

INOVAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL

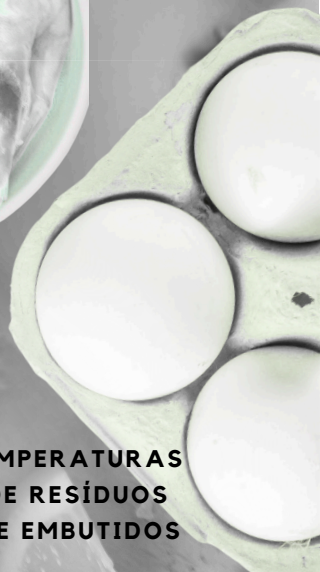
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

ULTRASSOM - ENCAPSULAMENTO POR ELETROPULVERIZAÇÃO
USO DE ANTIOXIDANTES NATURAIS - ARMAZENAMENTO SOB ULTRABAIXAS TEMPERATURAS
- BIOPOLÍMEROS PARA EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS - APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
PARA DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS - FORMULAÇÃO OTIMIZADA DE EMBUTIDOS

INOVAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva





ULTRASSOM - ENCAPSULAMENTO POR ELETROPULVERIZAÇÃO
USO DE ANTIOXIDANTES NATURAIS - ARMAZENAMENTO SOB ULTRABAIXAS TEMPERATURAS
- BIOPOLÍMEROS PARA EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS - APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
PARA DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS - FORMULAÇÃO OTIMIZADA DE EMBUTIDOS



Venda proibida



Open access

EDITOR-CHEFE: JACKSON ANDSON DE MEDEIROS

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara. Inovação no Processamento de Alimentos de Origem Animal / Virgínia Mirtes de Alcântara Silva, [organizadora]. Jardim do Seridó: Agronfy, 2025.

Formato digital (Aplicativo Web).
Inclui referências bibliográficas e índice analítico.
ISBN: 978-65-85062-24-4
DOI: 10.53934/agronfy.2025.04

1. Processamento de Alimentos 2. Alimentos de Origem Animal 3. Inovação Tecnológica 4. Ultrassom na Indústria Alimentícia 5. Encapsulamento por Eletropulverização 6. Antioxidantes Naturais 7. Armazenamento sob Temperaturas Ultrabaixas 8. Biopolímeros 9. Embalagens Biodegradáveis 10. Aproveitamento de Resíduos 11. Desenvolvimento de Novos Produtos 12. Formulação de Embutidos 13. Qualidade Alimentar 14. Sustentabilidade na Indústria de Alimentos I. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara (Brasil).

CDD 630

Todas as opiniões e textos presentes neste livro são de inteira responsabilidade de seus autores e coautores.

Agronfy

Dedicatória

Dedico essa obra a todos os pesquisadores dedicados à área de alimentos, cujo trabalho incansável e paixão pela ciência transformam desafios em soluções e contribuem para um futuro mais sustentável e saudável. Em especial, ao **Prof. Dr. Adriano Gomes da Cruz – IFRJ**, cuja trajetória exemplar e contribuições significativas demonstram não apenas um profundo compromisso com a ciência e a inovação, mas também uma generosidade ímpar em compartilhar conhecimento e inspirar novas gerações.

A autora

Apresentação

É com grande satisfação que apresento esta obra, intitulada Inovação no Processamento de Alimentos de Origem Animal, uma contribuição fundamental para o campo do processamento de alimentos. Em um cenário global que busca alimentar quase dez bilhões de pessoas até 2050 de maneira segura, justa e sustentável, e enfrentar o desafio das mudanças climáticas, o papel da inovação no setor alimentício torna-se fundamental. Atualmente, 811 milhões de pessoas passam fome em um mundo de 7,8 bilhões, destacando a urgência de sistemas alimentares mais inclusivos e eficientes. Além disso, o setor de produção de alimentos é responsável por 34% das emissões globais de gases de efeito estufa, com uma meta de reduzir essas emissões em 45% até 2030 para conter os impactos ambientais.

Vários países estão implementando tecnologias avançadas, com destaque para a América Latina e África, que intensificam esforços em pesquisas para atender à demanda crescente por alimentos seguros e de alta qualidade. No Brasil, observa-se um avanço significativo no desenvolvimento de novos produtos alimentares utilizando subprodutos, promovendo soluções sustentáveis e inovadoras que agregam valor à cadeia produtiva.

Este livro reúne pesquisas inovadoras que exploram a valorização de resíduos e a utilização de subprodutos em novas formulações pela busca por alternativas sustentáveis. No primeiro capítulo, a inclusão de farinha de pele de tilápia em espaguetes demonstra uma formulação rica em proteínas que contribui para a segurança alimentar. O segundo capítulo investiga antioxidantes naturais em hambúrgueres de frango, uma solução que elimina conservantes sintéticos, atendendo ao apelo por alimentos mais naturais. No terceiro capítulo, a ultrassonicação eleva o valor nutricional da farinha de camarão, otimizando o uso de recursos marinhos.

O livro avança para o quarto capítulo com o estudo sobre congelamento em temperaturas ultra-baixas para preservar a qualidade de frutos do mar, enquanto o quinto capítulo apresenta embutidos à base de carne caprina e bagaço de caju, que combinam alta qualidade nutricional e sustentabilidade. No sexto capítulo, a encapsulação de óleo de cabeças de tilápia em microesferas de alginato utiliza a nanotecnologia para aprimorar a estabilidade e o valor funcional. Por fim, o sétimo capítulo explora o potencial da quitosana extraída de cascas de camarão para filmes biodegradáveis, oferecendo alternativas ao plástico em embalagens alimentares.

Esta obra reflete o compromisso dos pesquisadores com a criação de produtos que maximizam o aproveitamento dos recursos e promovem a saúde e o bem-estar, contribuindo para a sustentabilidade e a inovação no processamento de alimentos.

O CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, FIRMEZA E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE MACARRÃO TIPO ESPAGUETE ELABORADO COM FARINHA DA PELE DE TILÁPIA-DO-NILO – esse capítulo explora o desenvolvimento de um macarrão tipo espaguete enriquecido com farinha de pele de tilápia-do-Nilo, uma matéria-prima rica em proteínas e minerais. A tilápia, adaptável e resistente a variações climáticas, é uma escolha sustentável, especialmente relevante em tempos de mudanças climáticas que desafiam a produção alimentar. A metodologia envolve a secagem e trituração da pele, seguida de sua incorporação em diferentes concentrações na massa, com análises de firmeza, composição nutricional e segurança microbiológica. Esse processamento inovador aproveita subprodutos da indústria pesqueira, contribuindo para a segurança alimentar ao reduzir desperdícios e fornecer alimentos mais nutritivos, alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e ideais para um mercado cada vez mais focado em sustentabilidade e funcionalidade.

O CAPÍTULO 2 - IMPACTO DE ANTIOXIDANTES NATURAIS NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA E PROPRIEDADES FÍSICAS DE HAMBURGUER DE FRANGO – esse capítulo trata do uso de antioxidantes naturais extraídos de plantas como alecrim, semente de romã e casca de uva para reduzir a oxidação lipídica e melhorar as propriedades físicas de hambúrgueres de frango. Esses extratos, ricos em compostos fenólicos, desempenham um papel essencial na bioeconomia ao agregar valor a subprodutos e reduzir a necessidade de aditivos sintéticos, promovendo um modelo sustentável e funcional de produção de alimentos. A metodologia inclui extração hidroetanólica, liofilização e incorporação dos antioxidantes nas formulações de hambúrguer, resultando em produtos mais estáveis, nutritivos e com maior capacidade de retenção de água, atendendo a uma crescente demanda por alimentos seguros, naturais e inovadores.

O CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ULTRASONICAÇÃO NO TEOR DE PROTEÍNAS E PARÂMETROS FÍSICOS DA FARINHA DOS RESÍDUOS DE CAMARÃO - esse capítulo analisa a influência do tempo de ultrassonicação sobre o teor de proteínas e propriedades físicas da farinha obtida de resíduos de camarão, destacando seu potencial na bioeconomia. Os resíduos, tratados com ultrassom em diferentes tempos (10, 20 e 30 minutos), passam por processos de secagem e moagem, resultando em uma farinha com maior teor proteico, solubilidade, capacidade de absorção de água e óleo. O ultrassom, ao promover cavitação, intensifica o processo de extração e transformação desses resíduos, aumentando o valor agregado e viabilizando seu uso em diversas aplicações industriais. Esse tratamento com ultrassom não só melhora a qualidade nutricional da farinha, mas também contribui para uma economia circular ao reaproveitar subprodutos da indústria pesqueira, alinhando-se a práticas sustentáveis e inovadoras.

O CAPÍTULO 4 - AVALIAÇAO DA QUALIDADE DE CAMARÕES ARMAZENADOS SOB ULTRABAIXAS TEMPERATURAS DE CONGELAMENTO – esse capítulo avalia o efeito de temperaturas ultra-baixas de congelamento (-18, -40 e -100 °C) na qualidade dos camarões ao longo de 60 dias de armazenamento, considerando parâmetros como nitrogênio volátil total (NVT), substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA) e pH. Os resultados mostram que temperaturas mais baixas retardam significativamente a degradação proteica e lipídica, refletindo menores valores de NVT e TBA, enquanto o congelamento a -100 °C preserva melhor a qualidade, minimizando variações de pH e deterioração. A adoção de temperaturas de congelamento ultra-baixas contribui para a segurança alimentar e para a redução de perdas, revelando-se uma prática inovadora e eficaz para a indústria de frutos do mar ao prolongar a vida útil do produto e garantir maior qualidade sensorial e nutricional.

O CAPÍTULO 5 - EMBUTIDOS PREPARADOS COM BLENDS DE CARNE CAPRINA E BAGAÇO DE CAJU: COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA – esse capítulo investiga o desenvolvimento de embutidos elaborados com blends de carne caprina e bagaço de caju, visando melhorias nutricionais e de sustentabilidade. A carne caprina, rica em proteínas e minerais, foi combinada com bagaço de caju, um subproduto rico em fibras e antioxidantes, nas proporções de 5% e 10%. O bagaço de caju promoveu uma redução significativa nos teores de água e lipídeos, além de aumentar o teor de proteínas e minerais, contribuindo para a criação de um embutido mais saudável. A análise microbiológica mostrou ausência de Salmonella e baixos níveis de Staphylococcus, assegurando a segurança do produto. Esse estudo destaca o potencial do bagaço de caju como ingrediente funcional, favorecendo a bioeconomia ao reaproveitar resíduos agroindustriais e criar alimentos mais nutritivos e sustentáveis.

O CAPÍTULO 6 - EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE CABEÇAS DE TILÁPIA E SUA UTILIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MICROESFERAS DE ALGINATO POR ELETROPULVERIZAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUIMICA E EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAMENTO – esse capítulo explora a extração de óleo de cabeças de tilápia e sua encapsulação em microesferas de alginato via eletropulverização, destacando o potencial desses subprodutos na bioeconomia. O óleo extraído, rico em ácidos graxos essenciais, apresentou características físico-químicas adequadas, como baixa oxidação e alto grau de insaturação, tornando-o promissor para uso nutracêutico. A técnica de encapsulação, eficiente para proteção e liberação controlada, gerou microesferas com alta eficiência de encapsulamento e capacidade de carga, sem variações significativas no tamanho das partículas. Esse processo inovador agrega valor ao resíduo de tilápia, favorecendo a sustentabilidade e criando produtos funcionais com potencial de aplicação na indústria de alimentos e suplementos.

CAPÍTULO 7 - PRODUÇÃO DE QUITOSANA A PARTIR DE CASCAS DE CAMARÃO E SUA APLICAÇÃO PARA EMBALAGENS DE ALIMENTOS - A quitosana, um biopolímero derivado da quitina, foi obtida por um processo de desmineralização, desproteinização e desacetilação das cascas, resultando em um material com alto teor de proteínas e baixa umidade, o que favorece sua aplicação em embalagens. Filmes produzidos com diferentes concentrações de quitosana (2%, 3% e 4%) foram avaliados quanto à permeabilidade ao vapor de água, solubilidade e espessura. A formulação com 4% demonstrou maior resistência em ambientes úmidos, indicando seu potencial para aumentar a vida útil dos alimentos embalados e substituir plásticos convencionais, promovendo alternativas sustentáveis e alinhadas com a bioeconomia e a economia circular.

CAPÍTULO 8 – DESENVOLVIMENTO DE PÃO DE FORMA ENRIQUECIDO COM FARINHA DE INSETOS COMSTÍVEIS: PARÂMETROS DE QUALIDADE - este estudo avaliou a incorporação de farinha de grilo na formulação de pães de forma, analisando qualidade nutricional e físico-química. Foram desenvolvidas quatro formulações com 0%, 5%, 10% e 15% de substituição da farinha de trigo. Os resultados mostraram aumento significativo no teor de proteínas com a adição da farinha de grilo, enquanto a umidade variou sem um padrão definido.

Ao longo desta obra, é evidente o compromisso desses pesquisadores em atingir metas essenciais que contribuem para a segurança alimentar e a sustentabilidade, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como erradicação da fome, promoção da saúde, bem-estar e práticas sustentáveis na agricultura e produção de alimentos. Reconhecemos, assim como a Organização das Nações Unidas e a FAO, que a tecnologia é uma parceira essencial na promoção da segurança alimentar global, incentivando inovações e pesquisas que possam gerar impactos positivos.

Este livro serve como uma fonte inestimável de conhecimento para pesquisadores, estudantes e profissionais do setor, oferecendo um panorama das técnicas de processamento de alimentos mais avançadas e eficazes da atualidade. Nosso desejo é que essa coletânea inspire novos estudos e impulsione o progresso na área de alimentos.

Com grande satisfação, apresento esta obra, fruto de um trabalho contínuo em 2024, que será disponibilizada gratuitamente para apoiar a disseminação de conhecimento e estimular a pesquisa e a inovação no processamento de alimentos em escala global. Espero que este livro possa capacitar seus leitores e servir como catalisador para o desenvolvimento de tecnologias e práticas sustentáveis, visando não apenas a segurança alimentar, mas também o bem-estar da população mundial.

Marcelo Bregagnoli
Diretor de Desenvolvimento da Rede Federal da Educação Profissional, Científica e Tecnológica – BRASIL

Prefácio

A produção de alimentos enfrenta desafios sem precedentes, especialmente diante da necessidade de alimentar uma população crescente, tanto quantitativa quanto nutricionalmente, em nível nacional e global, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os impactos ambientais decorrentes dessa produção. Esse cenário tem como horizonte os objetivos estabelecidos para 2025, com ênfase na COP 30 (30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima), que será sediada em Belém, PA, Brasil.

Esse contexto reforça a urgência de ações efetivas na agropecuária, protegendo-a contra as mudanças climáticas e promovendo a transformação dos sistemas alimentares em modelos mais sustentáveis. O presente livro, Inovação no Processamento de Alimentos de Origem Animal, apresenta inovações que aliam ciência, tecnologia e sustentabilidade, promovendo o reaproveitamento de subprodutos e a valorização de recursos naturais no setor alimentício.

Ao longo dos capítulos, os autores destacam o uso de matérias-primas, animal e vegetal, e resíduos agroindustriais, com foco na redução do desperdício e na criação de produtos alimentícios mais funcionais e sustentáveis. Entre as matérias-primas abordadas, destacam-se: Alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), Romã (*Punica granatum* L.) e Uva (*Vitis vinífera* L.): Com seus antioxidantes naturais extraídos dessas plantas, substituem conservantes artificiais em hambúrgueres de frango, atendendo à demanda por alimentos mais naturais e seguros. Caju (*Anacardium occidentale* L.): O bagaço de caju, um subproduto rico em fibras e antioxidantes, é incorporado em embutidos de carne caprina, criando alimentos com alta qualidade nutricional e menor impacto ambiental. Camarão (*Litopenaeus vannamei Boone*, 1931): Resíduos de camarão são utilizados para a produção de farinha proteica e quitosana, um biopolímero que pode ser usado no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, substituindo o plástico convencional. Cabra (*Capra aegagrus hircus* L., 1958): A carne de cabra, combinada com o bagaço de caju, gera alimentos ricos em proteínas, fibras e antioxidantes, evidenciando a integração sustentável entre a produção animal e vegetal. Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus* L., 1958): A pele da tilápia é transformada em farinha rica em proteínas, enquanto o óleo extraído de suas cabeças é encapsulado, com aplicações nutracêuticas.

As soluções tecnológicas descritas neste livro, como congelamento, encapsulação e ultrassonicação em ultra-baixas temperaturas, demonstram como a inovação pode potencializar o aproveitamento de subprodutos e reduzir os impactos ambientais, alinhando-se às metas globais estabelecidas pela ONU. Cada capítulo evidencia como a ciência aplicada pode contribuir significativamente para a mitigação das mudanças climáticas, promovendo sistemas alimentares resilientes e sustentáveis.

Essas pesquisas são de extrema importância para o Nordeste, uma região rica em biodiversidade e com grande potencial agroindustrial, pois promovem o aproveitamento sustentável de recursos locais, como o caju, o camarão e a carne caprina, gerando alimentos inovadores e de alto valor agregado, além de contribuir para a redução do desperdício e o fortalecimento da bioeconomia regional.

Que esta obra inspire estudantes, pesquisadores e demais profissionais a explorar novas possibilidades no processamento de alimentos, integrando sustentabilidade e inovação como pilares essenciais para o futuro do setor. Embora a realização da COP 30 aconteça já no próximo ano, o evento no Brasil simboliza uma grande oportunidade para integrar a agrobiodiversidade e a segurança alimentar ao meio ambiente, promovendo sua preservação. Este livro serve como um marco importante na construção desse caminho.

Renato Ferraz de Arruda Veiga
Engenheiro Agrônomo – Secretário da Rede Sudeste de Recursos Genéticos e Diretor Administrativo da Fundação de Apoio à Pesquisa Científica

SUMÁRIO

Capítulo 01 ..... **3**

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.01 ..... **3**

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, FIRMEZA E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE MACARRÃO TIPO ESPAGUETE ELABORADO COM FARINHA DA PELE DE TILÁPIA-DO-NILO **3**

Capítulo 02 ..... **17**

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.02 ..... **17**

IMPACTO DE ANTIOXIDANTES NATURAIS NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA E PROPRIEDADES FÍSICAS DE HAMBURGUER DE FRANGO **17**

Capítulo 03 ..... **31**

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.03 ..... **31**

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ULTRASONICAÇÃO NO TEOR DE PROTEÍNAS E PARÂMETROS FÍSICOS DA FARINHA DOS RESÍDUOS DE CAMARÃO **31**

Capítulo 04 ..... **44**

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.04 ..... **44**

AVALIAÇAO DA QUALIDADE DE CAMARÕES ARMAZENADOS SOB ULTRABAIXAS TEMPERATURAS DE CONGELAMENTO **44**

Capítulo 05 ..... **56**

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.05 ..... **56**

EMBUTIDOS PREPARADOS COM BLENDS DE CARNE CAPRINA E BAGAÇO DE CAJU: COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA **56**

Capítulo 06 ..... **67**

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.06 ..... **67**

EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE CABEÇAS DE TILÁPIA E SUA UTILIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MICROESFERAS DE ALGINATO POR ELETROPULVERIZAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUIMICA E EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAMENTO **67**

Capítulo 07 79
DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.07 79
PRODUÇÃO DE QUITOSANA A PARTIR DE CASCAS DE CAMARÃO E SUA APLICAÇÃO PARA EMBALAGENS DE ALIMENTOS 79

Capítulo 08 92
DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.08 92
DESENVOLVIMENTOS DE PÃO DE FORMA ENRIQUECIDO COM FARINHA DE INSETOS COMESTIVEIS: PARÂMETROS DE QUALIDADE92

Capítulo 01

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.01

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, FIRMEZA E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE MACARRÃO TIPO ESPAGUETE ELABORADO COM FARINHA DA PELE DE TILÁPIA-DO-NILO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Fábio Gomes Teles – (ORCID: 0009-0007-7552-3147)
Juliana Maria Aderaldo Vidal Campello – (ORCID: 0000-0003-3878-8393)
Raquel Alves de Luna Dias – (ORCID: 0009- 0007-4807-8463)
Priscylla Palmeira Diniz Rosendo – (ORCID: 0000-0001-7261-8553)

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse por alimentos mais saudáveis, nutritivos e sustentáveis tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos alimentícios que atendam tanto às exigências dos consumidores quanto às necessidades ambientais. (Bigliardi & Filippelli, 2022). Um dos principais desafios da indústria alimentícia contemporânea é a busca por soluções que minimizem o desperdício e aproveitem subprodutos que, de outra forma, seriam descartados, contribuindo para a redução dos impactos ambientais (Kovács et al., 2022). Nesse contexto, a utilização de subprodutos da indústria pesqueira, como a pele de peixes, surge como uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade, agregar valor econômico e aumentar a oferta de alimentos nutricionalmente enriquecidos (Hwang et al., 2023).

Estudos anteriores conduzidos por Casetta et al. (2022) e Souza et al. (2021) avaliaram a inclusão de farinha elaborada a partir de carcaças cozidas de tilápia do Nilo para a produção de novos alimentos funcionais. Destacando o potencial dos resíduos pesqueiro em proporcionar excelente valor nutritivo, devido ao seu alto teor de proteína e cinzas.

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma das espécies mais cultivadas em todo o mundo devido à sua alta adaptabilidade, rápido crescimento e baixo custo de produção (Chen et al., 2024). O aumento na produção de tilápia

está diretamente relacionado à geração de grandes quantidades de resíduos, incluindo pele, vísceras, ossos e cabeças, que podem representar até 50% do peso total do peixe processado (Gaviria et al., 2021).

A pele de tilápia, em particular, tem despertado interesse por ser uma fonte rica de colágeno, proteínas, ácidos graxos essenciais e minerais. Esses nutrientes, muitas vezes desperdiçados, possuem elevado potencial para o desenvolvimento de novos ingredientes alimentares com valor agregado (Ren et al., 2020). Entre as alternativas viáveis para o aproveitamento desses resíduos está a produção de farinha a partir da pele da tilápia, que pode ser utilizada na formulação de alimentos enriquecidos (Meng et al., 2021; Hwang et al., 2023).

