M. B.; BRANDELLI, A. Antimicrobial activity of nanoliposomes coencapsulating nisin and garlic extract against Gram-positive and Gram-negative bacteria in milk. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 287–293, 2016.

PREGNOLATO, W.; PREGNOLATO, N. P. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. In: PREGNOLATO, W.; PREGNOLATO, N. P. (Coords.). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985, v. 1.

PUTRI, R. D. A.; PANGESTU, M. A. Y, HUSEIN, M. Physical properties of edible film from tilapia bones (*Oreochromis niloticus*) with addition of caragenan (*Kappaphycus alvarezii*). In: ENGINEERING INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION, CONCEPT AND APPLICATION ON GREEN TECHNOLOGY, 7., 2020. [s.l.]. **Annals [...]**, [s.l.], 2020, p. 413–420.

RABINKOV, A.; *et al.* The mode of action of allicin: trapping of radicals and interaction with thiol containing proteins. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 137, p. 233-244, 1997.

RABSCH, W.; *et al.* Review, non-typhoidal salmonellosis: Emerging problems. **Microbes and Infection**, v. 3, p. 237–247, 2001.

- RAHARJO, S.; SOFOS, J. N.; SCHMIDT, G. R. Improved speed, specificity and limit of determination of aqueous acid extraction thiobarbituric acid-C18 method for measuring lipid peroxidation in beef. **Journal and Agricultural and Chemistry**, v. 40, p. 2182-2185, 1992.
- RAHMAN, M. M.; FAZLIC, V.; SAAD, N. W. Antioxidant properties of raw garlic (*Allium sativum*) extract. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 2, p. 589-591, 2012.
- RAHMAN, M. S. Allicin and other functional active components in garlic: Health benefits and bioavailability. **International Journal of Food Properties**, v. 10, p. 245-68, 2007.
- RAMIREZ J. A. *et al.* Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1842-1852, 2011.
- REBOUÇAS, M. C. *et al.* Caracterização do concentrado protéico de peixe obtido a partir dos resíduos da filetagem de tilápia do Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 697-704, 2012.
- REYNALDI, A. *et al.* The Effect of Garlic Extract Addition on Tilapia Skin Gelatin Based Edible Coating Towards Antimicrobial Properties and Fish Meatball's Shelf Life. **World Scientific News**, v. 134, n. 2, p. 74-85, 2019.
- RIMM, E.; *et al.* Seafood long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular disease: A science advisory from the American Heart Association. **Circulation**, v. 138, n. 1, 2018.
- ROGERS, H. B. *et al.* The impact of packaging system and temperature abuse on the shelf life characteristics of ground beef. **Meat Science**, v. 97, p. 1–10, 2014.
- RUNDBLAD, A. *et al.* Highquality fish oil has a more favourable effect than oxidised fish oil on intermediate density lipoprotein and LDL subclasses: A randomised controlled trial British. **Journal of Nutrition**, v. 117, n. 9, p. 1291-1298, 2017.
- SANTOS, E. A. *et al.* Exploitation of byproducts from the passion fruit juice and tilapia filleting industries to obtain a functional meat product. **Food Bioscience**, v. 41, p. 101084, 2021.
- SANTOS, J. P. *et al.* Crosslinking agents effect on gelatins from carp and tilapia skins and in their biopolymeric films. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 539, p. 184-191, 2018.
- SANTOS, P. C. M. **Propriedades antioxidante, antimicrobiana e toxicidade do extrato da casca do alho (*Allium sativum* L.)**. 2022. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- SARAIVA, M. C. **Cobertura para ovos à base de fécula de mandioca e extrato de alho (*Allium sativum* L.)**. 2024. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

SARKER, M. *et al.* Value addition of tilapia (*Oreochromis niloticus*): preparation of fillet and shelf-life assessment. **Research in Agriculture, Livestock and Fisheries**, v. 8, n. 2, p. 231-240, 2021.

SARY, C. *et al.* Influência da lavagem da carne mecanicamente separada de tilápia sobre a composição e aceitação de seus produtos. **Ciências Agrárias Ambientais**. v. 7, p. 423-432, 2009.

SASIDHARAN, S. *et al.* Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants extracts. **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, v. 8, n. 1, p.1-10, 2011.

SCALLAN, E. *et al.* Foodborne illness acquired in the United States - Major pathogens. **Emerging Infectious Diseases**, v. 17, p. 7-15, 2011.

SEAFOOD BRASIL. **Consumo per capita de pescado no Brasil**. [S.l.]: Seafood Brasil, 16 jun. 2022.

SECCI, G.; PARISI, G. From farm to fork: Lipid oxidation in fish products. A review. **Italian Journal of Animal Science**, v. 15, p. 124-136, 2016.

SERRA, A.; MACIA, A.; ESTÉVEZ, M. Synthetic Phenolic Antioxidants. In: NOLLET, L. M. L.; TOLDRÁ, F. **Food Analysis by HPLC**. 3. ed. [S.l.]: CRC Press, p. 551-565, 2016.

SETYAJI, A.; WIJAYANTI, I.; PERIKANAN, H. Pengaruh penambahan karagenan terhadap karakteristik edible film gelatin kulit ikan nila (*Oreochromis niloticus*). **Indonesian Journal of Nutrition and Food**, v. 2, n. 2, p. 134-145, 2018.

SHANG, A. *et al.* Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium sativum* L.). **Foods**, v. 8, n. 7, 2019.

SHARMA, V.; BHARDWAJ, A. Scanning electron microscopy (SEM) in food quality evaluation. In: RAO, P.; *et al.* (org.). **Evaluation Technologies for Food Quality**. Amsterdam: Elsevier, 2019.

SHENG, L.; WANG, L. The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance, contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews*. **Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 1, p. 738-786, 2020.

SIGNOR, F. R. P. *et al.* Effect of the addition of pregelatinized starch and dextrin in the formulation of tilapia mechanically separated meat patties. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 45, n. 4, p. 1-10, 2019.

SIKORSKI, Z. Functional properties of proteins in food systems. In: SIKORSKI, Z. (Ed.). **Chemical & Functional properties of food proteins**. Landcaster: Technomic Publishing Co, Inc., p. 113-132, 2001.

SILVA, M. R. L. **Aplicação de revestimento à base de quitosana incorporado com o extrato do resíduo de cebola (*Allium cepa* L.) em carne bovina**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

SIMÕES, M. R. *et al.* Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 608–613, jul./set. 2007.

SINGHA, K. P. *et al.* Proteína bruta dietética ideal para cultura de tilápia cultivada geneticamente melhorada (GIFT), *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) juvenis em águas salinas interiores baixos: efeitos no crescimento, metabolismo e expressão genética. **Animal Feed Science and Technology**, v. 271, 114713, 2021.

SOARES, K. M. P.; GONÇALVES, A. A. Qualidade e segurança do pescado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 1-10, 2012.

SOUSA, S. L. **Desenvolvimento e caracterização de reestruturado de pescado utilizando a galactomanana (*Caesalpinia pulcherrima*)**. 2021. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

SOUZA, M. L. R. *et al.* Preparation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) waste meal for human consumption. **Ciência Rural**, v. 54, 2024.

SOUZA, R. J. *et al.* Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: systematic review and meta-analysis of observational studies. **BMJ**, v. 11, 2015.

SOUZA, V. C.; MONTE, M. L.; PINTO, L. A. A. Preparation of biopolymer film from chitosan modified with lipid fraction. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 9, p. 1856–1862, 2011.

SRICHAROEN, P. *et al.* Ultrasonic-assisted recycling of Nile tilapia fish scale biowaste into lowcost nano-hydroxyapatite: ultrasonic-assisted adsorption for Hg²⁺ removal from aqueous solution followed by “turn-off” fluorescent sensor based on Hg²⁺-graphene quantum dots. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, 2020.

STONEHAM, T. R. *et al.* Production of omega-3 enriched tilapia through the dietary use of algae meal or fish oil: Improved nutrient value of fillet and offal. **PLoS ONE**, v. 13, n. 4, 2018.