O macarrão, um alimento antigo e popular em muitas culturas, é composto por uma mistura de componentes como proteína, amido e fibra alimentar. Este alimento básico prático e nutritivo é apreciado globalmente, especialmente em vários países asiáticos. Tradicionalmente, o macarrão era preparado com farinha de trigo e arroz como ingredientes principais (Ahmed et al., 2024). Hoje em dia, os consumidores modernos estão mais preocupados com as características do macarrão, como nutrição, sabor e qualidade (Zaman et al., 2024).

A introdução de farinha de pele de tilápia na formulação de massas alimentícias pode oferecer uma alternativa inovadora tanto do ponto de vista nutricional quanto funcional, agregando proteínas e outros nutrientes, sem comprometer as características sensoriais do produto. Além disso, a incorporação de ingredientes de origem animal em produtos tradicionalmente à base de cereais pode ampliar o espectro de alternativas alimentares para consumidores em busca de dietas mais equilibradas e ricas em proteínas (Monteiro et al., 2016).

Adicionalmente, o uso de subprodutos como a pele da tilápia no desenvolvimento de alimentos está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente no que tange à promoção de uma produção e consumo sustentáveis (ODS 12). A redução de resíduos alimentares e o aproveitamento de recursos renováveis são aspectos essenciais para mitigar os impactos ambientais da cadeia produtiva e promover um ciclo de produção mais eficiente e responsável (Read et al., 2020). Nesse contexto, o presente estudo

tem como objetivo avaliar o impacto da substituição de farinha de trigo por farinha da pele de tilápia do Nilo na elaboração e composição nutricional de macarrão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo das amostras

A pele congelada da tilápia-do-Nilo foi adquirida de uma indústria local de filés de peixe. Para preparar a pele antes da etapa de secagem, as peles congeladas foram descongeladas em água corrente e posteriormente descalcificadas. As amostras foram limpas e cortadas em tiras uniformes com uma espessura média de 3,17 mm, para garantir um processamento consistente.

Obtenção da farinha

Para obtenção da farinha, uma estufa com circulação forçada de ar ajustada na temperatura de 65 ºC e velocidade de 1,5 m/s^2 (condições definidas com base em testes preliminares) foi usada para conduzir o processo de secagem. Em triplicata, foram usados aproximadamente 20 ± 2g de pele de peixe. Após atingir o equilíbrio de massa, as amostras foram trituradas em um processador de alimentos e armazenadas em embalagens laminadas flexíveis até uso posterior.

Desenvolvimento do macarrão

Os macarrões tipo espaguete foram elaborados conforme descrito anteriormente por Zaman et al. (2024). Uma amostra de controle (sem farinha de peixe) foi preparada apenas com farinha de trigo, enquanto 5, 10, 15 e 20% de farinha de peixe foram usados para substituir a farinha de trigo nas formulações desenvolvidas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulações e porcentagens de farinha de trigo e de peixe utilizadas para preparo do macarrão tipo espaguete.

Formulação	Farinha de trigo (%)	Farinha de peixe (%)	Sal (g)
M1	100	0	2
M2	95	5	2
M3	90	10	2
M4	85	15	2
M5	80	20	2

A massa foi feita à mão combinando todos os componentes e água (40 mL de água por 100 g) por 5 minutos. Para evitar que a água evaporasse e para garantir que a massa estivesse suficientemente hidratada, ela foi embrulhada em plástico por 30 minutos. Uma máquina de macarrão tradicional foi usada para enrolar a massa em uma folha fina e cortá-la em macarrões de 3 mm de largura. A massa obtida foi submetida a secagem natural e, logo após, embalada em sacos plásticos de polietileno, selados e mantidos em um dessecador até o momento do cozimento e realização das análises centesimais, de firmeza e microbiológica.

Determinação do teor de água e cinzas

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa a 105 °C até peso constante, conforme descrito pela AOAC (2016). Aproximadamente 2 g de cada amostra foram pesados em cadinhos previamente tarados e secos. As amostras foram secas até atingir peso constante e o teor de água foi calculado pela diferença de massa antes e após a secagem.

A quantificação das cinzas foi realizada utilizando o método de incineração em mufla a 550 °C, também de acordo com a AOAC (2016). Aproximadamente 2 g de amostra foram pesados em cadinhos previamente calcinados e pesados. As amostras foram aquecidas até que toda a matéria orgânica fosse queimada, e o resíduo inorgânico foi considerado o teor de cinzas.

Determinação do teor de lipídeos e proteínas

O teor de lipídeos foi determinado pelo método de Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente. Aproximadamente 3 g de amostra foram submetidos à extração por um período de 6 horas. Após a extração, o solvente foi evaporado e o resíduo de lipídeos foi pesado (AOAC, 2016). A determinação do teor de proteínas foi realizada pelo método de Kjeldahl, conforme descrito pela AOAC (2016). Aproximadamente 1 g de amostra foi digerida com ácido sulfúrico concentrado e catalisadores, seguida pela destilação do nitrogênio liberado. O nitrogênio total foi convertido em proteína bruta usando o fator de conversão 6,25.

Determinação do teor de carboidratos

O teor de carboidratos foi calculado por diferença, conforme a Equação 1:

$$\text{Carboidratos (\%)} = (\%\text{água} + \%\text{cinzas} + \%\text{lipídeos} + \%\text{proteínas}) \quad (1)$$

Determinação da firmeza

A firmeza das formulações desenvolvidas foi avaliada através de texturômetro universal TA.XTplus Texture Analyser, do fabricante Stable Micro Systems, equipado com o software Exponent Stable Micro Systems. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Análise microbiológica

As massas elaboradas foram avaliadas quanto à qualidade microbiológica por meio das análises de bolores e leveduras e de *Salmonella* spp., seguindo a Resolução-RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2001).

Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Médias e desvios padrão foram calculados, e as diferenças estatísticas foram analisadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey software Statistic 7.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados dos teores de água, cinzas e lipídeos das formulações de macarrão elaboradas com diferentes concentrações de farinha de peixe.

Tabela 2 – Teores de água, cinzas e lipídeos do macarrão elaborado com farinha de peixe.

Formulação	Teor de água (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de lipídeos (%)
M1	10,35 ± 0,53c	2,17 ± 0,10e	0,92 ± 0,15d
M2	11,50 ± 0,29b	4,25 ± 0,21d	1,06 ± 0,20d
M3	10,80 ± 0,31c	5,55 ± 0,34c	1,70 ± 0,13c
M4	12,15 ± 0,14a	6,82 ± 0,27b	2,29 ± 0,09b
M5	10,30 ± 0,22c	7,97 ± 0,10a	2,85 ± 0,11a

Legenda: M1: macarrão elaborado apenas com farinha de trigo (controle); M2: macarrão elaborado com 5% de farinha de peixe; M3: macarrão elaborado com 10% de farinha de peixe; M4: macarrão elaborado com 15% de farinha de peixe; M5: macarrão elaborado com 20% de farinha de peixe. Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações.

O teor de água das formulações variou de 10,30% a 12,15%, com a formulação M4 (15% de farinha de peixe) apresentando o maior valor (12,15%), e as demais formulações (M1, M3 e M5) apresentando teores estatisticamente similares. O aumento do teor de água em M4 pode estar relacionado à capacidade de retenção de umidade da farinha de peixe. Curiosamente, a formulação M5, que contém 20% de farinha de peixe, apresentou um teor de água comparável ao do controle (M1), sugerindo que em níveis mais elevados, a farinha de peixe não impactou significativamente a retenção de umidade. Isso pode ser explicado pela interação entre os componentes da farinha de peixe e da farinha de trigo, que pode limitar a absorção de água a partir de certa concentração (Greer & Stewart, 1959).

O teor de cinzas aumentou progressivamente e significativamente ($p<0,05$) com o aumento da concentração de farinha de peixe, variando de 2,17% na formulação controle (M1) para 7,97% na formulação com 20% de

farinha de peixe (M5). O teor de cinzas representa o conteúdo de minerais no produto, e o aumento observado reflete a maior contribuição mineral da farinha de peixe, que é rica em minerais como cálcio, fósforo e magnésio. Esse aumento no teor de minerais pode ser benéfico para a saúde, especialmente em relação à fortificação nutricional do macarrão, tornando-o uma fonte interessante de micronutrientes essenciais (Koli et al., 2022). O maior teor de cinzas nas formulações com maior concentração de farinha de peixe sugere que esse ingrediente contribui significativamente para o aumento do valor nutricional mineral do produto.

O teor de lipídeos nas formulações também aumentou de forma significativa com a adição de farinha de peixe, variando de 0,92% no controle (M1) até 2,85% na formulação com 20% de farinha de peixe (M5). Esse aumento é esperado, já que a farinha de peixe é rica em ácidos graxos, incluindo ômega-3, que são lipídeos benéficos à saúde cardiovascular e ao metabolismo. O aumento progressivo do teor de lipídeos nas formulações M2 a M5 indica que a farinha de peixe pode contribuir para a melhoria do perfil lipídico do macarrão, agregando valor nutricional ao produto.

A Tabela 3 apresenta os teores de proteínas e carboidratos do macarrão elaborado com diferentes concentrações de farinha de peixe, destacando o impacto desse ingrediente na composição nutricional do produto.

Tabela 3 – Teores de proteínas e de carboidratos do macarrão elaborado com farinha de peixe.

Formulação	Teor de proteínas (%)	Teor de carboidratos (%)
M1	8,41 ± 0,29e	78,15 ± 0,72a
M2	13,77 ± 0,55d	69,42 ± 0,39b
M3	15,95 ± 0,43c	66,00 ± 0,91c
M4	18,62 ± 0,80b	60,12 ± 0,74d
M5	25,70 ± 1,31a	53,18 ±0,25e

Legenda: M1: macarrão elaborado apenas com farinha de trigo (controle); M2: macarrão elaborado com 5% de farinha de peixe; M3: macarrão elaborado com 10% de farinha de peixe; M4: macarrão elaborado com 15% de farinha de peixe; M5: macarrão elaborado com 20% de farinha de peixe. Letras iguais na mesma

coluna indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações.

O teor de proteínas aumentou significativamente com o aumento da concentração de farinha de peixe nas formulações, variando de 8,41% na formulação controle (M1) até 25,70% na formulação M5, que contém 20% de farinha de peixe. Esse aumento é esperado, já que a farinha de peixe é uma fonte rica em proteínas de alta qualidade, contendo todos os aminoácidos essenciais, o que faz dela uma excelente opção para enriquecer o conteúdo proteico de produtos alimentícios. O aumento mais acentuado do teor de proteínas nas formulações M4 (18,62%) e M5 (25,70%) destaca o potencial da farinha de peixe em transformar o macarrão em um alimento proteico funcional, o que pode agregar valor ao produto, tornando-o mais competitivo no mercado de alimentos enriquecidos.

O teor de carboidratos mostrou uma diminuição inversamente proporcional ao aumento da concentração de farinha de peixe, variando de 78,15% na formulação controle (M1) para 53,18% na formulação M5, com 20% de farinha de peixe. A redução do teor de carboidratos é esperada, visto que a farinha de peixe substitui parcialmente a farinha de trigo, que é rica em amido (principal fonte de carboidratos no macarrão).

Essa redução nos carboidratos pode ser interessante do ponto de vista nutricional, especialmente para consumidores que desejam reduzir o consumo de carboidratos em suas dietas, como pessoas com diabetes ou aquelas que seguem dietas de baixo carboidrato. Além disso, a diminuição do teor de carboidratos em combinação com o aumento no teor de proteínas pode modificar o perfil glicêmico do produto, tornando-o mais favorável para o controle de açúcar no sangue (Gannon & Nuttall, 2006).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para o parâmetro de firmeza dos macarrões desenvolvidos.

Tabela 4 – Firmeza instrumental do macarrão elaborado com farinha de peixe.

Formulação	Firmeza (N)
M1	2,80 ± 0,25a
M2	2,56 ± 0,40a

M3	1,61 ± 0,32b
M4	1,19 ± 0,16b
M5	0,79 ± 0,20c

Legenda: M1: macarrão elaborado apenas com farinha de trigo (controle); M2: macarrão elaborado com 5% de farinha de peixe; M3: macarrão elaborado com 10% de farinha de peixe; M4: macarrão elaborado com 15% de farinha de peixe; M5: macarrão elaborado com 20% de farinha de peixe. Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações.

A formulação controle (M1), elaborada apenas com farinha de trigo, apresentou o maior valor de firmeza (2,80 N), o que reflete uma estrutura mais compacta e coesa, típica de massas à base de glúten. A presença de glúten na farinha de trigo forma uma rede proteica durante o processo de mistura e cozimento, conferindo maior elasticidade e resistência à massa (Shewry et al., 2002). Com a substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de peixe, observou-se uma tendência de redução da firmeza. A formulação M2, com 5% de farinha de peixe, apresentou firmeza similar à do controle (2,56 N), sem diferença estatisticamente significativa ($p>0,05$), o que indica que a substituição em baixos níveis ainda preserva parte da estrutura textural original do macarrão.

No entanto, a partir da formulação M3 (10% de farinha de peixe), a firmeza começou a diminuir significativamente ($p<0,05$), atingindo 1,61 N. Essa redução se torna ainda mais acentuada nas formulações M4 (15%) e M5 (20%), que apresentaram firmezas de 1,19 N e 0,79 N, respectivamente. A menor firmeza observada nas formulações com maior teor de farinha de peixe pode ser atribuída à redução na quantidade de glúten disponível, já que a farinha de peixe não contribui para a formação da rede proteica. Isso resulta em uma massa menos coesa e, consequentemente, menos firme (Ooms & Delcour, 2019).

A Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros microbiológicos avaliados no macarrão elaborado com diferentes concentrações de farinha de peixe. Os testes foram realizados para verificar a presença de bolores e leveduras (UFC/g) e a presença de *Salmonella spp.*.

Tabela 5 – Parâmetros microbiológicos avaliados no macarrão elaborado com farinha de peixe.

Formulação	Bolores e leveduras (UFC/g)	*Salmonella* spp.
M1	<1	Ausência
M2	<1	Ausência
M3	<1	Ausência
M4	<1	Ausência
M5	<1	Ausência

Legenda: M1: macarrão elaborado apenas com farinha de trigo (controle); M2: macarrão elaborado com 5% de farinha de peixe; M3: macarrão elaborado com 10% de farinha de peixe; M4: macarrão elaborado com 15% de farinha de peixe; M5: macarrão elaborado com 20% de farinha de peixe. Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações.

Os resultados mostram que todas as formulações (M1 a M5), incluindo a formulação controle (M1, elaborada apenas com farinha de trigo), apresentaram contagem de bolores e leveduras inferior a 1 UFC/g, o que indica uma ausência praticamente total desses microrganismos. Além disso, a presença de *Salmonella spp.*, que é um patógeno de grande relevância para a segurança alimentar, foi ausente em todas as amostras. Esses achados são positivos, uma vez que a farinha de peixe, por ser um ingrediente de origem animal, poderia representar um risco maior para o crescimento microbiano, especialmente se o produto não for devidamente processado e armazenado. A ausência de contaminação por bolores, leveduras e *Salmonella* demonstra que os processos de fabricação e as condições de armazenamento do macarrão foram adequados para prevenir a proliferação de microrganismos, garantindo a segurança microbiológica do produto.

A incorporação de farinha de peixe não parece ter afetado a estabilidade microbiológica das formulações, já que todas as amostras, independentemente da porcentagem de farinha de peixe utilizada (5%, 10%, 15%, 20%), apresentaram o mesmo perfil microbiológico que o controle. Isso sugere que o processamento térmico e as condições de manipulação foram suficientes para

eliminar ou inibir o crescimento de microrganismos prejudiciais, mantendo o macarrão dentro dos padrões de segurança exigidos para o consumo humano.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a incorporação de farinha de peixe nas formulações de macarrão tipo espaguete não apenas melhorou a composição nutricional, aumentando os teores de proteínas, lipídeos e minerais e reduzindo o teor de carboidratos, como também influenciou significativamente a textura do produto, especialmente em relação à firmeza. Além disso, as análises microbiológicas confirmaram a segurança do produto, com ausência de *Salmonella* spp. e baixas contagens de bolores e leveduras, assegurando sua qualidade microbiológica. Esses resultados destacam o grande potencial da farinha de peixe no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, não só pela melhoria nutricional, mas também pela garantia de segurança e qualidade, possibilitando a criação de alimentos funcionais.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, Z., Chen, J., Tufail, T., Latif, A., Arif, M., Ullah, R., ... & Xu, B. (2023). Fundamental opportunities and challenges of nutraceutical noodles enriched with agri-food by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 104299.

ANVISA (2001). AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Brasília, DF: ANVISA, 2001.

AOAC (2016). Métodos Oficiais de Análise (17ª ed.). The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

Bigliardi, B., & Filippelli, S. (2022). A review of the literature on innovation in the agrofood industry: sustainability, smartness and health. *European Journal of Innovation Management*, *25*(6), 589-611.

Casetta, J., Oliveira, G. G., Granzoto, G. H., de Oliveira, E. R. N., Bronzi, R. D., Pereira, M. F. G., & DE SOUZA, M. L. R. (2022). Avaliação nutricional de pão caseiro enriquecido com farinha a partir de carcaça de tilápia elaborada por diferentes metodologias. *Brazilian Journal of Development*, *8*(4), 30011-30026.

Chen, M., Li, Q., Yang, L., Lin, W., Qin, Z., Liang, S., ... & Xie, X. (2024). Effects of diet containing germinated faba bean (Vicia faba L.) on the intestinal health and gut microbial communities of Nile tilapia (Oreochromis niloticus). *Aquaculture Reports*, *36*, 102053.

Gannon, M., & Nuttall, F. (2006). Control of blood glucose in type 2 diabetes without weight loss by modification of diet composition. *Nutrition & Metabolism*, 3, 16 - 16.

Gaviria, Y., Echavarría, J., & Montoya, J. (2021). Evaluation of the environmental impact of dry chemical silage obtained from the viscera of red tilapia (Oreochromis spp.) using ecological footprint methodology. *Heliyon*, 7.

Greer, E., & Stewart, B. (1959). The water absorption of wheat flour: Relative effects of protein and starch. Journal of the Science of Food and Agriculture, 10, 248-252.

Hwang, S., Park, H., & Lee, B. (2023). Collagen Hydrolysate from the Scales of Mozambique Tilapia (Oreochromis mossambicus) Improve Hair and Skin Health by Alleviating Oxidative Stress and Inflammation and Promoting Hair Growth and Extracellular Matrix Factors. *Marine Drugs*, 21.

Koli, D., Rudra, S., Bhowmik, A., & Pabbi, S. (2022). Nutritional, Functional, Textural and Sensory Evaluation of Spirulina Enriched Green Pasta: A Potential Dietary and Health Supplement. *Foods*, 11.

Kovács, I., Balázsné Lendvai, M., & Beke, J. (2022). The importance of food attributes and motivational factors for purchasing local food products: Segmentation of young local food consumers in Hungary. *Sustainability*, *14*(6), 3224.

Meng, K., Chen, L., Xia, G., & Shen, X. (2021). Effects of zinc sulfate and zinc lactate on the properties of tilapia (Oreochromis Niloticus) skin collagen peptide chelate zinc.. *Food chemistry*, 347, 129043.

Monteiro, M., Márs ico, E., Soares, M., Magalhães, A., Canto, A., Costa-Lima, B., Alvares, T., & Conte, C. (2016). Nutritional Profile and Chemical Stability of Pasta Fortified with Tilapia (Oreochromis niloticus) Flour. *PLoS ONE*, 11.

Ooms, N., & Delcour, J. A. (2019). How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making. *Current opinion in food science*, *25*, 88-97.

Read, Q., Brown, S., Cuéllar, A., Finn, S., Gephart, J., Marston, L., Meyer, E., Weitz, K., & Muth, M. (2020). Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain.. *The Science of the total environment*, 712, 136255

Ren, Y., Wu, H., Chi, Y., Deng, R., & He, Q. (2020). Structural characterization, erythrocyte protection, and antifatigue effect of antioxidant collagen peptides from tilapia (Oreochromis nilotica L.) skin.. *Food & function*.

Shewry, P., Halford, N., Belton, P., & Tatham, A. (2002). The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain.. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 357 1418, 133-42.

Souza, M. L. R., Chambó, A. P. S., de Souza, H. B., Oliveira, G. G., Matiucci, M. A., Sbaraini, S. C., ... & dos Reis Goes, E. S. (2021). Diferentes níveis de inclusão de farinha elaborada a partir de carcaças cozidas de tilápia do Nilo em pão caseiro. *Research, Society and Development*, *10*(12), e389101220208-e389101220208.

Zaman, S., Rahman, F., Alam, M., Islam, M. N., Parvin, R., Lina, N. N., & Zahid, M. A. (2024). Evaluation of physicochemical properties of Rohu fish noodles. *Food Chemistry Advances*, *4*, 100732.

Capítulo 02

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.02

IMPACTO DE ANTIOXIDANTES NATURAIS NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA E PROPRIEDADES FÍSICAS DE HAMBURGUER DE FRANGO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Maria Tereza Sarmento de Fonseca – (ORCID: 0009-0003-8356-9461)
Anna Emanuelle Soares Tomé – (ORCID: 0000-0002-2332-3369)
Priscylla Palmeira Diniz Rosendo – (ORCID: 0000-0001-7261-8553)
Raquel Alves de Luna Dias – (ORCID: 0009- 0007-4807-8463)

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos mais saudáveis e de alta qualidade tem impulsionado a indústria alimentícia a buscar alternativas que substituam aditivos sintéticos por ingredientes naturais (Lee et al., 2023). Esse movimento é especialmente evidente em produtos cárneos processados, como os hambúrgueres, devido à preocupação dos consumidores com os potenciais riscos à saúde associados ao uso prolongado de conservantes e antioxidantes artificiais (Sbardelotto et al., 2022).