STUART, B. H. **Infrared spectroscopy: fundamentals and applications**. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

SUMMO, C.; CAPONIO, F.; PASQUALONE, A. Effect of vacuum packaging storage on the quality level of ripened sausages. **Meat Science**, v. 74, p. 249-254, 2006.

SUSSEL, S. M. L. A. **Aplicação de transglutaminase microbiana em fishburger de lambari (*Astyanax lacustris*)**. 2021. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, São Paulo, 2021.

SUZUKI, T. **Tecnología de las proteínas de pescado y krill.**, Zaragoza, España: Acribia, S.A., 1987.

- TANG, S. *et al.* Antioxidative effect of added tea catechins on susceptibility of cooked red meat, poultry and fish patties to lipid oxidation. **Food Research International**, v. 34, p. 651-657, 2001.
- TOKUR, B. *et al.* Changes in the quality of fishburger produced from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) during frozen storage (-18°C). **European Food Research Technology**, v. 218, p. 420-423, 2004.
- TOPPE, J. *et al.* **Production and Utilization of Fish Silage: A Manual on How to Turn Fish Waste into Profit and a Valuable Feed Ingredient or Fertilizer**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- VALASI, L.; KOKOTOU, M. G.; PAPPAS, C. S. GC-MS, FTIR and Raman spectroscopic analysis of fatty acids of Pistacia vera (Greek variety “Aegina”) oils from two consecutive harvest periods and chemometric differentiation of oils quality. **Food Research International**, v. 148, 2021.
- VIDAL, J. M. A. *et al.* Protein concentrate from the residues left after filleting Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): physicalchemical characterization and sensory acceptance. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 92-99, 2011.
- VIDOTTI, R. M.; BORINI, M. S. M. Aparas da filetagem da tilápia se transformam em polpa condimentada. **Panorama da Aquicultura**, v. 16, p. 38–41, 2006.
- VIGNESH, R. *et al.* Variations in the nutritional composition of the head and bone flours of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) adapted to estuarine and freshwater environments. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science**, v. 4, n. 4, p. 358-364, 2015.
- VYNCKE, W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **FetteSeifen Anstrichmittel**, v. 72, n. 12, p. 1084-1087, 1970.
- WANG, Z. *et al.* Effects of malondialdehyde as a byproduct of lipid oxidation on protein oxidation in rabbit meat. **Food Chemistry**, v. 288, p. 405–412, 2019a.
- WANG, Z. C. *et al.* Application of nitric oxide in modified atmosphere packaging of tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fillets. **Food Control**, v. 98, p. 209-215, 2019b.
- WU, H. *et al.* Inhibition of angiogenesis by chitooligosaccharides with specific degrees of acetylation and polymerization. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, p. 511–518, 2012.
- XING, Y. *et al.* Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth), **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 11, p. 684-689, 2010.
- XING, Y. *et al.* Antimicrobial nanoparticles incorporated in edible coatings and films for the preservation of fruits and vegetables. **Molecules**, v. 24, n. 9, p. 1695, 2019.

XIONG, Y. L. Structure-function relationships of muscle proteins. In: DAMODARAN, S.; PARAF, A. (Eds.). **Food proteins and their applications**. New York: Marcel Dekker Inc., 1997, p. 341-392.

XU, Y. *et al.* Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action. **Food Chemistry**, v. 357, p. 129488, 2021.

XUE, C.; WILSON, L. D. Kinetic study on urea uptake with chitosan based materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 135, p. 180–186, 2016.

YOUSSEF, A. M. *et al.* Preparation and characterization of novel bionanocomposites based on garlic extract for preserving fresh Nile tilapia fish fillets. **Royal Society of Chemistry**, v. 11, p. 22571-22584, 2021.

YU, T.-H.; WU, C. M. Stability of Allicin in Garlic Juice. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 4, p. 977–981, 1989.

ZHU, Z.; LANIER, T. C.; FARKAS, B. E. High pressure effects on heat-induced gelation of threadfin bream (*Nemipterus spp.*) surimi. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 146, p. 23–27, 2015.