Em particular, a oxidação lipídica é um dos principais desafios para a estabilidade de produtos cárneos, afetando não apenas a qualidade nutricional, mas também suas características sensoriais, como cor, sabor e textura. Essa deterioração pode resultar na produção de compostos indesejados, como radicais livres e peróxidos, que comprometem a segurança do alimento e diminuem sua vida útil (Domínguez et al., 2019). Diante disso, a busca por antioxidantes naturais capazes de inibir ou retardar esse processo oxidativo tem ganhado destaque na ciência de alimentos.

Antioxidantes naturais, além de serem percebidos como mais seguros e saudáveis pelos consumidores, possuem propriedades bioativas que podem agregar valor funcional aos produtos (Ngo et al., 2011). Extratos vegetais ricos em compostos fenólicos, flavonoides e ácidos orgânicos têm demonstrado

eficácia na estabilização de lipídeos, sem os efeitos colaterais frequentemente associados aos antioxidantes sintéticos (Dabulici et al., 2020). Entre esses compostos naturais, o extrato de alecrim, a semente de romã e a casca de uva têm emergido como promissores. O alecrim (*Rosmarinus officinalis*), por exemplo, é amplamente reconhecido por suas potentes propriedades antioxidantes devido à presença de ácido carnósico, carnosol e outros compostos fenólicos. Esses compostos atuam como sequestradores de radicais livres, prevenindo a degradação lipídica e, ao mesmo tempo, melhorando a estabilidade sensorial do produto (Hcini et al., 2021).

A semente de romã (*Punica granatum*), por sua vez, contém ácidos graxos essenciais e ácido elágico, um polifenol com atividade antioxidante e anti-inflamatória bem documentada (Alexova et al., 2023). Estudos anteriores conduzido por Devatkal et al. (2010) sugere que a adição de extratos de romã em produtos cárneos processados pode reduzir significativamente a oxidação lipídica e, ao mesmo tempo, aumentar a estabilidade oxidativa do produto durante o armazenamento.

Além disso, a casca de uva (*Vitis vinifera*), frequentemente descartada durante a produção de vinhos e sucos, é rica em resveratrol e outros compostos fenólicos que possuem fortes propriedades antioxidantes e antimicrobianas (Peixoto et al., 2018). A utilização desses antioxidantes naturais em hambúrgueres de frango apresenta uma oportunidade promissora para a indústria de alimentos não só no sentido de aumentar a estabilidade e a vida útil do produto, mas também de atender à demanda crescente por alimentos mais naturais e funcionais.

O frango, uma das carnes mais consumidas no mundo, é particularmente suscetível à oxidação lipídica devido à sua alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados, tornando essencial a implementação de estratégias antioxidantes eficazes para preservar suas propriedades sensoriais e nutricionais (Selani et al., 2011). Nesse contexto, o uso de antioxidantes naturais oferece uma alternativa eficaz e segura aos antioxidantes sintéticos comumente usados, como o BHT (hidroxianisol butilado) e o BHA (hidroxibutiltolueno), cuja segurança tem sido questionada por estudos recentes (Naveena et al., 2008; Nadeem et al., 2022).

Além do efeito antioxidante, os extratos vegetais podem influenciar diretamente as propriedades físicas dos hambúrgueres de frango, como a retenção de água, a capacidade de emulsificação e a textura. Essas propriedades são essenciais para manter a qualidade sensorial do produto, especialmente em relação à suculência e firmeza, que são parâmetros críticos para a aceitação do consumidor (Ibrahim et al., 2022). Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito de antioxidantes naturais – especificamente extratos de alecrim, semente de romã e casca de uva – na oxidação lipídica e nas propriedades físicas de hambúrgueres de frango.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo das amostras

Folhas de alecrim, romãs maduras e uva foram adquiridas no comércio local. Incialmente, as sementes de romã foram obtidas a partir da polpa da romã, utilizando a extração manual. As frutas maduras foram descascadas, e as sementes foram separadas manualmente e secas para posterior uso. As cascas de uvas foram obtidas por despolpamento manual.

Após a seleção e preparo, todas as amostras foram submetidas separadamente ao processo de secagem em estufa com circulação de ar forçada a 40 °C por 48 horas. Posteriormente, as amostras secas foram trituradas em um moinho até obtenção de um pó homogêneo com granulometria inferior a 1 mm.

Protocolo de extração

O processo de extração dos compostos antioxidantes naturais de alecrim, semente de romã e casca de uva foi realizado utilizando uma solução hidroetanólica a 70% (v/v), em uma proporção de 1:10 (m/v) de sólido para solvente. As amostras previamente secas e trituradas foram misturadas com o solvente e submetidas à agitação constante em agitador orbital a 150 rpm, por 2 horas, à temperatura ambiente (~25 °C).

Após o período de agitação, as misturas foram filtradas com papel de filtro para remoção do material sólido, obtendo-se um extrato líquido rico em compostos fenólicos. Em seguida, os extratos foram concentrados em um

evaporador rotativo a 40 °C sob pressão reduzida, com o objetivo de eliminar o solvente. O concentrado obtido foi liofilizado (-50 °C/72 h) para garantir a preservação dos compostos antioxidantes em forma de pó seco. Os extratos liofilizados foram armazenados em frascos de vidro âmbar hermeticamente fechados e mantidos sob refrigeração a 4 °C até sua utilização posterior.

Determinação de compostos fenólicos totais nos extratos

Para compostos fenólicos totais (TPC), 0,5 g de amostra foi homogeneizada em 5 mL de etanol, agitada em vórtice por 1 min e então centrifugada a 3000 rpm por 2 min. A solução foi diluída adicionando 1 mL de sobrenadante a 3 mL de água destilada e 1 mL desta diluição foi adicionado a 1 mL de reagente de Folin-Ciocalteau (0,2 N). Após 3 min, 1 mL de solução de carbonato de sódio (4% p/v) foi adicionado e a mistura foi deixada em repouso no escuro por 2 h a 25 °C. As leituras de absorbância foram realizadas a 765 nm em um espectrofotômetro UV/Visível. O conteúdo fenólico foi calculado com base em uma curva padrão de ácido gálico e foi inicialmente expresso como mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por g (Oliveira et al., 2023).

Determinação da atividade antioxidante dos extratos

A atividade antioxidante foi determinada pelo método de sequestro de radicais livres DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), segundo Brand-Williams et al. (1995) com algumas modificações. Portanto, 0,05 mL dos extratos em metanol obtidos de cada amostra foram retirados e 0,25 mL de solução metanólica de DPPH (0,05 M) foi adicionado. Usando um espectrofotômetro UV/Visível, as leituras de diminuição da absorbância em 515 nm foram realizadas tanto no tempo inicial quanto após 15 min. Os resultados foram expressos em μmol Trolox/g.

Desenvolvimento do hambúrguer

O processo de desenvolvimento dos hambúrgueres de frango com adição de antioxidantes naturais foi realizado de forma padronizada para garantir a qualidade das formulações e permitir uma comparação adequada entre os tratamentos. Para a obtenção da matéria-prima, peitos de frango frescos foram desossados manualmente, removendo-se pele e tecidos conectivos, e a carne

foi armazenada a 4 °C até o momento do processamento. Além da carne, foram utilizados ingredientes complementares, conforme apresentado na Tabela 1.

Quatro formulações diferentes de hambúrgueres foram preparadas: uma formulação controle (sem antioxidante) e três formulações contendo antioxidantes naturais, sendo eles: 1% de extrato de alecrim, 1% de extrato de semente de romã, e 1% de extrato de casca de uva.

Tabela 1 – Ingredientes adicionados a formulação do hamburguer elaborado com carne de frango.

Ingredientes	Quantidade
Sal	1,5%
Alho em pó	0,5%
Cebola em pó	0,5%
Amido de milho	2%
Antioxidante natural	1%

O preparo iniciou-se com a trituração da carne de frango em moedor industrial com discos de 8 mm, Em seguida, os ingredientes secos e a água gelada (10% em relação ao peso da carne) foram incorporados em batedeira industrial, onde a carne moída foi misturada por cinco minutos para garantir a homogeneização dos ingredientes. Nas formulações que continham antioxidantes, os extratos naturais previamente liofilizados foram adicionados à mistura na concentração de 1%, sendo homogeneizados juntamente com os demais ingredientes. Após a homogeneização, a massa resultante foi moldada em hambúrgueres de aproximadamente 100 g cada. Os hambúrgueres foram individualmente embalados em filme de polietileno e armazenados em câmara de congelamento a -18°C por 24 horas até a realização das análises subsequentes.

pH

O valor de pH foi medido através do pHmetro digital de bancada. Pesou-se 10g das amostras dos hambúrgueres crus que foram diluídas em 100mL de água destilada. Esta mistura foi agitada até que as partículas estivessem

equitativamente dispersas e efetuou-se a medição. As amostras foram analisadas em triplicatas.

Perda de peso por cozimento (PPC)

A perda de peso por cozimento foi calculada, em porcentagem, através da diferença entre os pesos das amostras antes e depois da cocção e resfriamento à temperatura ambiente, sendo este valor subtraído de 100 para se obter a porcentagem da perda das amostras.

Capacidade de retenção de água (CRA)

A capacidade de retenção de água foi determinada conforme metodologia descrita por Zeola et al. (2012). Amostras de hamburguer foram colocadas sobre papel-filtro entre duas placas acrílicas presas com parafusos tipo borboleta, e sobre estas foi colocado o peso cilíndrico de 10kg por cinco minutos. A amostra de hamburguer resultante foi pesada e, por diferença, calculada a quantidade de água perdida

Oxidação lipídica (TBARS)

A oxidação lipídica foi avaliada usando a determinação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), após armazenamento refrigerado dos hambúrgueres a 4°C por 7 dias. Para isso o procedimento proposto por Kerth & Rowe (2016) foi utilizado. As leituras foram realizadas em leitor de microplacas e os valores de TBARS foram expressos como mg equivalentes de malondialdeído (EM) por kg de hamburguer de frango.

Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Médias e desvios padrão foram calculados, e as diferenças estatísticas foram analisadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey software Statistic 7.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, têm-se os resultados obtidos para o teor de compostos fenólicos totais (TPC) e atividade antioxidante (DPPH) dos antioxidantes naturais elaborados com alecrim, semente de romã e casca de uva. A análise estatística

indica que os extratos de alecrim, semente de romã e casca de uva diferem significativamente entre si tanto em relação ao teor de fenólicos totais quanto à atividade antioxidante ($p < 0,05$). Essa diferença pode ser explicada pela variação nas concentrações e tipos de compostos fenólicos presentes em cada matriz vegetal.

Tabela 2 – Teor de compostos fenólicos totais (TPC) e atividade antioxidante (DPPH) dos antioxidantes naturais elaborados com alecrim, semente de romã e casca de uva.

Extratos	TPC (mg GAE/100g)	DPPH (µmol Trolox/g)
Alecrim	102,15 ± 0,86c	12,64 ± 0,29c
Semente de romã	195,49 ± 1,71b	19,08 ± 1,02b
Casca de uva	452,87 ± 2,19a	52,98 ± 1,82a

Legenda: Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre as formulações ($p<0,05$).

Observa-se que o extrato de casca de uva apresentou o maior teor de compostos fenólicos totais, com 452,87 mg GAE/100g, além da atividade antioxidante mais elevada (52,98 µmol Trolox/g). A casca de uva é reconhecida por ser rica em fenólicos como antocianinas, resveratrol e quercetina, compostos que possuem alta capacidade de neutralizar radicais livres, o que justifica sua elevada atividade antioxidante (Farhadi et al., 2016).

O extrato de semente de romã apresentou o segundo maior valor de fenólicos totais (195,49 mg GAE/100g) e uma atividade antioxidante de 19,08 µmol Trolox/g, inferior à da casca de uva, mas ainda significativa ($p<0,05$). Esse desempenho pode ser atribuído à presença de taninos, especialmente as punicalaginas, bem como ácido elágico, que são potentes antioxidantes naturais (Madrigal-Carballo et al., 2009).

Por fim, o extrato de alecrim apresentou o menor teor de fenólicos totais (102,15 mg GAE/100g) e a menor atividade antioxidante (12,64 µmol Trolox/g). No entanto, é importante ressaltar que, apesar de apresentar os valores mais baixos entre os três extratos, o alecrim contém compostos com alta bioatividade, como o ácido rosmarínico e o carnosol, que também são reconhecidos por suas propriedades antioxidantes (Erkan et al., 2008).

Na Tabela 3, são apresentados os valores de pH obtidos para as diferentes formulações de hambúrguer de frango desenvolvidas com diferentes antioxidantes naturais.

Tabela 3 – Valores de pH dos hamburgueres de frango elaborados com diferentes antioxidantes naturais.

Amostras	pH
Controle	5,8 ± 0,02a
H1	5,9 ± 0,01a
H2	5,7 ± 0,00a
H3	5,8 ± 0,01a

Legenda: Controle: hambúrguer elaborado sem adição do antioxidante natural; H1: hambúrguer elaborado com 1% do extrato de alecrim; H2: hambúrguer elaborado com 1% do extrato da semente de romã; H3: hambúrguer elaborado com 1% do extrato da casca de uva. Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre as formulações ($p<0,05$).

Os valores de pH obtidos para as diferentes formulações de hambúrguer de frango desenvolvidas com antioxidantes naturais (Tabela 3) variaram entre 5,7 e 5,9. Não houve diferenças significativas entre as amostras ($p<0,05$), o que indica que a adição de antioxidantes naturais, como os extratos de alecrim, semente de romã e casca de uva, não alterou de forma significativa o pH do produto final quando comparado ao controle. O pH é um fator importante na qualidade dos produtos cárneos, influenciando aspectos como textura, retenção de água e estabilidade microbiológica. O pH ligeiramente ácido observado em todas as formulações (entre 5,7 e 5,9) é típico de hambúrgueres de frango e está dentro da faixa considerada adequada para garantir uma boa qualidade sensorial e microbiológica (Rivera et al., 2000).

A estabilidade do pH entre as amostras pode ser explicada pela natureza dos antioxidantes naturais utilizados. Embora esses extratos contenham compostos bioativos que desempenham papel antioxidante, eles não possuem características que alterem de forma relevante o balanço ácido-base do produto (Arshad et al., 2017).

Os resultados da Tabela 4 revelam uma clara influência dos antioxidantes naturais na perda de peso por cozimento (PPC) e na capacidade de retenção de

água (CRA) dos hambúrgueres de frango. Observa-se que os diferentes extratos adicionados às amostras impactaram significativamente ambos os parâmetros, quando comparados ao controle (sem antioxidante), indicando que o tipo de antioxidante utilizado pode melhorar a qualidade do produto final.

Tabela 4 – Valores de perda de peso por cozimento (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) dos hambúrgueres de frango elaborados com diferentes antioxidantes naturais.

Amostras	PPC (%)	CRA (%)
Controle	27,61± 0,50a	54,29 ± 0,21d
H1	24,08 ± 0,32b	56,12 ± 0,60c
H2	22,94 ± 0,45c	60, 73 ± 0,34b
H3	18,52 ± 0,96d	64,17 ± 0,20a

Legenda: PPC: perda de peso por cozimento; CRA: capacidade de retenção de água; Controle: hambúrguer elaborado sem adição do antioxidante natural; H1: hambúrguer elaborado com 1% do extrato de alecrim; H2: hambúrguer elaborado com 1% do extrato da semente de romã; H3: hambúrguer elaborado com 1% do extrato da casca de uva. Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre as formulações ($p<0,05$).

A amostra controle apresentou a maior perda de peso pós-cozimento (27,61%), enquanto a amostra com extrato de casca de uva (H3) mostrou a menor perda de peso (18,52%). A presença de compostos fenólicos nos extratos antioxidantes, especialmente no caso da casca de uva, desempenha um papel fundamental na redução da perda de peso. O extrato de casca de uva (H3), que contém o maior teor de compostos fenólicos (452,87 mg GAE/100g, conforme observado na Tabela 2), mostrou o maior impacto na retenção de água e gordura, provavelmente devido à sua forte capacidade antioxidante, que protege as proteínas e lipídeos durante o processo de cocção, resultando em uma menor perda de líquidos.

Os extratos de semente de romã (H2) e alecrim (H1) também apresentaram reduções significativas na perda de peso pós-cozimento, com 22,94% e 24,08%, respectivamente. Esses resultados são coerentes com os teores de compostos fenólicos totais dos extratos, onde a semente de romã

(195,49 mg GAE/100g) apresentou maior teor de fenólicos em comparação ao alecrim (102,15 mg GAE/100g), resultando também em uma maior eficácia na redução da PPC.

Com relação à capacidade de retenção de água, observa-se que os hambúrgueres enriquecidos com antioxidantes naturais apresentaram melhorias significativas em comparação ao controle. O valor mais alto foi obtido pela amostra H3 (extrato de casca de uva), com 64,17%, o que pode ser atribuído ao alto teor de compostos fenólicos do extrato, que além de agir como antioxidante, interage com as proteínas da carne, estabilizando a matriz cárnea e promovendo uma maior retenção de água. Essa maior CRA também resulta em uma melhor textura e suculência do produto final.

A Tabela 5 apresenta os resultados da oxidação lipídica, medida pelos valores de TBARS, após 7 dias de armazenamento refrigerado dos hambúrgueres de frango elaborados com diferentes antioxidantes naturais. A amostra controle, sem a adição de antioxidantes naturais, apresentou o maior valor de TBARS, evidenciando uma maior oxidação lipídica ($p<0,05$).Isso era esperado, uma vez que a carne é naturalmente suscetível à oxidação durante o armazenamento, especialmente na ausência de compostos antioxidantes que possam retardar esse processo. Esses resultados indicam que, sem proteção antioxidante, os lipídeos nos hambúrgueres de frango sofrem uma rápida degradação.

Tabela 5 – Oxidação lipídica de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), após armazenamento refrigerado dos hambúrgueres a 4°C por 7 dias dos hambúrgueres de frango elaborados com diferentes antioxidantes naturais.

Amostras	TBARS (mg EM/kg)
Controle	2,04 ± 0,30a
H1	1,37± 0,21b
H2	0,86 ± 0,15c
H3	0,73 ± 0,11c

Legenda: Controle: hambúrguer elaborado sem adição do antioxidante natural; H1: hambúrguer elaborado com 1% do extrato de alecrim; H2: hambúrguer elaborado com 1% do extrato da semente de romã; H3: hambúrguer elaborado

com1% do extrato da casca de uva. Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre as formulações ($p<0,05$).

Os resultados de TBARS mostram uma clara correlação positiva com o teor de compostos fenólicos dos antioxidantes naturais utilizados. Amostras com maior teor de compostos fenólicos, como o extrato de casca de uva e o extrato de semente de romã, apresentaram menores níveis de oxidação lipídica, evidenciando a eficácia desses compostos na proteção contra a degradação dos lipídeos. Isso pode ser explicado pela capacidade dos compostos fenólicos em neutralizar radicais livres e interromper as reações de oxidação em cadeia, prevenindo a formação de produtos de oxidação, como os malonaldeídos, que são responsáveis pelo aumento nos valores de TBARS (Li et al., 2014).

Assim, quanto maior o teor de compostos fenólicos, maior a capacidade de inibir a oxidação lipídica, levando a menores valores de TBARS. Os resultados confirmam a importância de antioxidantes naturais ricos em fenólicos, como o extrato de casca de uva e semente de romã, para preservar a qualidade oxidativa dos hambúrgueres de frango durante o armazenamento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a incorporação de antioxidantes naturais ricos em compostos fenólicos, como os extratos de casca de uva e semente de romã, se mostrou altamente eficaz em melhorar a qualidade oxidativa dos hambúrgueres de frango durante o armazenamento refrigerado. Esses antioxidantes naturais não apenas reduziram significativamente os níveis de oxidação lipídica, conforme evidenciado pelos menores valores de TBARS, como também melhoraram a capacidade de retenção de água e a estabilidade do produto após a cocção. Assim, o uso desses extratos pode ser uma alternativa promissora para a preservação da qualidade e segurança de produtos cárneos, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e estáveis.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es)

revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexova, R., Alexandrova, S., Dragomanova, S., Kalfin, R., Solak, A., Mehan, S., Petralia, M., Fagone, P., Mangano, K., Nicoletti, F., & Tancheva, L. (2023). Anti-COVID-19 Potential of Ellagic Acid and Polyphenols of Punica granatum L.. *Molecules*, 28.

Arshad, M., Anjum, F., Khan, M., Saeed, F., Imran, A., Sohaib, M., Nadeem, M., & Hussain, S. (2017). Manipulation of Natural Antioxidants in Feed to Enhance the Oxidative Stability and Quality of Broiler Breast Meat and Nuggets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, *28*(1), 25-30.

Dabulici, C., Sârbu, I., & Vamanu, E. (2020). The Bioactive Potential of Functional Products and Bioavailability of Phenolic Compounds. Foods, 9.

Devatkal, S. K., Narsaiah, K., & Borah, A. (2010). Anti-oxidant effect of extracts of kinnow rind, pomegranate rind and seed powders in cooked goat meat patties. *Meat Science*, *85*(1), 155-159.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F., Zhang, W., & Lorenzo, J. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8.

Erkan, N., Ayranci, G., & Ayranci, E. (2008). Antioxidant activities of rosemary (Rosmarinus Officinalis L.) extract, blackseed (Nigella sativa L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol.. *Food chemistry*, 110 1, 76-82.

Farhadi, K., Esmaeilzadeh, F., Hatami, M., Forough, M., & Molaie, R. (2016). Determination of phenolic compounds content and antioxidant activity in skin, pulp, seed, cane and leaf of five native grape cultivars in West Azerbaijan province, Iran.. *Food chemistry*, 199, 847-55.

Hcini, K., Lozano-Pérez, A., Cenis, J., Quílez, M., & Jordán, M. (2021). Extraction and Encapsulation of Phenolic Compounds of Tunisian Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) Extracts in Silk Fibroin Nanoparticles. *Plants*, 10.

Ibrahim, M., Alqurashi, R., & Alfaraj, F. (2022). Antioxidant Activity of Moringa oleifera and Olive Olea europaea L. Leaf Powders and Extracts on Quality and Oxidation Stability of Chicken Burgers. *Antioxidants*, 11.

Kerth, C. R., & Rowe, C. W. (2016). Improved sensitivity for determining thiobarbituric acid reactive substances in ground beef. *Meat science*, *117*, 85-88.
Lee, S., Jo, K., Jeong, S., Jeon, H., Choi, Y., & Jung, S. (2023). Recent strategies for improving the quality of meat products. *Journal of Animal Science and Technology*, 65, 895 - 911.

Li, A., Li, S., Zhang, Y., Xu, X., Chen, Y., & Li, H. (2014). Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols. *Nutrients*, 6, 6020 – 6047.

Madrigal-Carballo, S., Rodríguez, G., Krueger, C., Dreher, M., & Reed, J. (2009). Pomegranate (Punica granatum) supplements: Authenticity, antioxidant and polyphenol composition. *Journal of Functional Foods*, 1, 324-329.

Nadeem, H., Akhtar, S., Ismail, T., Qamar, M., Sestili, P., Saeed, W., Azeem, M., & Esatbeyoglu, T. (2022). Antioxidant Effect of Ocimum basilicum Essential Oil and Its Effect on Cooking Qualities of Supplemented Chicken Nuggets. *Antioxidants*, 11.

Naveena, B., Sen, A., Vaithiyanathan, S., Babji, Y., & Kondaiah, N. (2008). Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties.. *Meat science*, 80 4, 1304-8.

Ngo, D., Wijesekara, I., Vo, T., Ta, Q., & Kim, S. (2011). Marine food-derived functional ingredients as potential antioxidants in the food industry: An overview. *Food Research International*, 44, 523-529.

Oliveira, N. L., Alexandre, A. C. S., Silva, S. H., de Abreu Figueiredo, J., Rodrigues, A. A., & de Resende, J. V. (2023). Drying efficiency and quality preservation of blackberries (Rubus spp. variety Tupy) in the near and mid-infrared-assisted freeze-drying. *Food Chemistry Advances*, *3*, 100550.

Peixoto, C., Días, M., Alves, M., Calhelha, R., Barros, L., Pinho, S., & Ferreira, I. (2018). Bagaço de uva como fonte de compostos fenólicos e diversas propriedades bioativas.. *Food chemistry* , 253, 132-138.

Rivera, J., Sebranek, J., & Rust, R. (2000). Functional properties of meat by-products and mechanically separated chicken (MSC) in a high-moisture model petfood system.. *Meat science*, 55 1, 61-6

Sbardelotto, P., Balbinot-Alfaro, E., Rocha, M., & Alfaro, A. (2022). Natural alternatives for processed meat: Legislation, markets, consumers, opportunities and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63, 10303 - 10318.

Selani, M., Contreras-Castillo, C., Shirahigue, L., Gallo, C., Plata-Oviedo, M., & Montes-Villanueva, N. (2011). Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. *Meat science*, 88 3, 397-403.

Zeola, N. M. B. L., Silva Sobrinho, A. G., Borba, H., Manzi, G. M., Nonato, A., & Almeida, F. A. (2012). Avaliação do modelo de produção e da inclusão de gordura nos parâmetros qualitativos e sensoriais do hambúrguer ovino. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, *64*, 727-734.

Capítulo 03

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.03

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ULTRASONICAÇÃO NO TEOR DE PROTEÍNAS E PARÂMETROS FÍSICOS DA FARINHA DOS RESÍDUOS DE CAMARÃO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Fábio Gomes Teles – (ORCID: 0009-0007-7552-3147)
Juliana Maria Aderaldo Vidal Campello – (ORCID: 0000-0003-3878-8393)
Raquel Alves de Luna Dias – (ORCID: 0009- 0007-4807-8463)
Maria Tereza Sarmento de Fonseca – (ORCID: 0009-0003-8356-9461)

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a utilização de recursos naturais de forma mais eficiente tem incentivado a busca por estratégias de aproveitamento de subprodutos gerados pela indústria de alimentos (Tsironi et al., 2021). Dentro desse contexto, os resíduos de camarão, compostos principalmente por carapaças e cefalotórax, representam uma significativa fração descartada durante o processamento de frutos do mar (Nirmal et al., 2020). Estes resíduos são frequentemente tratados como desperdício, o que contribui para impactos ambientais negativos, como a contaminação do solo e dos cursos d'água (Yan & Chen, 2015). No entanto, eles contêm diversos componentes valiosos, como proteínas, quitina, minerais, além de compostos bioativos, que podem ser reaproveitados para o desenvolvimento de novos produtos com valor agregado, como a farinha de resíduos de camarão (Deng et al., 2020).

O processo de conversão de resíduos de camarão em farinha oferece uma solução para a mitigação do desperdício e a criação de produtos com potencial aplicação em diversas indústrias, desde a alimentícia até a farmacêutica (Brasileiro et al., 2012; Mao et al., 2017). No entanto, o sucesso desse processo depende de métodos de pré-tratamento eficientes, que garantam a preservação das propriedades nutricionais e funcionais dos componentes presentes nos resíduos (Rahman et al., 2016). Nesse contexto, o

ultrassom tem emergido como uma tecnologia promissora devido à sua capacidade de intensificar processos industriais, promovendo melhorias nas características físico-químicas dos produtos alimentícios (Fu et al., 2019).

O uso de ultrassom em processos alimentares baseia-se na geração de cavitação acústica, um fenômeno que ocorre quando ondas sonoras de alta frequência provocam a formação e implosão de microbolhas em um meio líquido (Santos et al., 2020). Esse processo resulta em intensas forças de cisalhamento, pressão e temperatura local, que podem promover a modificação da estrutura de compostos biológicos, facilitando a extração de nutrientes e melhorando as características funcionais e sensoriais dos produtos (Santos et al., 2024). No caso da farinha de resíduos de camarão, o ultrassom pode influenciar parâmetros cruciais, como a solubilidade, teor de umidade, capacidade de retenção de água e lipídios, além de modificar a estrutura das proteínas e a distribuição de minerais.

Diversos estudos já demonstraram que o tempo de ultrassonicação é um dos principais fatores que afetam a eficácia do tratamento com ultrassom em materiais alimentares (Santos et al., 2020; Santos et al., 2024; Barros et al., 2023). Tempos curtos podem ser insuficientes para promover alterações significativas, enquanto tempos prolongados podem causar degradação ou perda de qualidade dos compostos sensíveis, como proteínas e antioxidantes (Fadimu et al., 2014). Portanto, é fundamental otimizar as condições de ultrassonicação para maximizar os benefícios do tratamento sem comprometer a qualidade do produto final.

Além dos benefícios ambientais e econômicos, o uso de farinha de resíduos de camarão tratada com ultrassom pode representar uma alternativa interessante para a indústria de alimentos, uma vez que este ingrediente pode ser incorporado em produtos alimentares como fonte de proteínas, minerais e fibras, além de conter quitina e quitossana, polímeros que têm sido amplamente estudados por suas propriedades funcionais, incluindo atividade antimicrobiana e capacidade de formação de filmes biodegradáveis (Muñoz-Tebar et al., 2023).

Diante disso, o objetivo desse estudo é avaliar o impacto do tempo de pré-tratamento com ultrassom no teor de proteínas e nos parâmetros físicos da farinha elaborada com resíduos de camarão (carapaça e cefalotórax).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo das amostras

Os resíduos de camarão (carapaça e cefalotórax) foram obtidos a partir de uma empresa local de processamento de frutos do mar localizada na cidade de Natal, Rio Grande do Norte - RN. O material foi coletado imediatamente após o processamento, garantindo-se que os resíduos estavam frescos e livres de contaminação externa. Os resíduos foram inicialmente lavados em água corrente para remover impurezas, como restos de carne e partículas aderentes. Após a lavagem, o material foi submetido a uma etapa de sanitização utilizando uma solução de hipoclorito de sódio a 1% (v/v) por 10 minutos. Posteriormente, os resíduos foram enxaguados com água potável até a completa remoção do agente sanitizante.

Aplicação do pré-tratamento

Após a sanitização, os resíduos foram divididos em quatro grupos experimentais: um grupo controle (sem tratamento com ultrassom) e três grupos tratados por ultrassom com diferentes tempos de sonicação (10, 20 e 30 minutos). Cada amostra continha 100 g de resíduos de camarão. O pré-tratamento por ultrassom foi realizado utilizando um banho ultrassônico de frequência fixa de 40 kHz e potência de 200 W. As amostras de resíduos foram imersas em 500 mL de água destilada em béqueres de vidro, sendo submetidas ao processo de sonicação nas seguintes condições: US1 – 10 min de pré-tratamento, US2 – 20 min de pré-tratamento e US3 – 30 min de pré-tratamento. Durante o tratamento, a temperatura do banho ultrassônico foi mantida constante a 25 ± 2 °C, utilizando um sistema de resfriamento acoplado para evitar o aquecimento excessivo do meio. As amostras foram mantidas em suspensão leve durante todo o processo para garantir a uniformidade do tratamento.

Obtenção da farinha

Após o pré-tratamento, os resíduos (carapaça e cefalotórax) foram distribuídos em bandejas de secagem em uma camada fina e levados para secagem em estufa com circulação de ar forçada, a uma temperatura de 60 °C. O processo de secagem foi conduzido até que os resíduos atingissem o equilíbrio, ou seja, massa constante. Uma vez secos, os resíduos foram

submetidos à moagem utilizando um moinho de facas. O material foi moído até obter uma granulometria fina (passagem em peneira de 60 mesh). A farinha obtida foi homogeneizada e armazenada em recipientes hermeticamente fechados, protegidos da luz e umidade, até o momento das análises.

Caracterização da farinha

As farinhas obtidas nas diferentes condições: Controle, US1, US2 e US3. Foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros descritos a seguir.

Umidade e atividade de água

A umidade foi determinada utilizando o método gravimétrico por secagem em estufa a 105 °C até peso constante, conforme a metodologia da AOAC (2005). Aproximadamente 5 g de cada amostra de farinha foi pesada em cadinhos previamente tarados, colocados na estufa por 24 horas e, em seguida, resfriados em dessecador antes de serem pesados novamente para o cálculo da umidade.

A atividade de água (aw) foi mensurada utilizando um medidor de atividade de água (Aqualab, Decagon Devices Inc.), calibrado com soluções padrão de atividade de água. Pequenas porções de farinha foram colocadas na câmara de medição do equipamento, e a leitura foi registrada após a estabilização do valor. A aw foi determinada à temperatura de 25 °C.

Teor de proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo método Kjeldahl, conforme descrito pela AOAC (2005). Aproximadamente 0,5 g de amostra de farinha foi digerida com ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado na presença de um catalisador. Após a digestão completa do material, a amostra foi destilada para a liberação de amônia, a qual foi coletada em uma solução de ácido bórico. Posteriormente, a amônia foi titulada com solução padrão de ácido clorídrico (HCl), e o teor de nitrogênio foi convertido para proteína total, utilizando o fator de conversão apropriado (6,25).

Solubilidade

A solubilidade em água das farinhas foi avaliada de acordo com a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com adaptações. Aproximadamente 1 g de farinha foi dispersa em 50 mL de água destilada em um béquer. A mistura foi agitada em agitador magnético por 30 minutos a 25 °C. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 3000 g por 10 minutos. O sobrenadante foi coletado, e o resíduo foi seco em estufa a 105 °C para determinação do peso seco. A solubilidade foi expressa como a porcentagem da matéria seca solubilizada em água em relação à massa inicial da amostra.

Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO)

A CAA e a CAO foram determinadas conforme o método descrito por Beuchat (1977). Para CAA, aproximadamente 1 g de farinha foi misturado com 10 mL de água destilada, e a mistura foi mantida em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente, com agitação ocasional. Após o tempo de repouso, a suspensão foi centrifugada a 3000 g por 10 minutos. O sobrenadante foi descartado, e o peso do sedimento foi registrado. O WAC foi calculado pela diferença entre o peso do sedimento e o peso da amostra seca inicial. O mesmo procedimento foi seguido para CAO, utilizando óleo vegetal em vez de água. A quantidade de óleo absorvido foi expressa em gramas de óleo retido por grama de farinha.

Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Médias e desvios padrão foram calculados, e as diferenças estatísticas foram analisadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey software Statistic 7.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que o teor de umidade das farinhas obtidas a partir dos resíduos de camarão foi afetado pelo pré-tratamento com ultrassom, enquanto a atividade de água permaneceu relativamente constante entre as amostras, sem diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$).

Tabela 1 – Teor de umidade e atividade de água das farinhas obtidas dos resíduos do processamento de camarão e pré-tratadas com ultrassom.

Amostras	Teor de umidade (%)	Atividade de água
Controle	6,29 ± 0,41a	0,254 ± 0,00a
US1	6,17 ± 0,32a	0,249 ± 0,01a
US2	5,42 ± 0,19b	0,242 ± 0,01a
US3	5,03 ± 0,22b	0,240 ±0,01a

Legenda: Controle é a farinha obtida sem nenhum pré-tratamento; US1 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 10 min; US2 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 20 min; US3 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 30 min. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística significativo pelo teste de Tukey.

O teor de umidade nas amostras variou entre 5,03% e 6,29%, sendo que as amostras submetidas a tempos de sonicação mais longos (US2 e US3) apresentaram teores de umidade significativamente menores do que o controle e US1. O pré-tratamento com ultrassom, especialmente em tempos mais prolongados (US2 e US3), pareceu promover uma maior remoção de umidade. Esse comportamento pode ser explicado pela ação mecânica das ondas ultrassônicas, que causam cavitação acústica no meio líquido, gerando microbolhas que implodem e criam forças de cisalhamento, o que pode facilitar a liberação de água aprisionada nos poros da matriz dos resíduos de camarão (Santos et al., 2020).

As amostras controle (sem tratamento) e US1 (10 minutos de sonicação) não mostraram diferenças significativas em termos de umidade ($p>0,05$), sugerindo que o ultrassom por um curto período de tempo não foi suficiente para alterar a estrutura dos resíduos de forma a promover uma remoção substancial de água. Por outro lado, as amostras US2 e US3, que foram submetidas a 20 e 30 minutos de ultrassom, respectivamente, apresentaram teores de umidade significativamente mais baixos. Esse efeito sugere que o aumento do tempo de sonicação contribuiu para uma maior remoção de água, possivelmente devido à intensificação dos efeitos de cavitação nas estruturas dos resíduos, facilitando o processo de secagem subsequente.

A atividade de água das amostras variou entre 0,240 e 0,254, com valores baixos que indicam boa estabilidade microbiológica e baixa probabilidade de proliferação microbiana. A ausência de diferenças significativas entre as amostras ($p > 0,05$) sugere que o tempo de sonicação não influenciou substancialmente esse parâmetro nas farinhas. Esses resultados indicam que, embora o ultrassom tenha contribuído para a redução do teor de umidade, essa diminuição não foi suficiente para alterar significativamente a atividade de água das farinhas.

Vale ressaltar que a atividade de água depende não apenas da quantidade de água presente, mas também da forma como essa água está ligada à matriz do material (Rückold et al., 2003). Assim, mesmo com a remoção parcial de umidade nas amostras US2 e US3, a fração de água residual pode estar fortemente ligada à estrutura do material, o que explicaria a estabilidade dos valores de atividade de água entre as amostras.

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que o teor de proteínas das farinhas obtidas a partir dos resíduos de camarão aumentou progressivamente com o tempo de pré-tratamento ultrassônico, sendo observada uma diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$)

Tabela 2 – Teor de proteínas das farinhas obtidas dos resíduos do processamento de camarão e pré-tratadas com ultrassom.

Amostras	Teor de proteínas (%)
Controle	8,54 ± 0,42d
US1	9,66 ± 0,39c
US2	13,05 ± 0,20b
US3	14,87 ± 0,16a

Legenda: Controle é a farinha obtida sem nenhum pré-tratamento; US1 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 10 min; US2 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 20 min; US3 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 30 min. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística significativo pelo teste de Tukey.

O teor de proteínas aumentou de 8,54% na amostra controle (sem tratamento) para 14,87% na amostra US3, que foi submetida a 30 minutos de

sonicação. Isso provavelmente ocorre devido à descompactação inicial das estruturas celulares, facilitando a liberação de compostos proteicos durante a etapa de pré-tratamento.

Outro fator que contribui para o aumento progressivo do teor de proteínas nas amostras tratadas é a redução do teor de umidade observada nos tratamentos com ultrassom. À medida que a água é removida mais eficientemente durante o tratamento ultrassônico, a fração seca da amostra, composta em grande parte por proteínas, aumenta em termos percentuais. Essa remoção de água pode aumentar a concentração aparente de proteínas nas farinhas.

O teor de solubilidade (Tabela 3) aumentou de 25,44% na amostra controle para 36,59% na amostra US3, que foi submetida a 30 minutos de sonicação. Esse incremento pode ser atribuído à ação mecânica do ultrassom, que promove a cavitação e a desagregação das partículas, resultando em uma maior liberação de componentes solúveis, como proteínas. À medida que o tempo de sonicação aumenta, a intensidade das ondas ultrassônicas também se intensifica, levando a uma maior ruptura das estruturas celulares dos resíduos de camarão, o que facilita a dissolução de suas frações solúveis.

Tabela 3 – Solubilidade das farinhas obtidas dos resíduos do processamento de camarão e pré-tratadas com ultrassom.

Amostras	Solubilidade (%)
Controle	25,44 ± 1,20d
US1	28,30 ± 1,02c
US2	32,73 ± 1,32b
US3	36,59 ± 1,14a

Legenda: Controle é a farinha obtida sem nenhum pré-tratamento; US1 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 10 min; US2 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 20 min; US3 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 30 min. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística significativo pelo teste de Tukey.

O tratamento de 10 minutos resultou em uma solubilidade de 28,30%, evidenciando que mesmo um tempo relativamente curto de pré-tratamento já é capaz de melhorar a solubilidade, sugerindo que a ação do ultrassom começa a atuar desde os primeiros minutos. Com um aumento para 32,73% após 20 minutos de sonicação, a solubilidade continuou a aumentar, o que sugere que o tempo adicional de tratamento permitiu uma maior quebra de ligações intermoleculares e um aumento na acessibilidade das moléculas solúveis (Li et al., 2020). Finalmente, o tratamento por 30 minutos resultou em uma solubilidade máxima de 36,59%, indicando que a extensão do tempo de tratamento é efetiva para maximizar a liberação de componentes solúveis, tornando as farinhas mais adequadas para aplicações em produtos alimentícios onde a solubilidade é desejável.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para a capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) das farinhas obtidas dos resíduos do processamento de camarão e pré-tratadas com ultrassom. Notavelmente, independente do meio aquoso ou oleoso, o tempo de sonicação afetou significativamente os resultados obtidos ($p<0,05$).

Tabela 4 – Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) das farinhas obtidas dos resíduos do processamento de camarão e pré-tratadas com ultrassom.

Amostras	CAA (%)	CAO (%)
Controle	21,26 ± 0,05d	18,52 ± 0,10d
US1	22,51 ± 0,11 c	19,18 ± 0,08c
US2	23,87 ± 0,15b	20,84 ± 0,13b
US3	24,72 ± 0,12a	22,30 ± 0,05a

Legenda: Controle é a farinha obtida sem nenhum pré-tratamento; US1 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 10 min; US2 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 20 min; US3 – Farinha obtida dos resíduos pré-tratados por 30 min. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística significativo pelo teste de Tukey.

A CAA de água aumentou de 21,26% na amostra controle para 24,72% na amostra US3, que foi submetida a 30 minutos de sonicação. Este aumento

pode ser atribuído à estrutura mais porosa e à maior superfície específica da farinha resultante do tratamento com ultrassom, que facilita a interação entre as moléculas de água e as partículas da farinha (Santos et al., 2024). Com o aumento do tempo de sonicação, as ondas ultrassônicas promovem a desagregação das partículas e a alteração das estruturas das proteínas, o que resulta em uma maior capacidade de retenção de água (Amiri et al., 2021).

Similarmente, a capacidade de absorção de óleo apresentou um aumento significativo, passando de 18,52% na amostra controle para 22,30% na amostra US3. O aumento na CAO é um indicativo de que o tratamento com ultrassom favoreceu a formação de uma rede mais aberta nas partículas da farinha, o que facilita a incorporação de óleo (Vela et al., 2020). Essa propriedade é desejável em aplicações alimentícias, especialmente em emulsões e produtos com alta gordura, onde a capacidade de absorção de óleo pode influenciar a textura e a palatabilidade dos produtos finais.

A relação positiva observada entre a CAA e a CAO sugere que a estrutura física das farinhas foi significativamente alterada pelo pré-tratamento ultrassônico, tornando-as mais adequadas para retenção de líquidos em geral (Fernández-Cegrí, et al., 2012). Esse comportamento indica que o aumento do tempo de sonicação não apenas melhora as propriedades de absorção de água, mas também beneficia a absorção de óleo, potencializando a funcionalidade das farinhas em diferentes aplicações alimentícias.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados revelou que o pré-tratamento com ultrassom dos resíduos do processamento de camarão significativamente melhora as propriedades das farinhas obtidas, resultando em uma redução do teor de água e da atividade de água, um aumento no teor de proteínas, bem como um incremento na solubilidade e nas capacidades de absorção de água e óleo; esses achados indicam que o ultrassom é uma estratégia promissora para valorizar subprodutos de camarão, ampliando suas aplicações em formulações alimentícias e contribuindo para a sustentabilidade da indústria pesqueira.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amiri, A., Sharifian, P., Morakabati, N., Mousakhani-Ganjeh, A., Mirtaheri, M., Nilghaz, A., ... & Pratap-Singh, A. (2021). Modification of functional, rheological and structural characteristics of myofibrillar proteins by high-intensity ultrasonic and papain treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *72*, 102748.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Jr., E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*, 14(1), 4-12.

AOAC (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Barros, S. L., Frota, M. M., de Menezes, F. L., de Brito Araújo, A. J., dos Santos Lima, M., Fernandes, V. B., ... & de Vasconcelos, L. B. (2024). Physical–chemical, functional and antioxidant properties of dehydrated pumpkin seeds: Effects of ultrasound time and amplitude and drying temperature. *Waste and Biomass Valorization*, *15*(2), 1123-1140.

Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261.

Brasileiro, O., Cavalheiro, J., Prado, J., Anjos, A., & Cavalheiri, T. (2012). Determination of the chemical composition and functional properties of shrimp waste protein concentrate and lyophilized flour. *Ciencia E Agrotecnologia*, 36, 189-194.

Deng, J., Zhang, M., Li, Z., Lu, D., Mao, H., Zhu, M., Li, J., & Luo, X. (2020). One-step processing of shrimp shell waste with a chitinase fused to a carbohydrate-binding module. *Green Chemistry*, 22, 6862-6873.

Fadimu, G. J., Gill, H., Farahnaky, A., & Truong, T. (2021). Investigating the impact of ultrasound pretreatment on the physicochemical, structural, and antioxidant properties of lupin protein hydrolysates. *Food and Bioprocess Technology*, *14*, 2004-2019.

Fernández-Cegrí, V., Rubia, M., Raposo, F., & Borja, R. (2012). Impact of ultrasonic pretreatment under different operational conditions on the mesophilic anaerobic digestion of sunflower oil cake in batch mode.. *Ultrasonics sonochemistry*, 19 5, 1003-10

Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., & Luo, Z. (2019). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components.. *Ultrasonics sonochemistry*, 60, 104726.

Li, Y., Cheng, Y., Zhang, Z., Wang, Y., Mintah, B., Dabbour, M., Jiang, H., He, R., & Ma, H. (2020). Modification of rapeseed protein by ultrasound-assisted pH shift treatment: Ultrasonic mode and frequency screening, changes in protein solubility and structural characteristics.. *Ultrasonics sonochemistry*, 69, 105240.

Mao, X., Guo, N., Sun, J., & Xue, C. (2017). Comprehensive utilization of shrimp waste based on biotechnological methods: A review. *Journal of Cleaner Production*, 143, 814-823.

Muñoz-Tebar, N., Pérez-Álvarez, J., Fernández-López, J., & Viuda-Martos, M. (2023). Chitosan Edible Films and Coatings with Added Bioactive Compounds: Antibacterial and Antioxidant Properties and Their Application to Food Products: A Review. *Polymers*, 15.

Nirmal, N., Santivarangkna, C., Rajput, M., & Benjakul, S. (2020). Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 20-35.

Rahman, M., & Koh, K. (2016). Improvement in Nutritional Quality of Shrimp Meal with Autoclave and Chemical Treatments: an in vitro Study. *The Journal of Poultry Science*, 53, 124 – 127.

Rückold, S., Isengard, H., Hanss, J., & Grobecker, K. (2003). The energy of interaction between water and surfaces of biological reference materials. *Food Chemistry*, 82, 51-59.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., da Silva, G. M., Monteiro, S. S., & Andre, A. M. M. (2020). Effect of ultrasound pre-treatment on the kinetics and thermodynamic properties of guava slices drying process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *66*, 102507.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., Monteiro, S. S., de Andrade, E. W. V., dos Santos Silva, R., Albuquerque, J. C., ... & Rocha, A. P. T. (2024). Drying of avocado peels using carbonation-ultrasonication as pretreatment: energy consumption, antioxidant capacity and rheological properties. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 205, 110004.

Tsironi, T., Koutinas, A., Mandala, I., & Stoforos, N. G. (2021). Current and new Green Deal solutions for sustainable food processing. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *21*, 100244.

Vela, A., Villanueva, M., Solaesa, Á., & Ronda, F. (2020). Impact of high-intensity ultrasound waves on structural, functional, thermal and rheological properties of rice flour and its biopolymers structural features. *Food Hydrocolloids*, 106480.

Yan, N., & Chen, X. (2015). Sustainability: Don't waste seafood waste. *Nature*, 524, 155-157.

Capítulo 04

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.04

AVALIAÇAO DA QUALIDADE DE CAMARÕES ARMAZENADOS SOB ULTRABAIXAS TEMPERATURAS DE CONGELAMENTO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Fábio Gomes Teles – (ORCID: 0009-0007-7552-3147)
Juliana Maria Aderaldo Vidal Campello – (ORCID: 0000-0003-3878-8393)
Priscylla Palmeira Diniz Rosendo – (ORCID: 0000-0001-7261-8553)
José Nildo Vieira Deodato – (ORCID: 0000-0003-1456-6358)

1 INTRODUÇÃO

O camarão é um dos frutos do mar mais consumidos em todo o mundo, valorizado por sua qualidade nutricional e sabor. No entanto, como outros produtos de origem animal, é altamente perecível e suscetível à deterioração microbiológica, enzimática e química durante o armazenamento (Shiekh et al., 2021). A rápida degradação dos camarões pode comprometer sua qualidade e segurança, resultando em perdas econômicas significativas para a indústria alimentícia e riscos para a saúde pública. Assim, métodos eficazes de conservação são essenciais para prolongar a vida útil do camarão e manter suas características sensoriais e nutricionais (Vejan et al., 2023; Taher et al., 2023).

Entre os métodos de conservação de alimentos, o congelamento tem se mostrado um dos mais eficazes na preservação de frutos do mar. Ele reduz a atividade microbiana e a taxa de reações bioquímicas, retardando o processo de deterioração. No entanto, a eficácia do congelamento depende da temperatura utilizada, sendo que temperaturas mais baixas tendem a inibir de forma mais eficaz as reações indesejadas (Zhu et al., 2024). O congelamento a -18 °C, amplamente utilizado no comércio varejista, é considerado o mínimo necessário para preservar os alimentos, mas estudos indicam que temperaturas mais baixas, como -40 °C e até mesmo ultra-baixas temperaturas de -100 °C, podem oferecer vantagens adicionais, como uma redução ainda maior da atividade

enzimática e a formação de cristais de gelo menores, o que preserva melhor a textura dos alimento (Wei et al., 2024).

Apesar dessas evidências, o impacto específico das temperaturas de congelamento mais baixas na qualidade dos camarões ao longo do tempo ainda é pouco explorado (Liu et al., 2024). Parâmetros como o nitrogênio volátil total (BVT), substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA) e o pH são amplamente utilizados para monitorar a qualidade de produtos de origem animal durante o armazenamento, sendo indicadores de degradação proteica, oxidação lipídica e mudanças bioquímicas, respectivamente (Bekhit et al., 2021). O BVT, por exemplo, é um parâmetro relevante para a avaliação da decomposição proteica, enquanto o TBA mede a extensão da oxidação lipídica, que pode resultar em sabores desagradáveis e comprometer a segurança do alimento. O pH, por sua vez, pode ser usado para monitorar o frescor do camarão, pois variações no pH podem indicar atividade microbiana e reações químicas indesejadas (Kamali et al., 2024; Zhang et al., 2020).

O tempo de armazenamento também é um fator crítico que afeta a qualidade do camarão congelado. Estudos mostram que, mesmo sob congelamento, o armazenamento prolongado pode resultar em deterioração gradual, especialmente se a temperatura não for suficientemente baixa para inibir todas as reações deteriorativas (Tsironi et al., 2009). Dessa forma, entender a relação entre a temperatura de congelamento, o tempo de armazenamento e os parâmetros de qualidade é essencial para otimizar os processos de conservação de camarões (Jin et al., 2018).

Portanto, este estudo foi elaborado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes temperaturas de congelamento (-18, -40 e -100 °C) durante períodos de 0, 20, 40 e 60 dias de armazenamento, com foco nos parâmetros de BVT, TBA e pH. Esses resultados poderão contribuir significativamente para a indústria de alimentos, fornecendo informações sobre as melhores práticas de armazenamento e conservação de frutos do mar, além de auxiliar no desenvolvimento de estratégias para reduzir perdas e melhorar a qualidade final do produto oferecido aos consumidores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção das amostras

Camarões frescos da espécie *Litopenaeus vannamei* foram adquiridos diretamente de um fornecedor local (Natal, Rio Grande do Norte, Brazil) com rigoroso controle de qualidade para garantir que todas as amostras fossem provenientes do mesmo lote e apresentassem características de frescor semelhantes. Os camarões foram descascados, eviscerados e devidamente higienizados em água corrente potável. Após a preparação, as amostras foram divididas aleatoriamente em três grupos, cada um destinado a um regime de temperatura de congelamento.

Etapa de congelamento

As amostras de camarão foram distribuídas em bandejas plásticas de polietileno, padronizando uma quantidade de aproximadamente 200g por bandeja. Em seguida, as bandejas foram submetidas ao congelamento nas seguintes condições, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos grupos experimentais e condições de congelamento.

Grupo	Temperatura de congelamento
Grupo 1	-18 °C
Grupo 2	-40 °C
Grupo 3	-100 °C

Cada grupo de amostras foi armazenado nas respectivas temperaturas por períodos de 0, 20, 40 e 60 dias. As amostras foram retiradas dos freezers nas datas específicas para a realização das análises.

Determinação de Nitrogênio Volátil Total (NVT)

A determinação de nitrogênio volátil total (NVT) foi realizada seguindo a metodologia proposta por Kamali et al. (2024). Para isso, foi utilizado um aparelho Soxhlet, 5 g da amostra foram combinados com 2 g de óxido de magnésio em um frasco térmico contendo 300 mL de água destilada. No

recipiente receptor, algumas gotas de indicador de fenolftaleína foram adicionadas a 25 mL de solução de ácido bórico a 2%. O evaporador foi conectado a ambos os recipientes (aquecimento e recebimento), e a temperatura da água foi mantida. Após 3 min, a destilação foi interrompida. O conteúdo do frasco receptor foi titulado até o ponto final usando ácido sulfúrico 0,05 M muito diluído (H_2SO_4). A determinação do NVT foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$NVT\ \left(\frac{mg}{100g}\right) = \frac{(V \times N \times 100 \times 14)}{m} \quad (1)$$

Onde: V é o volume (mL) de H_2SO_4 usado para a amostra; N é a normalidade de H_2SO_4; m é o peso da amostra em g.

Determinação das Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBA)

A oxidação lipídica foi quantificada por meio do teste de TBA, que mede as substâncias formadas durante a oxidação dos lipídios. As amostras de camarão foram misturadas com uma solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) e ácido tricloroacético (TCA), e a mistura foi aquecida para promover a reação entre os aldeídos gerados pela oxidação dos lipídios e o TBA. A absorbância foi medida a 532 nm em um espectrofotômetro, e os resultados foram expressos em mg de malonaldeído por kg de amostra.

Determinação de pH

O pH das amostras foi medido diretamente com um pHmetro digital. Para essa análise, uma solução foi preparada macerando 10 g de camarão com 100 mL de água destilada. O eletrodo do pHmetro foi calibrado com soluções padrão de pH 4,0 e 7,0 antes de cada medição.

Análise estatística

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três temperaturas de congelamento (-18 °C, -40 °C e -100 °C) e quatro tempos de armazenamento (0, 20, 40 e 60 dias), resultando em 12 tratamentos diferentes. Cada tratamento foi realizado em triplicata, totalizando 36 amostras.

Os resultados das análises foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de duas vias para determinar o efeito das variáveis temperatura de congelamento e tempo de armazenamento sobre os parâmetros BVT, TBA e pH. Quando necessário, o teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias e identificar diferenças significativas ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da Tabela 2 mostram os valores de Nitrogênio Volátil Total (NVT), um importante indicador da deterioração proteica, para camarões armazenados sob diferentes temperaturas de congelamento (-18 °C, -40 °C e -100 °C) ao longo de 60 dias. O aumento progressivo dos valores de NVT ao longo do tempo de armazenamento reflete a degradação das proteínas e o consequente aumento da liberação de compostos nitrogenados voláteis, como amônia e aminas, que são responsáveis pelo odor de deterioração (Bekhit et al., 2021).

Tabela 2 - Nitrogênio Volátil Total (NVT) dos camarões submetidos ao congelamento (-18, -40, -100 °C) no decorrer de 60 dias de armazenamento.

Tempo (dias)	Grupo 1 (mg/100g)	Grupo 2 (mg/100g)	Grupo 3 (mg/100g)
0	4,6 ± 0,03aD	4,6 ± 0,02aD	4,6 ± 0,03aD
20	16,02 ± 0,72aC	9,19 ± 0,51bC	7,82 ± 0,32cC
40	25,63 ± 1,23aB	17,24 ± 0,84bB	13,70 ± 1,04cB
60	41,29 ± 1,59aA	28,15 ± 1,17bA	21,51± 0,95cA

Legenda: Grupo 1: amostras de camarão armazenadas a -18 °C; Grupo 2 - amostras de camarão armazenadas a -40 °C; Grupo 3 - amostras de camarão armazenadas a -100 °C. Letra (a, b, c) iguais na mesma linha não apresenta diferença estatística entre as temperaturas no mesmo dia de armazenamento. Letras (A, B, C, D) iguais na mesma coluna não apresenta diferença estatística entre o tempo de armazenamento na mesma temperatura.

Há um aumento estatisticamente significativo nos valores de NVT em todos os grupos ao longo dos 60 dias de armazenamento ($p<0,05$). A deterioração proteica é um processo que se intensifica com o tempo,

especialmente em temperaturas de armazenamento menos rigorosas (Mao et al., 2020). No Grupo 1 (-18 °C), o aumento nos valores de NVT é mais acentuado, com os valores subindo de 16,02 mg/100g aos 20 dias para 41,29 mg/100g aos 60 dias, o que indica uma degradação proteica acelerada ao longo do tempo.

Nos Grupos 2 e 3, o aumento dos valores de NVT com o tempo foi menos intenso em comparação ao Grupo 1, confirmando a eficácia das temperaturas mais baixas em retardar a deterioração proteica. O Grupo 3 (-100 °C), em particular, apresentou o menor incremento, indicando que a oxidação proteica e a formação de compostos voláteis ocorrem de forma muito mais lenta a temperaturas ultra-baixas.

O aumento nos valores de NVT com o tempo pode ser atribuído à degradação proteica, que resulta na formação de aminas voláteis, amônia e outros compostos nitrogenados liberados à medida que as proteínas do camarão se degradam. Esse processo é facilitado por enzimas endógenas e pela ação microbiana. Em temperaturas mais elevadas, como -18 °C, a atividade das enzimas e microrganismos é apenas parcialmente inibida, o que permite a progressão da deterioração proteica com o tempo.

Os valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA) refletem a oxidação lipídica nas amostras de camarão armazenadas sob diferentes temperaturas de congelamento (-18 °C, -40 °C e -100 °C) ao longo de 60 dias de armazenamento. A análise dos dados da Tabela 3 revela variações estatisticamente significativas tanto em relação ao tempo de armazenamento quanto à temperatura de congelamento, destacando a influência direta dessas variáveis no desenvolvimento de compostos de oxidação lipídica.

Tabela 3 - Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBA) dos camarões submetidos ao congelamento (-18, -40, -100 °C) no decorrer de 60 dias de armazenamento.

Tempo (dias)	Grupo 1 (mg MA/kg)	Grupo 2 (mg MA/kg)	Grupo 3 (mg MA/kg)
0	0,21 ± 0,02aD	0,21 ± 0,01aD	0,21 ± 0,01aC
20	0,59 ± 0,05aC	0,37 ± 0,03bC	0,26 ± 0,04cC
40	1,24 ± 0,08aB	0,83 ± 0,05bB	0,49 ± 0,02cB

60	1,76 ± 0,10aA	1,32 ± 0,09bA	0,97 ± 0,11cA

Legenda: Grupo 1: amostras de camarão armazenadas a -18 °C; Grupo 2 - amostras de camarão armazenadas a -40 °C; Grupo 3 - amostras de camarão armazenadas a -100 °C. Letra (a, b, c) iguais na mesma linha não apresenta diferença estatística entre as temperaturas no mesmo dia de armazenamento. Letras (A, B, C, D) iguais na mesma coluna não apresenta diferença estatística entre o tempo de armazenamento na mesma temperatura.

Logo no tempo zero, as amostras dos três grupos apresentam valores de TBA semelhantes (0,21 mg MA/kg), indicando que o estado inicial das amostras era comparável em termos de oxidação lipídica. No entanto, ao longo do tempo, observam-se diferenças significativas entre os grupos, particularmente em temperaturas mais elevadas. As amostras armazenadas a -18 °C (Grupo 1) apresentaram o maior aumento de TBA com o tempo, atingindo 1,76 mg MA/kg após 60 dias. Esse comportamento está de acordo com o fato de que temperaturas mais altas, mesmo em ambiente de congelamento, permitem uma maior mobilidade de moléculas e facilitam reações de oxidação lipídicatro lado, as amostras do Grupo 2 (-40 °C) mostraram menor elevação nos níveis de TBA em relação ao Grupo 1, atingindo 1,32 mg MA/kg ao final de 60 dias. Esse comportamento confirma a hipótese de que temperaturas mais baixas reduzem a velocidade das reações de degradação lipídica, embora ainda ocorra oxidação progressiva.

O comportamento observado pode ser explicado pela cinética das reações de oxidação lipídica, que são altamente dependentes da temperatura. A oxidação lipídica é uma reação em cadeia que envolve a formação de radicais livres, que atacam os ácidos graxos insaturados, resultando na formação de aldeídos, como o malonaldeído (MA), que é o principal composto medido pelo teste de TBA. Nas temperaturas mais baixas, as reações enzimáticas e não enzimáticas responsáveis pela oxidação são significativamente retardadas, o que justifica os menores valores de TBA observados nos grupos congelados a -40 °C e -100 °C. Abaixo de -80 °C, por exemplo, a maioria das reações bioquímicas são praticamente interrompidas, o que explica os resultados ainda mais favoráveis nas amostras armazenadas a -100 °C.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram os valores de pH dos camarões submetidos ao congelamento a -18 °C, -40 °C e -100 °C ao longo de 60 dias de armazenamento. O valor do pH é um indicador relevante para a qualidade de alimentos, já que alterações nesse parâmetro estão associadas a mudanças na composição química, na atividade microbiana e na degradação de proteínas e lipídios (Ezquerra et al., 1997). O tempo de armazenamento também desempenhou um papel importante na variação dos valores de pH. Em todos os grupos, houve um aumento progressivo do pH ao longo dos 60 dias, o que indica que, mesmo em temperaturas ultra-baixas, a degradação dos componentes do camarão, embora desacelerada, continua a ocorrer com o tempo.

Tabela 4 – Valores de pH dos camarões submetidos ao congelamento (-18, -40, -100 °C) no decorrer de 60 dias de armazenamento.

Tempo (dias)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
0	6,8 ± 0,01aD	6,8 ± 0,01aD	6,8 ± 0,01aD
20	7,0 ± 0,03aC	6,9 ± 0,05bC	6,85 ± 0,02bC
40	7,3 ± 0,00aB	7,0 ± 0,01bB	6,9 ± 0,00cB
60	7,4 ± 0,02aA	7,1 ± 0,02bA	7,0 ± 0,03cA

Legenda: Grupo 1: amostras de camarão armazenadas a -18 °C; Grupo 2 - amostras de camarão armazenadas a -40 °C; Grupo 3 - amostras de camarão armazenadas a -100 °C. Letra (a, b, c) iguais na mesma linha não apresenta diferença estatística entre as temperaturas no mesmo dia de armazenamento. Letras (A, B, C, D) iguais na mesma coluna não apresenta diferença estatística entre o tempo de armazenamento na mesma temperatura.

As amostras armazenadas a -18 °C (Grupo 1) apresentaram o maior aumento no pH, alcançando 7,4 após 60 dias de armazenamento. Isso sugere que o congelamento a essa temperatura, embora preserve a estrutura dos camarões em algum grau, não foi suficiente para impedir a degradação proteica e a consequente formação de compostos básicos, como aminas, que levam ao aumento do Ph (Lan et al., 2020). Esse aumento está correlacionado com o aumento nos níveis de NVT, discutidos anteriormente, já que a degradação proteica libera compostos alcalinos, resultando em elevação do pH.

No Grupo 2 (-40 °C), o pH também aumentou, mas de forma menos pronunciada, atingindo 7,1 aos 60 dias. Isso reflete o fato de que temperaturas de congelamento mais baixas são mais eficazes em inibir a atividade enzimática e microbiana, retardando a degradação proteica e, consequentemente, o aumento do pH. O menor incremento do pH neste grupo está em linha com os menores valores de NVT observados para as amostras armazenadas a -40 °C.

O Grupo 3 (-100 °C) apresentou o menor aumento no pH, com um valor de 7,0 após 60 dias de armazenamento. O congelamento a -100 °C foi altamente eficaz em minimizar a degradação proteica e a formação de compostos alcalinos, refletindo uma preservação superior da qualidade do camarão. Isso está de acordo com os valores significativamente menores de NVT e TBA), indicando que o armazenamento a essa temperatura previne de maneira mais eficiente a deterioração das proteínas e lipídios.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo indicaram que o congelamento a -100 °C foi significativamente mais eficaz na preservação da qualidade dos camarões, apresentando os menores aumentos nos valores de NVT, TBA e pH ao longo do tempo de armazenamento, sugerindo que essa temperatura é ideal para minimizar a degradação proteica e lipídica. No entanto, o congelamento a -18 °C, embora amplamente utilizado na indústria, demonstrou ser menos eficiente, resultando em maior degradação proteica e lipídica, refletida nos altos valores de NVT, TBA e no aumento significativo do pH. Portanto, a adoção de tecnologias de congelamento a temperaturas mais baixas, como -40 °C ou -100 °C, pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade e segurança dos camarões congelados. No geral, o congelamento a temperaturas ultra-baixas é uma ferramenta promissora para a indústria de alimentos, garantindo maior preservação da qualidade dos camarões ao longo do armazenamento e proporcionando um produto final mais seguro para o consumidor.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es)

revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bao, Y., Wang, K., Yang, H., Regenstein, J., Ertbjerg, P., & Zhou, P. (2020). Protein degradation of black carp (Mylopharyngodon piceus) muscle during cold storage. *Food chemistry*, 308, 125576.

Bekhit, A., Holman, B., Giteru, S., & Hopkins, D. (2021). Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 280-302.

Bekhit, A., Holman, B., Giteru, S., & Hopkins, D. (2021). Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 280-302.

Ezquerra, J., García-Carreño, F., Civera, R., & Haard, N. (1997). pH-stat method to predict protein digestibility in white shrimp (Penaeus vannamei). *Aquaculture*, 157, 251-262.

Jin, L., Ding, G., Li, P., Gu, J., & Zhang, X. (2018). Changes in quality attributes of marine-trawling shrimp (Solenocera crassicornis) during storage under different deep-frozen temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2890-2898.

Kamali, M., Shabanpour, B., Parashuram, P., & Kordjazi, M. (2024). Evaluating shelf life and anti-browning of shrimp by chitosan-coated nanoliposome loaded with licorice root extract. *Food Chemistry: X*, 101532.

Lan, W., Hu, X., Sun, X., Zhang, X., & Xie, J. (2020). Effect of the number of freeze-thaw cycles number on the quality of Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei): An emphasis on moisture migration and microstructure by LF-NMR and SEM. *Aquaculture and Fisheries*, 5, 193-200.

Liu, J., Wang, Y., Zhu, F., Yang, J., Ma, X., Lou, Y., & Li, Y. (2022). The effects of freezing under a high-voltage electrostatic field on ice crystals formation, physicochemical indices, and bacterial communities of shrimp (Solenocera melantho). *Food Control*, *142*, 109238.

Shiekh, K., Benjakul, S., Qi, H., Zhang, B., & Deng, S. (2021). Combined hurdle effects of pulsed electric field and vacuum impregnation of Chamuang leaf extract on quality and shelf-life of Pacific white shrimp subjected to high voltage cold atmospheric plasma. *Food Packaging and Shelf Life*, 28.

Taher, T. B., Althaus, C. E., Tranter, P. J., & Evans, M. C. (2023). Impacts of shrimp aquaculture on the local communities and conservation of the world's largest protected mangrove forest. *Environmental Science & Policy*, *147*, 351-360.

Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M., & Taoukis, P. (2009). Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. *Lwt - Food Science and Technology*, 42, 664-671.

Vejan, A., Patimar, R., Jafaryan, H., Gholizadeh, M., Adineh, H., & Aghilinezhad, S. M. (2023). Population parameters of the non-indigenous invasive shrimp Palaemon macrodactylus Rathbun, 1902 (Caridea: Palaemonidae) from the southeastern Caspian Sea, with implications for range expansions, threats and conservation. *Marine Environmental Research*, *190*, 106078.

Wei, Q., Sun, Q., Dong, X., Kong, B., Ji, H., & Liu, S. (2024). Effect of static magnetic field-assisted freezing at different temperatures on muscle quality of pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei). *Food Chemistry*, *438*, 138041.

Zhang, B., Yan, H. B., Su, L. J., & Chen, X. N. (2020). Kappa-carrageenan oligosaccharides retard the progression of protein and lipid oxidation in mackerel (Scomber japonicus) fillets during frozen storage. *RSC advances*, *10*(35), 20827-20836.

Zhu, Z., Zhang, H., Liu, X., Zeng, Q., Sun, D. W., & Wang, Z. (2024). In situ investigation of ice fractions and water states during partial freezing of pork loins and shrimps. *Food Chemistry*, 140089.

Capítulo 05

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.05

EMBUTIDOS PREPARADOS COM BLENDS DE CARNE CAPRINA E BAGAÇO DE CAJU: COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Maria Tereza Sarmento de Fonseca – (ORCID: 0009-0003-8356-9461)
Anna Emanuelle Soares Tomé – (ORCID: 0000-0002-2332-3369)
Raquel Alves de Luna Dias –(ORCID: 0009- 0007-4807-8463)
José Nildo Vieira Deodato – (ORCID: 0000-0003-1456-6358)

1 INTRODUÇÃO

Os produtos cárneos, especialmente os embutidos, têm sido alvo de inovações tecnológicas para atender a demanda por alimentos mais saudáveis, sustentáveis, integrando novos ingredientes que possibilitem melhorias nutricionais e tecnológicas, além de contribuir para a sustentabilidade do processo produtivo. Nesse cenário, a carne caprina emerge como uma alternativa de grande potencial, enquanto subprodutos agroindustriais, como o bagaço de caju, oferecem uma solução inovadora para o desenvolvimento de produtos mais saudáveis e sustentáveis (Yalcintan et al., 2024; Holman et al., 2024).

A carne caprina é um alimento rico em proteínas de alto valor biológico, além de ser uma excelente fonte de ferro, vitaminas do complexo B e ácidos graxos insaturados, atributos que a posicionam como uma carne de excelente qualidade nutricional (Deng et al., 2024). Além disso, o consumo de carne caprina tem crescido em várias regiões do mundo devido ao seu sabor diferenciado e baixo teor de gordura intramuscular, o que atrai consumidores que buscam alternativas saudáveis às carnes tradicionais, como bovina e suína. No entanto, ainda há desafios em expandir o consumo de carne caprina devido à sua textura e características sensoriais mais firmes em comparação com outras carnes, o que limita sua aceitação em mercados amplos (Wang et al., 2023; Das et a., 2024).

Por outro lado, o bagaço de caju, um resíduo abundante da indústria de sucos e outros derivados do caju, tem chamado a atenção por seu potencial de aplicação na indústria alimentícia. O caju é amplamente cultivado em regiões tropicais, particularmente no Brasil, que é um dos maiores produtores mundiais da fruta (Ly et al., 2024). Após a extração do suco, o bagaço, que representa uma parte significativa do fruto, é frequentemente descartado ou subutilizado. Esse subproduto, no entanto, é rico em fibras alimentares, antioxidantes, vitaminas e minerais, tornando-o um ingrediente promissor para a fortificação de alimentos e melhoria de suas propriedades funcionais (Omeje et al., 2023). A incorporação de fibras, como as presentes no bagaço de caju, em produtos cárneos processados tem sido associada a diversos benefícios, como a melhoria da textura, maior retenção de água, redução do teor de gordura e aumento do valor nutricional (Talukder, 2015).

O uso de blends de carne caprina e bagaço de caju em embutidos pode representar uma inovação no mercado de alimentos processados, permitindo a elaboração de produtos que combinem o valor nutricional e funcional da carne caprina com as propriedades tecnológicas e saudáveis do bagaço de caju. Essa estratégia não apenas valoriza a carne caprina, promovendo seu consumo em novas formas, como também contribui para a sustentabilidade ao reaproveitar um resíduo agroindustrial que, de outra forma, seria descartado.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver embutidos de carne caprina com diferentes concentrações do bagaço de caju. Todas as formulações serão caracterizadas quanto a parâmetros nutricionais e qualidade microbiológica será avaliada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo do bagaço de caju

O bagaço de caju foi obtido de uma indústria de processamento de polpa e sucos localizadas no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O subproduto do processamento do caju (*Anacardium occidentale*) foi transportado em recipientes plásticos sob refrigeração (4 ºC) até o laboratório. Ao chegar ao local, o bagaço foi lavado com água corrente para remover resíduos sólidos, como sujeira ou partículas indesejadas, e depois drenado em peneiras de malha fina. Após o

processo de limpeza, o bagaço de caju foi submetido a um processo de secagem em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por 24 h, até atingir um teor de umidade inferior a 10%. O bagaço seco foi, então, triturado em moinho de facas e armazenado em embalagens plásticas herméticas, protegidas da luz e umidade, até o momento de sua incorporação às formulações de embutidos.

Preparo das formulações de embutidos

Três diferentes formulações de embutidos foram preparadas, variando a concentração do bagaço de caju seco incorporado, enquanto os outros ingredientes permanecerão constantes. As formulações foram feitas com carne caprina e gordura suína, além de temperos e aditivos típicos para embutidos, como sal, alho, pimenta-do-reino, noz-moscada e ervas desidratadas. As porcentagens e ingredientes para cada formulação é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Ingredientes e proporções utilizadas para desenvolver os embutidos de carne caprina e bagaço de caju.

Ingredientes	F1	F2	F3
Bagaço de caju seco	0%	5%	10%
Carne caprina	70%	70%	70%
Gordura suína	15%	15%	15%
Temperos (alho, pimenta-do-reino, noz-moscada e ervas desidratadas)	5%	5%	5%
Sal	1,5%	1,5%	1,5%

Preparo da massa

A carne caprina foi moída em moedor de carne com peneira de 8 mm, enquanto a gordura suína foi moída com peneira de 6 mm. A carne moída, a gordura e os demais ingredientes foram misturados manualmente até obtenção de uma massa homogênea. Nas formulações F2 e F3, o bagaço de caju seco foi incorporado à massa junto com os temperos e aditivos.

Embutimento e cocção

A massa resultante foi embutida em tripas naturais de colágeno utilizando uma ensacadeira manual. As amostras foram amarradas em segmentos de 10 cm e submetidas à cocção em forno a 80 °C até que a temperatura interna atingisse 72 °C. Após a cocção, os embutidos foram resfriados à temperatura ambiente e, em seguida, armazenados sob refrigeração (4 °C) até a realização das análises.

Determinação da composição nutricional

Teor de água

O teor de água foi determinado por secagem em estufa a 105 ºC até peso constante, conforme o método descrito pela AOAC (2016). Aproximadamente 5 g de amostra foram pesados em cápsulas previamente taradas e secas, sendo o teor de umidade expresso pela diferença de massa antes e após a secagem.

Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a AOAC (2016), por incineração das amostras em mufla a 550 ºC por 4 h. Para isso, cerca de 3 g de amostra foram pesados em cadinhos de porcelana e, após a incineração, os cadinhos foram resfriados em dessecador e pesados para calcular o teor de cinzas.

Teor de lipídeos

O teor de lipídios foi determinado pelo método Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente. Aproximadamente 5 g de amostra seca foram extraídos em sistema Soxhlet por 6 horas. Após a extração, o solvente foi evaporado, e o resíduo lipídico obtido foi seco em estufa a 105 ºC para quantificação (AOAC, 2016).

Teor de proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo método Kjeldahl, que quantifica o nitrogênio total presente nas amostras. Cerca de 1 g de amostra foi submetido à digestão com ácido sulfúrico concentrado na presença de catalisadores. O

nitrogênio liberado foi destilado e titulado, sendo o teor de proteínas calculado utilizando o fator de conversão de 6,25 (AOAC, 2016).

Análise microbiológica

Para a análise microbiológica, todas as amostras de embutidos foram submetidas à avaliação dos parâmetros de *Staphylococcus* e à pesquisa de *Salmonella* sp., seguindo os procedimentos descritos na metodologia oficial da Instrução Normativa n° 62, de 26 de agosto de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Para a comparação entre as médias das diferentes formulações, aplicou-se a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey, com nível de significância estabelecido em $p < 0,05$, para determinar as diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados dos teores de água e cinzas das três formulações de embutidos elaborados com carne caprina e diferentes concentrações de bagaço de caju. Observa-se que a adição do bagaço de caju afetou significativamente esses parâmetros ($p<0,05$).

Tabela 2 – Teor de água e cinzas dos embutidos elaborados com carne caprina e bagaço de caju.

Formulações	Teor de água (%)	Teor de cinzas (%)
F1	59,15 ± 0,11a	0,52 ± 0,17c
F2	53,66 ± 0,35b	2,54 ± 0,29b
F3	48,74 ± 0,31c	3,15 ± 0,51a

Legenda: F1: embutido controle sem adição do bagaço de caju; F2: embutido elaborado com 5% de bagaço de caju; F3: embutido elaborado com 10% de

bagaço de caju. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística entre as formulações para o mesmo parâmetro.

O teor de água diminuiu progressivamente de 59,15% para 48,74% com o aumento da concentração de bagaço de caju ($p<0,05$) nas formulações. A diferença significativa entre as formulações sugere que o bagaço de caju, por ser um ingrediente seco, contribuiu para a redução do conteúdo de umidade nos embutidos. Este efeito pode estar relacionado à capacidade de absorção de água do bagaço de caju, que reduz a disponibilidade de água livre na matriz do embutido, o que, por sua vez, pode influenciar as características tecnológicas, como textura e estabilidade dos produtos (Yang et al., 2007).

Quanto ao teor de cinzas, que está relacionado ao conteúdo mineral das amostras, houve um aumento significativo com a adição de bagaço de caju ($p<0,05$). A formulação F1, sem o bagaço, apresentou o menor teor de cinzas (0,52%), enquanto a F3, com 10% de bagaço, registrou o maior valor (3,15%). Esse aumento no teor de cinzas é esperado, pois o bagaço de caju é uma fonte rica em minerais, e a inclusão crescente do resíduo nas formulações naturalmente eleva o conteúdo mineral total dos embutidos. Este aumento pode conferir benefícios nutricionais aos produtos, uma vez que a elevação no teor de cinzas pode indicar maior concentração de minerais essenciais, como cálcio, potássio e magnésio, que estão presentes no bagaço de caju.

A adição de bagaço de caju, além de influenciar o teor de água e de cinzas, tem implicações importantes tanto na qualidade nutricional quanto nas características tecnológicas dos embutidos. A redução do teor de água com o aumento do bagaço pode contribuir para melhorar a estabilidade e prolongar a vida útil dos produtos, uma vez que menor teor de umidade está associado a uma menor atividade de água, que, por sua vez, limita o crescimento microbiano (Stark & Firestone, 1995). Além disso, o aumento no teor de cinzas pode tornar o embutido uma fonte potencialmente mais rica em minerais, agregando valor nutricional ao produto final.

A Tabela 3 apresenta os teores de lipídeos e proteínas das três formulações de embutidos elaborados com carne caprina e diferentes concentrações de bagaço de caju. A adição do bagaço de caju nas formulações

influenciou significativamente esses parâmetros ($p<0,05$), destacando-se o efeito do bagaço no perfil nutricional dos embutidos.

O teor de lipídeos diminuiu com o aumento da quantidade de bagaço de caju nas formulações, variando de 12,09% (F3) a 15,81% (F1). Essa redução pode ser atribuída à substituição parcial da carne caprina pelo bagaço de caju, que possui um teor de gordura muito menor em comparação com a carne. Assim, o aumento da concentração do bagaço nas formulações contribuiu para a diminuição global do teor de gordura nos embutidos, o que pode ser benéfico do ponto de vista nutricional, dado que dietas com menor teor de gordura são frequentemente associadas à prevenção de doenças cardiovasculares e obesidade.

Tabela 3 – Teor de lipídeos e proteínas dos embutidos elaborados com carne caprina e bagaço de caju.

Formulações	Teor de lipídeos (%)	Teor de proteínas (%)
F1	15,81 ± 0,26a	18,04 ± 0,40b
F2	13,63 ± 0,21b	19, 60 ± 0,32a
F3	12,09 ± 0,32c	20,33 ± 0,56a

Legenda: F1: embutido controle sem adição do bagaço de caju; F2: embutido elaborado com 5% de bagaço de caju; F3: embutido elaborado com 10% de bagaço de caju. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística entre as formulações para o mesmo parâmetro.

O teor de proteínas aumentou progressivamente com a inclusão do bagaço de caju. A formulação controle (F1) apresentou um teor de proteínas de 18,04% e a F3, com 10% de bagaço, registrou o maior teor proteico (20,33%), no entanto, as formulações F2 e F3 não apresentaram diferença estatística significativa ($p>0,05$). Este aumento no teor de proteínas pode estar relacionado à própria composição do bagaço de caju, que contém frações proteicas, além de contribuir para o aumento da concentração de proteínas totais ao substituir parte da carne.

De modo geral, a inclusão de bagaço de caju como ingrediente funcional em embutidos não apenas agrega valor nutricional, mas também contribui para

a formulação de produtos mais saudáveis, alinhados com as tendências atuais de consumo de alimentos ricos em proteínas e com menor teor de gordura.

Os resultados da análise microbiológica das três formulações de embutidos elaborados com carne caprina e diferentes concentrações de bagaço de caju demonstram a segurança microbiológica dos produtos, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Avaliação microbiológica dos embutidos elaborados com carne caprina e bagaço de caju.

Formulações	***Staphylococcus*** **(UFC/g)**	***Salmonella*** **sp. (25g)**
F1	$<10^1$	Ausente
F2	$<10^1$	Ausente
F3	$<10^1$	Ausente

Legenda: F1: embutido controle sem adição do bagaço de caju; F2: embutido elaborado com 5% de bagaço de caju; F3: embutido elaborado com 10% de bagaço de caju.

A baixa contagem de *Staphylococcus* em todas as formulações ($<10^1$ UFC/g) demonstra um controle eficiente durante o processamento, manipulação e armazenamento dos embutidos. Esse resultado é importante, uma vez que *Staphylococcus aureus*, quando presente em níveis elevados, pode produzir toxinas termoestáveis que não são destruídas pelo cozimento, representando um risco à saúde pública. A contagem abaixo do limite de detecção evidencia que as boas práticas de fabricação e higienização foram adequadamente seguidas, minimizando a contaminação (Ortega et al., 2010).

A ausência de *Salmonella* sp. em todas as amostras reforça a segurança microbiológica dos embutidos. A *Salmonella* é uma bactéria patogênica de grande preocupação na indústria de alimentos, sendo responsável por graves intoxicações alimentares (Ehuwa et al., 2021). A não detecção dessa bactéria nas formulações, especialmente considerando a inclusão do bagaço de caju, demonstra que o processamento e os controles de temperatura durante a fabricação dos embutidos foram eficazes na prevenção de contaminações.

É importante notar que a adição do bagaço de caju, em diferentes concentrações (5% e 10%), não comprometeu a qualidade microbiológica das formulações. Isso é relevante porque o uso de ingredientes não convencionais, como resíduos agroindustriais, pode trazer preocupações sobre potenciais contaminações. No entanto, os resultados obtidos indicam que o bagaço de caju não introduziu riscos microbiológicos adicionais, reforçando seu potencial como um ingrediente seguro e funcional para a indústria de alimentos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a adição de bagaço de caju nas formulações de embutidos de carne caprina influenciou positivamente os parâmetros nutricionais e manteve a qualidade microbiológica dentro dos padrões de segurança alimentar. A inclusão de 5% e 10% de bagaço de caju resultou em uma diminuição significativa do teor de água e lipídeos, ao mesmo tempo em que aumentou o teor de proteínas e cinzas, indicando uma formulação nutricionalmente mais densa. Além disso, a análise microbiológica confirmou a ausência de Salmonella sp. e baixos níveis de *Staphylococcus*, garantindo a segurança do produto. Esses resultados demonstram o potencial do bagaço de caju como um ingrediente funcional na produção de embutidos mais saudáveis e sustentáveis, sem comprometer a segurança e a qualidade do produto final.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. (2016). Official methods of analysis of AOAC International (20th ed.). AOAC International.

Das, A., Biswas, S., Nanda, P. K., Chatterjee, N., Pal, S., Dhar, P., ... & Das, A. K. (2024). Moringa pod derived antioxidant dietary fibre as a quality enhancer in goat meat nuggets. *Sustainable Food Technology*, *2*(1), 232-242.

Deng, K., Liu, Z., Su, Y., Fan, Y., Zhang, Y., & Wang, F. (2024). Comparison of muscle fiber characteristics and meat quality between newborn and adult Haimen goats. *Meat Science*, *207*, 109361.

Ehuwa, O., Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2021). Salmonella, Food Safety and Food Handling Practices. *Foods*, 10.

Holman, B. W., Toohey, E. S., Lamb, T. A., & Hopkins, D. L. (2024). Electrical stimulation and wet ageing effects on the carcass and meat quality of Australian rangeland goats. *Meat Science*, *217*, 109613.

Ly, T. B., Pham, C. D., Nguyen, A. N., Nguyen, A. N., Nguyen, N. T., Nguyen, L. V., ... & Le, P. K. (2024). Techno-economic analysis case study of energy production utilizing cashew shell agro-waste in Vietnam. *Energy for Sustainable Development*, *80*, 101423.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2003). *Instrução Normativa n° 62, de 26 de agosto de 2003*. Estabelece métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. Diário Oficial da União, Brasília.

Omeje, K. O., Nnolim, N. E., Ezema, B. O., Ozioko, J. N., Ossai, E. C., & Eze, S. O. O. (2023). Valorization of agro-industrial residues for pectinase production by Aspergillus aculeatus: application in cashew fruit juice clarification. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, *4*, 100038.

Omeje, K. O., Nnolim, N. E., Ezema, B. O., Ozioko, J. N., Ossai, E. C., & Eze, S. O. O. (2023). Valorization of agro-industrial residues for pectinase production by Aspergillus aculeatus: application in cashew fruit juice clarification. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, *4*, 100038.

Ortega, E., Abriouel, H., Lucas, R., & Gálvez, A. (2010). Multiple Roles of Staphylococcus aureus Enterotoxins: Pathogenicity, Superantigenic Activity, and Correlation to Antibiotic Resistance. *Toxins*, 2, 2117 - 2131.

Stark, J., & Firestone, M. (1995). Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 218 - 221.

Talukder, S. (2015). Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 1005 - 1011.

Wang, J., Ren, B., Bak, K. H., Soladoye, O. P., Gagaoua, M., Ruiz-Carrascal, J., ... & Wu, W. (2023). Preservative effects of composite biopreservatives on goat meat during chilled storage: Insights into meat quality, high-throughput sequencing and molecular docking. *LWT*, *184*, 115033.

Yalcintan, H., Kecici, P. D., Yilmaz, A., & Ekiz, B. (2024). Carcass characteristics and meat quality of goat kids according to the Colomer–Rocher carcass fatness and conformation classes. *Meat Science*, *214*, 109521.

Yang, H., Choi, S., Jeon, J., Park, G., & Joo, S. (2007). Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifying agents.. *Meat science*, 75 2, 283-9.

Capítulo 06

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.06

EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE CABEÇAS DE TILÁPIA E SUA UTILIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MICROESFERAS DE ALGINATO POR ELETROPULVERIZAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUIMICA E EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAMENTO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Fábio Gomes Teles –(ORCID: 0009-0007-7552-3147)
Anna Emanuelle Soares Tomé –(ORCID: 0000-0002-2332-3369)
Larissa da Silva Santos Pinheiro – (ORCID: 0000-0001-8483-4608)
Juliana Maria Aderaldo Vidal Campello –(ORCID: 0000-0003-3878-8393)
José Nildo Vieira Deodato – (ORCID: 0000-0003-1456-6358)

1 INTRODUÇÃO

A tilápia (*Oreochromis niloticus*) destaca-se como uma das espécies de peixes de água doce mais cultivadas em escala global, principalmente devido à sua adaptabilidade a uma ampla variedade de condições ambientais, bem como ao seu rápido crescimento e alta qualidade nutricional (Nehemia & Umbayda, 2024; Shija et al., 2024). Essa popularidade crescente, tanto no mercado nacional quanto internacional, promove um expressivo volume de produção, que, por sua vez, gera uma quantidade significativa de resíduos, incluindo cabeças, espinhas, vísceras e pele (Gao et al., 2020). Atualmente, a utilização dos subprodutos da tilápia ainda é um desafio, mas a valorização desses materiais representa uma oportunidade estratégica para a implementação de processos mais sustentáveis e para o desenvolvimento de produtos inovadores e com alto valor agregado (Duarte et al., 2020; Airouyuwa et al., 2024).

Entre os subprodutos da tilápia, as cabeças apresentam um notável potencial para a extração de óleo rico em ácidos graxos essenciais, como ômega-3 e ômega-6, compostos amplamente reconhecidos por seus efeitos benéficos à saúde, incluindo a promoção de funções cardiovasculares saudáveis, propriedades anti-inflamatórias, e possíveis benefícios cognitivos (Aguiar et al., 2011; Teoh & Ng, 2016). Esses ácidos graxos são altamente procurados nas indústrias alimentícia e nutracêutica, visto que são essenciais ao

organismo humano e possuem ampla aceitação no mercado consumidor (Ongis et al., 2023; Quirós-Pozo et al., 2025). No entanto, o óleo de tilápia extraído de cabeças enfrenta desafios para sua preservação e aplicação, especialmente devido à sua susceptibilidade à oxidação, que pode comprometer sua estabilidade e a viabilidade de seu uso em produtos comerciais (Menegazzo et al., 2016; He et al., 2018; Matiucci et al., 2023).

A encapsulação desse óleo é uma alternativa promissora para superar tais limitações, oferecendo proteção contra fatores ambientais e permitindo uma liberação controlada dos compostos bioativos (Alfatama & Choukaife, 2024). Entre as técnicas de encapsulação disponíveis, a eletropulverização destaca-se pela sua capacidade de produzir microesferas uniformes, em escala micrométrica ou nanométrica, protegendo o óleo encapsulado de processos de degradação, como a oxidação, e permitindo um melhor controle sobre sua liberação em produtos finais (Busolo et al., 2019). Essa técnica consiste na utilização de um campo elétrico para dispersar uma solução de óleo e polímero, formando microgotas que rapidamente solidificam, resultando em microesferas de tamanho controlado (Bock et al., 2011). Esse método é particularmente adequado para compostos sensíveis como o óleo de peixe, proporcionando uma barreira física que aumenta a estabilidade e prolonga a vida útil dos compostos bioativos (Liu et al., 2020).

Para a formação das microesferas, o alginato de sódio é um biopolímero amplamente utilizado, devido às suas propriedades de biocompatibilidade, baixa toxicidade e capacidade de formar géis em contato com íons divalentes, como o cálcio (Yeung & Kennedy, 2019). Derivado de algas marinhas, o alginato possui uma estrutura que permite a criação de matrizes estáveis, sendo um material de escolha em encapsulações de compostos lipídicos e hidrofóbicos (Frent et al., 2022).

Neste estudo, primeiramente, o óleo extraído das cabeças de tilápia será caracterizado para determinar seu rendimento e qualidade por meio de parâmetros físico-químicos, como índice de peróxido, índice de saponificação, índice de acidez e índice de iodo. Posteriormente, a produção das microesferas de alginato por eletropulverização será realizada, com a caracterização das esferas resultantes em termos de tamanho de partícula, eficiência de encapsulamento e capacidade de carga. Este estudo, portanto, propõe-se a

oferecer uma base para futuras investigações sobre o uso de resíduos de pescado, promovendo uma abordagem ecologicamente correta e economicamente vantajosa para a produção de microesferas com aplicações potencialmente amplas na indústria.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Recepção e pré-processamento das cabeças de tilápia

As cabeças de tilápia foram coletadas em uma unidade de processamento de pescado localizada na cidade de Natal-RN, Brasil, seguindo todas as diretrizes de higiene e segurança. Após a recepção, as cabeças foram limpas para remoção de impurezas e resíduos de tecidos. Em seguida, foram congeladas a -18 °C até o momento do processamento para garantir a preservação dos compostos lipídicos e minimizar a oxidação. Inicialmente, as cabeças foram lavadas em água tratada e, em seguida, moídas em moedor elétrico de carne. Adicionou-se 0,01% p/p de hidroxitolueno butilado (BHT) por kg à massa. No momento da extração do óleo, as cabeças foram descongeladas em temperatura ambiente.

Extração do óleo bruto

A extração do óleo das cabeças de tilápia foi realizada por meio de um processo de aquecimento e prensagem, visando maximizar o rendimento e preservar a qualidade dos lipídios. Inicialmente, as cabeças trituradas foram submetidas a aquecimento controlado a 60 °C por 30 min, facilitando a liberação do óleo. Após o aquecimento, o material foi prensado mecanicamente para extração do óleo, que foi então coletado e filtrado para remoção de sólidos residuais. O óleo extraído foi armazenado em frascos âmbar a 4 °C para evitar degradação oxidativa e proteger suas propriedades físico-químicas até a realização das análises.

Rendimento do Óleo

O rendimento foi calculado com base na massa total de óleo obtida em relação à massa inicial das cabeças de tilápia utilizadas. Os resultados foram expressos em porcentagem (%), em relação ao peso da amostra inicial.

Índice de Peróxido

O índice de peróxido foi determinado pelo método AOCS Cd 8b-90, para quantificar o nível de oxidação inicial dos lipídios, expresso em miliequivalentes de oxigênio por quilograma de óleo (mEq/kg).

Índice de Saponificação

O índice de saponificação foi medido para determinar o peso molecular médio dos ácidos graxos presentes, de acordo com o método AOCS Cd 3-25, expresso em miligramas de KOH por grama de óleo (mg KOH/g).

Índice de Acidez

O índice de acidez foi determinado pelo método AOCS Ca 5a-40, que indica o teor de ácidos graxos livres no óleo, expresso em porcentagem (%).

Índice de Iodo

O índice de iodo foi realizado para quantificar o grau de insaturação do óleo, de acordo com o método Wijs (AOCS Cd 1-25), expressando o número de gramas de iodo absorvidos por 100 g de óleo (gI/100g).

Preparação da solução de alginato e óleo e formação das microesferas

Uma solução de alginato de sódio a 2% e 4% (m/v) foi preparada em água destilada e agitada até completa dissolução. O óleo extraído foi então adicionado à solução na proporção de 1:2, sob agitação a 1500 rpm. A solução de alginato e óleo foi introduzida em uma seringa conectada a um sistema de eletropulverização. O processo foi conduzido aplicando uma voltagem de 15 kV e uma vazão de 0,5 mL/min, com distância de 10 cm entre a agulha e a placa coletora, onde foi disposta uma solução de cloreto de cálcio a 1% (m/v) para promover a gelificação das microesferas ao contato com os íons de cálcio.

À medida que as gotículas eram ejetadas sob o efeito do campo elétrico, elas se transformavam em microesferas ao entrar em contato com a solução de cloreto de cálcio. Após a formação, as microesferas foram coletadas, lavadas e armazenadas em condições refrigeradas até as análises.

Eficiência de encapsulamento (EE)

A eficiência de encapsulamento foi determinada pela quantidade de óleo efetivamente encapsulada nas microesferas em relação à quantidade total de óleo adicionada à solução de alginato. A Equação 1 foi utilizada para esse cálculo.

$$EE\ (\%) = \frac{\text{Óleo encapsulado}}{\text{óleo total adicionado}} x100 \quad (1)$$

Onde: EE é a eficiência de encapsulamento (%)

Tamanho de partícula

As dimensões das microesferas foram determinadas utilizando um microscópio óptico acoplado a um sistema de análise de imagens. O diâmetro médio foi calculado com base nas medições de um conjunto de microesferas (n ≥ 100). Os resultados foram expressos em µm.

Capacidade de Carga (CC)

A capacidade de carga foi calculada para determinar a quantidade de óleo presente em relação à massa total de microesferas, para esse fim, a Equação 2 foi utilizada.

$$CC\ (\%) = \frac{\text{Óleo encapsulado}}{\text{massa total de microesfera}} x100 \quad (2)$$

Onde: CC é capacidade de carga (%).

Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicata, e os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. A análise estatística foi conduzida utilizando o teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), para avaliar as diferenças significativas entre as concentrações de alginato.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta o rendimento de extração e a caracterização físico-química do óleo extraído das cabeças de tilápia (*Oreochromis niloticus*).

Tabela 1 – Rendimento de extração e caracterização físico-química do óleo extraído das cabeças de tilápia (*Oreochromis niloticus*).

Parâmetros	**Óleo (média ± desvio padrão)**
Rendimento (%)	39,45 ± 1,20
Índice de peróxido (mEq/kg)	2,18 ± 0,36
Índice de saponificação (mg KOH/g)	156,37 ± 0,67
Índice de acidez (%)	1,15 ± 0,24
Índice de iodo (gI/100g)	104,59 ± 0,50

O óleo extraído das cabeças de tilápia apresentou rendimento de 39,45%, evidenciando o potencial de aproveitamento deste subproduto, com um rendimento competitivo em comparação com outros métodos de extração para óleos de pescado. Esse resultado é relevante para aplicações industriais, pois sugere um bom aproveitamento da matéria-prima residual. Valores baixos de índice de peróxido (2,18 mEq/kg) são desejáveis, pois sugerem que o óleo possui boa estabilidade oxidativa e que a extração e o armazenamento inicial foram adequados para evitar a degradação. O índice de peróxido encontrado está abaixo dos limites recomendados para óleos comestíveis, o que sugere boa qualidade para potenciais aplicações nutracêuticas e alimentícias.

O índice de saponificação foi de 156,37 mg KOH/g, característico de óleos com ácidos graxos de cadeia média e longa, favoráveis para encapsulação. O índice de acidez de 1,15% indica baixa degradação hidrolítica, enquanto o índice de iodo de 104,59 gI/100g revela alto teor de ácidos graxos insaturados, adequados para aplicações nutracêuticas. Além disso, o alto grau de insaturação é vantajoso para a encapsulação, uma vez que pode contribuir para as propriedades bioativas do óleo encapsulado.

A Tabela 2 apresenta os resultados de eficiência de encapsulamento, tamanho de partícula e capacidade de carga para microesferas preparadas com soluções de alginato de sódio a 2% (M1) e 4% (M2).

Tabela 2 – Eficiência de encapsulamento, tamanho de partícula e capacidade de carga das microesferas preparadas com solução de alginato de sódio a 2% e 4%.

Parâmetros	**M1**	**M2**
Eficiência de encapsulamento (%)	98,52 ± 0,50a	99,16 ± 0,84a
Tamanho de partícula (μm)	325,14 ±15,02a	331,53 ± 9,10a
Capacidade de carga (%)	18,09 ± 0,40b	21,77 ± 0,63a

Legenda: M1: Microesferas preparadas com solução de alginato de sódio a 2% (m/v); M2: Microesferas preparadas com solução de alginato de sódio a 4% (m/v); Letras iguais na mesma linha, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as amostras (M1 e M2).

A eficiência de encapsulamento foi elevada em ambas as concentrações, com valores de 98,52% para M1 e 99,16% para M2, sem diferença estatística significativa entre elas ($p>0,05$), indicando que ambas as concentrações proporcionaram excelente retenção do óleo dentro das microesferas. Isso indica que a matriz de alginato, em ambas as concentrações, foi eficaz na retenção do óleo. Esse comportamento pode ser atribuído à boa interação entre o alginato e o óleo, independentemente da concentração. O alginato forma uma rede polimérica densa e estável que protege o núcleo lipídico, impedindo a perda de óleo durante a encapsulação (Marquis et al., 2016). Assim, o aumento da concentração não foi determinante para a eficiência, pois a matriz já oferece uma barreira eficiente para o óleo em ambas as formulações.

Quanto ao tamanho de partícula, observou-se um aumento nos valores ao passar de 325,14 μm em M1 para 331,53 μm em M2, porém essa variação também não foi estatisticamente significativa ($p>0,05$). Esse resultado pode estar associado ao efeito da viscosidade da solução de alginato, que tende a aumentar com maiores concentrações. A solução mais viscosa cria gotículas ligeiramente maiores durante a formação das microesferas (Séquier et al., 2014), mas o aumento de 2% para 4% de alginato aparentemente não foi suficiente para causar uma variação expressiva no tamanho das partículas.

Já a capacidade de carga apresentou um aumento significativo com o aumento da concentração de alginato, passando de 18,09% em M1 para 21,77%

em M2 ($p<0,05$). Esse comportamento pode ser explicado pela maior densidade e compactação da matriz polimérica em concentrações mais altas de alginato, o que cria uma estrutura que consegue incorporar uma maior quantidade de óleo em relação ao peso total da microesfera. O aumento da capacidade de carga também sugere uma maior eficiência no uso da matriz de alginato para armazenamento de óleo, tornando a formulação com 4% de alginato mais vantajosa para aplicações onde uma maior retenção de ativo é desejável (Mokhtari et al., 2017).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados, conclui-se que o óleo extraído das cabeças de tilápia possui características físico-químicas adequadas, com baixo índice de peróxido e alto teor de ácidos graxos insaturados, o que reforça seu potencial para aplicações em produtos nutracêuticos e funcionais. A encapsulação desse óleo em microesferas de alginato demonstrou alta eficiência de encapsulamento e maior capacidade de carga em concentrações mais altas de alginato, sem variações significativas no tamanho das partículas. Tais características evidenciam a viabilidade de utilização do óleo encapsulado em formulações destinadas à liberação controlada e proteção contra oxidação. Para estudos futuros, recomenda-se investigar a estabilidade do óleo encapsulado em diferentes condições de armazenamento, bem como explorar a liberação e a biodisponibilidade do óleo em simulações de ambientes digestivos, visando expandir suas aplicações em alimentos e suplementos.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, A., Cottica, S., Boroski, M., Sargi, S., Prado, I., Bonafé, E., França, P., Souza, N., & Visentainer, J. (2011). Effects of the flaxseed oil on the fatty acid composition of tilapia heads. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 269-274.

Airouyuwa, J. O., Khan, H., Mostafa, H., Mudgil, P., & Maqsood, S. (2024). A comparative study on sequential green hybrid techniques (ultrasonication, microwave and high shear homogenization) for the extraction of date seed bioactive compounds and its application as an additive for shelf-life extension of Oreochromis niloticus. *Ultrasonics Sonochemistry*, 107094.

Alfatama, M., & Choukaife, H. (2024). Fish oil alginate microspheres produced via wave-based drop-on-demand jetting electrospray: Improving stability and palatability. Food Bioscience, 61, 104852.

Bock, N., Woodruff, M., Hutmacher, D., & Dargaville, T. (2011). Electrospraying, a Reproducible Method for Production of Polymeric Microspheres for Biomedical Applications. *Polymers*, 3, 131-149.

Busolo, M. A., Torres-Giner, S., Prieto, C., & Lagaron, J. M. (2019). Electrospraying assisted by pressurized gas as an innovative high-throughput process for the microencapsulation and stabilization of docosahexaenoic acid-enriched fish oil in zein prolamine. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *51*, 12-19.

Duarte, F., Paula, F., Prado, C., Santos, R., Rezendea, C., Gebara, C., & Lage, M. (2020). Better fatty acids profile in fillets of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) supplemented with fish oil. *Aquaculture*, 736241.

Frent, O., Vicaș, L., Duțeanu, N., Morgovan, C., Jurca, T., Pallag, A., Mureșan, M., Filip, S., Lucaciu, R., & Marian, E. (2022). Sodium Alginate—Natural

Microencapsulation Material of Polymeric Microparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 23.

Gao, P., Li, L., Xia, W., Xu, Y., & Liu, S. (2020). Valorization of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fish head for a novel fish sauce by fermentation with selected lactic acid bacteria. *LWT*, *129*, 109539.

He, Q., Gong, B., He, J., Yang, X., Xiao, K., & Zhu, L. (2018). A novel superchilling storage - ice glazing (SS-IG) approach using biopolymer-based composite hydrogel to delay microbiological spoilage and organic oxidation of preserved tilapia.. *Journal of the science of food and agriculture*, 98 13, 5045-5051.

Liu, Z., Ye, W., Zheng, J., Wang, Q., Ma, G., Liu, H., & Wang, X. (2020). Hierarchically electrospraying a PLGA@chitosan sphere-in-sphere composite microsphere for multi-drug-controlled release. *Regenerative Biomaterials*, 7, 381 - 390.

Marquis, M., Alix, V., Capron, I., Cuenot, S., & Zykwinska, A. (2016). Microfluidic Encapsulation of Pickering Oil Microdroplets into Alginate Microgels for Lipophilic Compound Delivery.. *ACS biomaterials science & engineering*, 2 4, 535-543.

Matiucci, M., Santos, I., Silva, N., Santos, P., Oliveira, G., Corrêa, S., Araujo, E., Said, R., Silva, J., Chambo, A., Campos, T., Santos, O., Alcalde, C., Souza, M., & Feihrmann, A. (2023). Use of Nile tilapia (Oreocromis niloticus) processing residues in the production of pâtés with the addition of oregano (Origanum vulgare) essential oil. *PLOS ONE*, 18.

Menegazzo, M., Petenucci, M., & Fonseca, G. (2016). Quality assessment of Nile tilapia and hybrid sorubim oils during low temperature storage. *Food bioscience*, 16, 1-4.

Mokhtari, S., Jafari, S., & Assadpour, E. (2017). Development of a nutraceutical nano-delivery system through emulsification/internal gelation of alginate.. *Food chemistry*, 229, 286-295.

Nehemia, A., & Umbayda, T. (2024). The current population genetic status of Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) along the Malagarasi River, Tanzania. *Ecological Genetics and Genomics*, *33*, 100293.

Ongis, M., Liese, D., Di Marcoberardino, G., Gallucci, F., & Binotti, M. (2023). Modelling of fish oil enzymatic transesterification for ω-3 fatty acids enrichment in membrane reactors. In *16th International Conference on Catalysis in Membrane Reactors*.

Quirós-Pozo, R., Roo, J., Izquierdo, M., Koven, W., Ramírez-Bolaños, S., Ventura-Castellano, A., ... & Robaina, L. (2025). Effective complete replacement of fish oil by linseed oil in diets for thick-lipped grey mullet (Chelon labrosus) juveniles reared at three environmental salinities. Aquaculture, 594, 741425.

Séquier, F., Faivre, V., Daste, G., Renouard, M., & Lesieur, S. (2014). Critical parameters involved in producing microspheres by prilling of molten lipids: from theoretical prediction of particle size to practice.. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics : official journal of Arbeitsgemeinschaft fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik e.V*, 87 3, 530-40.

Shija, V. M., Zakaria, G. E., Amouh, K., Yi, L., Masanja, F., Yong, Z., ... & Cai, J. (2024). Dietary administration of Bacillus amyloliquefaciens AV5 on antioxidant activity, blood parameters, and stress responses of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) raised under hypoxia and temperature variability. *Microbial Pathogenesis*, 107067.

Teoh, C., & Ng, W. (2016). The implications of substituting dietary fish oil with vegetable oils on the growth performance, fillet fatty acid profile and modulation of the fatty acid elongase, desaturase and oxidation activities of red hybrid tilapia, Oreochromis sp.. *Aquaculture*, 465, 311-322.

Yeung, R., & Kennedy, R. (2019). A comparison of selected physico-chemical properties of calcium alginate fibers produced using two different types of sodium

alginate.. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 90, 155-164.

Capítulo 07

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.07

PRODUÇÃO DE QUITOSANA A PARTIR DE CASCAS DE CAMARÃO E SUA APLICAÇÃO PARA EMBALAGENS DE ALIMENTOS

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Fábio Gomes Teles – (ORCID: 0009-0007-7552-3147)
Anna Emanuelle Soares Tomé – (ORCID: 0000-0002-2332-3369)
Priscylla Palmeira Diniz Rosendo – (ORCID: 0000-0001-7261-8553)
Juliana Maria Aderaldo Vidal Campello – (ORCID: 0000-0003-3878-8393)

1 INTRODUÇÃO

A quitosana, um biopolímero derivado da quitina, tem despertado crescente interesse nas últimas décadas devido às suas propriedades e à possibilidade de ser obtida a partir de fontes renováveis, como as cascas de crustáceos (Nimitkeatkai et al., 2024). A abundância de cascas de camarão, um subproduto comum da indústria pesqueira e de processamento de alimentos, oferece uma oportunidade sustentável para a produção de quitosana, agregando valor a resíduos frequentemente descartados e reduzindo o impacto ambiental associado ao descarte inadequado desses materiais (Fu et al., 2019; Zang et al., 2017). Os resíduos de camarão são compostos principalmente por quitina, que representa cerca de 30% a 50% de sua composição, além de proteínas, lipídios, minerais e um conteúdo significativo de água, tornando-os uma fonte rica e subutilizada para a produção de quitosana (Hosney et al., 2022; Pakizeh et al., 2021).

Nesse contexto, a utilização de cascas de camarão como matéria-prima para a obtenção de quitosana apresenta-se como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de produtos biodegradáveis e renováveis, alinhando-se aos princípios da economia circular e à crescente demanda por alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais (Phuong et al., 2021). Existem vários polissacarídeos que têm sido usados no desenvolvimento de filmes de

embalagem. Exemplos destes incluem quitosana, celulose, amido, pectina e κ-carragenina (Bhowmik et al., 2024).

A quitosana está ganhando popularidade devido às suas qualidades, além de biodegradável e biocompatível, possui diversas propriedades que a tornam adequada para aplicações na indústria de embalagens de alimentos (Sedaghat et al., 2017). Entre essas propriedades, destacam-se sua capacidade de formar filmes, atividade antimicrobiana, permeabilidade seletiva a gases e retenção de umidade, fatores que contribuem para o prolongamento da vida útil dos alimentos embalados (Hosseinnejad & Jafari, 2016; Abd El-Hack et al., 2020). Filmes de quitosana são reconhecidos por sua capacidade de inibir o crescimento de micro-organismos patogênicos e deteriorantes, o que reduz significativamente a necessidade de conservantes sintéticos nos alimentos. Essa característica antimicrobiana é de particular interesse em um cenário de consumidores cada vez mais conscientes e exigentes quanto à segurança alimentar e à redução de aditivos químicos nos alimentos processados (Wang et al., 2018; Elsabee & Abdou, 2013).

No entanto, a aplicação da quitosana em embalagens de alimentos ainda enfrenta desafios, como a necessidade de otimizar suas propriedades mecânicas e de barreira, tornando-a competitiva frente aos materiais plásticos convencionais. Para isso, várias abordagens vêm sendo estudadas, como a adição de compostos bioativos, a incorporação de nanopartículas e a combinação com outros biopolímeros, para aprimorar suas características e ampliar seu potencial de aplicação (Subramani & Manian, 2024). A integração de quitosana com materiais naturais de origem vegetal, por exemplo, pode resultar em compósitos com propriedades aprimoradas e que atendem a requisitos específicos de embalagem para diferentes tipos de alimentos, além de possibilitar a criação de embalagens multifuncionais e ambientalmente amigáveis (Stefanowska et al., 2023).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo extrair quitosana das cascas de camarão e avaliar a influência da sua concentração nas propriedades físicas de formulação de filmes a base de amido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Aquisição das cascas de camarão

As cascas de camarão utilizadas neste estudo foram adquiridas de uma empresa local de processamento de frutos do mar, localizada na cidade de Natal no Rio Grande do Norte, Brasil. As cascas foram coletadas imediatamente após o processamento do camarão, garantindo a frescura do material. Após a coleta, as cascas foram submetidas a um processo de limpeza, que envolveu a remoção de resíduos orgânicos e a lavagem com água destilada para eliminar impurezas. Em seguida, foram acondicionadas em recipientes herméticos e armazenadas em um ambiente refrigerado a 4 °C.

Obtenção das cascas de camarão em pó

As cascas de camarão coletadas foram submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar na temperatura de 60 °C. As cascas desidratadas foram moídas em moinho e transformadas em pó. O pó resultante foi armazenado em embalagens plásticas protegidas da luz em temperatura ambiente, até uso posterior.

Protocolo de extração da quitosana (Desmineralização, desproteinização e desacetilização)

O protocolo de extração da quitosana seguiu o protocolo experimental proposto por Hosney et al. (2024). Para isso, as etapas de desmineralização, desproteinização e desacetilização foram conduzidas. As cascas em pó resultantes foram fervidas em água destilada por 1 h para eliminar quaisquer resíduos de tecido restantes; em seguida, a solução da amostra foi filtrada e o filtrado foi seco em um forno a 70 °C por 24 h.

Inicialmente, 10 g de cascas em pó foram adicionadas a 3% de ácido clorídrico para eliminar o carbonato de cálcio. A proporção de cascas secas para ácido foi mantida em 1:10 (p/v). A reação foi realizada em temperatura ambiente (23 ± 2 °C) e 50 ± 2 °C, sob agitação constante a 150 rpm por 2 h. O gás dióxido de carbono foi formado devido à reação entre o ácido adicionado e o teor de carbonato de cálcio da casca. O produto obtido foi filtrado e enxaguado

completamente com água destilada para garantir a neutralidade. Em seguida, foi seco no forno a 75 °C por 12 h.

A remoção de proteínas das cascas secas em pó desmineralizadas foi realizada usando uma concentração constante de 4% de NaOH. A proporção de cascas sólidas desmineralizadas para solução de hidróxido de sódio foi mantida em 1:10 (p/v). O processo de desproteinização foi conduzido em temperatura ambiente (23 ± 2) °C com agitação constante a 150 rpm por 2 h; então, as amostras foram mantidas por 24 h na solução em temperatura ambiente sem agitação para obter quitina. A quitina extraída foi filtrada e lavada várias vezes para atingir a neutralidade, e posteriormente foi deixada passar por um processo de secagem em temperatura ambiente por 24 h.

A fase de desacetilação foi realizada tratando a quitina obtida com solução de hidróxido de sódio a 50% com uma razão sólido-solvente de 1:10 (p/v) por 2 h em temperatura ambiente (23 ± 2 °C) com agitação constante a 150 rpm; então, as amostras foram mantidas por uma duração de 24 h em temperatura ambiente sem agitação. Então, a quitosana extraída foi filtrada e enxaguada várias vezes com água destilada para remover o excesso de NaOH e garantir que o pH atingisse a neutralização (pH~7). As amostras de quitosana foram posteriormente deixadas para secar em temperatura ambiente por 24 h.

Rendimento

O rendimento de extração da quitosana foi avaliado a partir da quantidade de quitina presente nas cascas de camarão. Após a extração, o peso da quitosana obtida foi registrado. O rendimento foi calculado utilizando a Equação 1:

$$Rendimento\ (\%) = \frac{Peso\ de\ quitosana\ obtida}{Peso\ das\ cascas\ de\ camarão\ utilizada} x100 \qquad (1)$$

Teor de umidade

O teor de umidade da quitosana foi determinado pelo método de secagem em estufa. Para isso, aproximadamente 1 g da amostra de quitosana foi pesada em uma balança analítica e colocada em uma estufa a 105 °C por 24 horas. Após

o período de secagem, a amostra foi resfriada em um dessecador e novamente pesada.

Remoção de proteínas

A remoção de proteínas da quitosana foi realizada por meio de um tratamento com solução de hidróxido de sódio (NaOH). A quitosana foi dissolvida em uma solução de NaOH a 1 M e mantida sob agitação a 50 °C por 2 h. Após a reação, a solução foi filtrada e a quitosana recuperada foi lavada com água destilada até que o pH da solução fosse neutro. As amostras foram então secas em estufa a 50 °C até peso constante e analisadas quanto ao teor de proteínas utilizando o método de Kjeldahl (Bremner, 1960).

Produção dos filmes

Os filmes de quitosana e amido foram produzidos por meio do método de casting. Uma solução de quitosana foi preparada dissolvendo 2%, 3% e 4% (m/v) de quitosana em uma solução ácida de ácido acético a 1%. Simultaneamente, uma solução de amido de milho foi preparada com 2% (m/v) de amido em água. As duas soluções foram misturadas na proporção desejada e aquecidas a 60 °C com agitação constante até a completa dissolução do amido. Em seguida, a mistura foi vertida em placas de petri e deixada secar em ambiente ventilado a 25 °C por 24 h. Após a secagem, os filmes foram retirados das placas, pesados e armazenados.

Teor de água

O teor de umidade dos filmes de quitosana foi determinado pelo método de secagem em estufa. Inicialmente, pequenos pedaços de filme (cerca de 1 g) foram pesados com uma balança analítica e colocados em uma estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse período, os filmes foram resfriados em um dessecador e pesados novamente. O teor de umidade foi calculado pela diferença de peso antes e após a secagem.

Espessura

A espessura dos filmes de quitosana foi determinada utilizando um micrômetro digital. Para isso, foram realizadas cinco medições em diferentes

pontos do filme para garantir a homogeneidade, e a média das leituras foi calculada. A espessura foi expressa em milímetros (mm).

Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água foi medida seguindo o Método de Teste Padrão ASTM E96 (https://www.astm.org/Standards/E96.htm).

Solubilidade

A solubilidade dos filmes foi avaliada por meio de um ensaio em água. Para isso, pequenos pedaços de filme (cerca de 0,5 g) foram imersos em 50 mL de água destilada a 25 °C durante 24 horas. Após esse período, os filmes foram retirados, secos em estufa a 60 °C até peso constante e pesados novamente.

Análise estatística

As três formulações de filmes de quitosana (2%, 3% e 4% m/v) foram analisadas estatisticamente utilizando a Análise de Variância (ANOVA) para determinar a significância das diferenças nas propriedades dos filmes entre as diferentes concentrações. Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey para comparações múltiplas, considerando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados do rendimento de extração, teor de umidade e teor de proteínas da quitosana extraída das cascas de camarão. Os dados revelam um rendimento de extração de 35,81%, o que demonstra a eficácia do processo de extração utilizado. Esse valor é consideravelmente elevado em comparação com outros estudos que reportam rendimentos entre 15% e 25% para quitosana extraída de fontes similares (Sebastian et al., 2019). O alto rendimento sugere que as cascas de camarão são uma fonte promissora para a obtenção de quitosana, contribuindo para a valorização de um resíduo industrial frequentemente descartado (Pakizeh et al., 2021).

Tabela 1 – Rendimento de extração, teor de umidade e de proteínas da quitosana extraída das cascas de camarão.

Parâmetros	**Quitosana (média ± desvio padrão)**
Rendimento de extração (%)	35,81 ± 2,01
Teor de umidade (%)	3,52 ± 0,42
Teor de proteínas (%)	78,96 ± 0,75

O teor de umidade da quitosana foi de 3,52%, um valor que está dentro da faixa comumente observada para biopolímeros. Um baixo teor de umidade é desejável, pois indica uma maior estabilidade e durabilidade do material, reduzindo o risco de degradação microbiológica durante o armazenamento. Além disso, isso favorece a aplicação da quitosana em embalagens alimentares, uma vez que a umidade pode impactar negativamente a integridade dos produtos embalados (Bella et al., 2016).

O teor de proteínas na quitosana foi encontrado em 78,96 ± 0,75%, o que é consideravelmente alto. A presença significativa de proteínas pode ser atribuída à incompleta remoção de resíduos protéicos durante o processo de extração, mas também pode ter implicações positivas. A quitosana com um elevado teor de proteínas pode apresentar propriedades funcionais melhoradas, como a capacidade de formar complexos com outros componentes alimentares, potencializando sua utilização como um agente emulsificante ou espessante em formulações alimentícias (Kumar et al., 2020).

A combinação de um alto rendimento de extração, baixo teor de umidade e significativo teor de proteínas não só ressalta a viabilidade econômica do processo, mas também sugere que essa quitosana pode ser uma alternativa sustentável e eficiente para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis. Nesse sentido, filmes a base de amido foram desenvolvidos com diferentes concentrações da quitosana extraída para avaliar o seu potencial, os resultados obtidos para as propriedades físicas dos filmes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades física dos filmes elaborados com diferentes concentrações (2%, 3% e 4%) de quitosana.

Parâmetros	**F1**	**F2**	**F3**
Teor de água (%)	11,59 ± 0,33a	12,01 ± 0,62a	11,05 ± 0,29a
Espessura (mm)	0,04 ± 0,01a	0,03 ± 0,00a	0,04 ±0,01a
Permeabilidade ao vapor de água (g/m·s·Pa) $x10^{-11}$	3,11 ± 0,12c	5,80 ± 0,09a	4,05 ± 0,15b
Solubilidade (%)	40,08 ± 0,45b	34,59 ± 0,83c	41,25 ± 0,27a

Legenda: F1: filmes elaborados com 2% de quitosana; F2: filmes elaborados com 3% de quitosana; F3: filmes elaborados com 4% de quitosana; Letras iguais na mesma linha, não indicam diferença estatística significativa entre as formulações pelo teste de Tukey.

O teor de água nos filmes variou entre 11,05% (F3) e 12,01% (F2), sem diferença estatística significativa entre as formulações ($p>0,05$). Um teor de água adequado é importante, pois pode influenciar a flexibilidade e a integridade estrutural dos filmes (Yakimets et al., 2007). Filmes com menor teor de água, como os da formulação F3 (4% de quitosana), tendem a apresentar maior resistência a degradação microbiológica, o que é benéfico para aplicações em embalagens alimentares. Isso sugere que a formulação F3 pode ser uma opção mais robusta em comparação com as demais, apesar de não haver diferença estatística significativa.

A espessura dos filmes variou de 0,03 (F2) a 0,04 mm (F1 e F3). Embora a variação na espessura não tenha mostrado diferença significativa ($p>0,05$), a espessura dos filmes é um fator crítico que afeta tanto a resistência mecânica quanto a permeabilidade ao vapor de água. Filmes mais espessos geralmente proporcionam barreiras mais eficazes, enquanto filmes mais finos podem ser mais flexíveis e fáceis de manusear (Kwon et al., 20108).

A permeabilidade ao vapor de água apresentou uma variação mais acentuada entre as formulações, com F2 (3% de quitosana) apresentando a maior permeabilidade (5,80 x 10^{-11} g/m·s·Pa), seguido por F3 (4% de quitosana) com 4,05 x 10^{-11} g/m·s·Pa, e F1 (2% de quitosana) com 3,11 x 10^{-11} g/m·s·Pa.

Essa tendência indica que, até uma certa concentração, a permeabilidade ao vapor de água tende a aumentar, possivelmente devido à maior quantidade de quitosana, que pode criar uma matriz mais densa e complexa. No entanto, a redução observada em F3 pode ser atribuída a possíveis alterações na estrutura da rede polimérica em concentrações mais elevadas, que podem resultar em uma maior compactação e menor espaço livre para a passagem de vapor (Cacicedo et al., 2020).

A solubilidade dos filmes variou entre 34,59 (F2) a 41,25 (F3). A formulação F3 (4% de quitosana) apresentou a maior solubilidade, o que pode indicar uma maior fragilidade do filme em ambientes úmidos. Filmes menos solúveis são desejáveis para aplicações de embalagem, pois indicam que o material pode manter sua integridade durante o armazenamento e o manuseio (Rosenbloom & Zhao, 2021).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As propriedades da quitosana extraída das cascas de camarão, juntamente com as características dos filmes produzidos a partir de diferentes concentrações de quitosana, demonstram o potencial desse biopolímero como um material sustentável e funcional para aplicações em embalagens alimentares. O rendimento de extração significativo, o baixo teor de umidade e o elevado teor de proteínas ressaltam a viabilidade econômica e a funcionalidade da quitosana, enquanto as propriedades dos filmes, como a permeabilidade ao vapor de água e a solubilidade, indicam a necessidade de otimização das formulações para atender a requisitos específicos de desempenho.

Para trabalhos futuros, sugere-se a investigação de aditivos naturais que possam melhorar ainda mais as propriedades mecânicas e barreira dos filmes, bem como a realização de estudos de interação com diferentes tipos de alimentos, visando expandir as aplicações da quitosana na indústria alimentícia e contribuir para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis mais eficientes. Além disso, a avaliação das propriedades antimicrobianas dos filmes pode oferecer novas oportunidades para a preservação de alimentos, agregando valor ao uso de quitosana como material de embalagem.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Shafi, M. E., Zabermawi, N. M., Arif, M., Batiha, G. E., ... & Al-Sagheer, A. A. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *164*, 2726-2744.

Bella, C., Griffa, M., Ulrich, T., & Lura, P. (2016). Early-age elastic properties of cement-based materials as a function of decreasing moisture content. *Cement and Concrete Research*, 89, 87-96.

Bhowmik, S., Agyei, D., & Ali, A. (2024). Smart chitosan films as intelligent food packaging: An approach to monitoring food freshness and biomarkers. *Food Packaging and Shelf Life*, *46*, 101370.

Bremner, J. M. (1960). Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. Journal of the Science of Food and Agriculture, 11(7), 366-372.

Cacicedo, M. L., Pacheco, G., Islan, G. A., Alvarez, V. A., Barud, H. S., & Castro, G. R. (2020). Chitosan-bacterial cellulose patch of ciprofloxacin for wound dressing: Preparation and characterization studies. *International journal of biological macromolecules*, *147*, 1136-1145.

Elsabee, M., & Abdou, E. (2013). Chitosan based edible films and coatings: a review.. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 33 4, 1819-41.

Fu, X., Zhu, L., Li, L., Zhang, T., Li, M., & Mou, H. (2019). Eco-friendly preparation of chitooligosaccharides with different degrees of deacetylation from shrimp shell waste and their effects on the germination of wheat seeds. *Marine Life Science & Technology*, 1, 95 - 103.

Hosney, A., Ullah, S., & Barčauskaitė, K. (2022). A Review of the Chemical Extraction of Chitosan from Shrimp Wastes and Prediction of Factors Affecting Chitosan Yield by Using an Artificial Neural Network. *Marine Drugs*, 20.

Hosney, A., Urbonavičius, M., Varnagiris, Š., Ignatjev, I., Ullah, S., & Barčauskaitė, K. (2024). Feasibility study on optimizing chitosan extraction and characterization from shrimp biowaste via acidic demineralization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-15.

Hosseinnejad, M., & Jafari, S. (2016). Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan. *International journal of biological macromolecules*, 85, 467-75.

Kumar, L., Anas, K., Tejpal, S., Chatterjee, S., Vishnu, V., Asha, K., Anandan, R., & Mathew, S. (2020). Chitosan: Whey Protein Isolate: An Effective Emulsifier for Stabilization of Squalene Based Emulsions. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 3477-3483.

Kwon, J., Jeong, E., Jeon, Y., Kim, D., Lee, S., & Choi, K. (2018). Design of Highly Water Resistant, Impermeable, and Flexible Thin-Film Encapsulation Based on Inorganic/Organic Hybrid Layers.. *ACS applied materials & interfaces*, 11 3, 3251-3261.

Nimitkeatkai, H., Apiwatanapiwat, W., Janchai, P., Meelaksana, J., Vaithanomsat, P., Techavuthiporn, C., & Jarerat, A. (2024). Valorization of Freshwater Crab Shell Residues to Chitosan for Postharvest Quality of Mango (Mangifera indica L.) by Fruit Coating. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101441.

Pakizeh, M., Moradi, A., & Ghassemi, T. (2021). Chemical Extraction and Modification of Chitin and Chitosan from Shrimp Shells. *European Polymer Journal*, 159, 110709.

Pakizeh, M., Moradi, A., & Ghassemi, T. (2021). Chemical Extraction and Modification of Chitin and Chitosan from Shrimp Shells. *European Polymer Journal*, 159, 110709.

Phuong, P., Trung, T., Stevens, W., Minh, N., Bao, H., & Hoa, N. (2021). Valorization of Heavy Waste of Modern Intensive Shrimp Farming as a Potential Source for Chitin and Chitosan Production. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 823 - 830.

Rosenbloom, R. A., & Zhao, Y. (2021). Hydroxypropyl methylcellulose or soy protein isolate-based edible, water-soluble, and antioxidant films for safflower oil packaging. *Journal of Food Science*, *86*(1), 129-139.

Sebastian, J., Rouissi, T., Brar, S., Hegde, K., & Verma, M. (2019). Microwave-assisted extraction of chitosan from Rhizopus oryzae NRRL 1526 biomass. *Carbohydrate polymers*, 219, 431-440.

Sedaghat, F., Yousefzadi, M., Toiserkani, H., & Najafipour, S. (2017). Bioconversion of shrimp waste Penaeus merguiensis using lactic acid fermentation: An alternative procedure for chemical extraction of chitin and chitosan. *International journal of biological macromolecules*, 104 Pt A, 883-888.

Stefanowska, K., Woźniak, M., Dobrucka, R., & Ratajczak, I. (2023). Chitosan with Natural Additives as a Potential Food Packaging. *Materials*, 16.

Subramani, G., & Manian, R. (2024). Bioactive chitosan films: Integrating antibacterial, antioxidant, and antifungal properties in food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, *278*, 134596.

Wang, H., Qian, J., & Ding, F. (2018). Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66 2, 395-413.

Yakimets, I., Paes, S., Wellner, N., Smith, A., Wilson, R., & Mitchell, J. (2007). Effect of water content on the structural reorganization and elastic properties of biopolymer films: a comparative study.. *Biomacromolecules*, 8 5, 1710-22.

Zhang, H., Yun, S., Song, L., Zhang, Y., & Zhao, Y. (2017). The preparation and characterization of chitin and chitosan under large-scale submerged fermentation level using shrimp by-products as substrate. *International journal of biological macromolecules*, 96, 334-339.

Capítulo 08

DOI: 10.53934/agronfy.2025.04.08

DESENVOLVIMENTOS DE PÃO DE FORMA ENRIQUECIDO COM FARINHA DE INSETOS COMESTIVEIS: PARÂMETROS DE QUALIDADE

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – (ORCID: 0000-0001-6439-3203)
Newton Carlos Santos - (ORCID: 0000-0002-9603-2503)
Anna Emanuelle Soares Tomé – (ORCID: 0000-0002-2332-3369)
Priscylla Palmeira Diniz Rosendo – (ORCID: 0000-0001-7261-8553)
Raquel Alves de Luna Dias – (ORCID: 0009- 0007-4807-8463)
José Nildo Vieira Deodato – (ORCID: 0000-0003-1456-6358)

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse por fontes alternativas de proteínas tem incentivado a pesquisa e o desenvolvimento de produtos alimentícios. As farinhas de insetos comestíveis, especialmente a farinha de grilo, emergem como opções promissoras, não apenas por seu valor nutricional, mas também por sua contribuição à sustentabilidade alimentar (Combrzyński et al., 2023). Esses insetos são ricos em proteínas, fibras, vitaminas e minerais, apresentando perfis nutricionais que podem complementar as dietas tradicionais, especialmente em regiões onde a desnutrição e a insegurança alimentar são prevalentes (Smetana et al., 2016; van Huis et al., 2013).

Os insetos têm a capacidade de converter alimentos de forma mais eficiente do que os animais de criação convencionais, exigindo menos espaço, água e alimento (Vasilica et al., 2022). Por exemplo, a produção de grilos consome até 80% menos alimento e 90% menos água em comparação com a produção de carne bovina para a mesma quantidade de proteína (Oonincx et al., 2010). Além disso, a criação de insetos gera uma quantidade significativamente menor de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Nijdam et al., 2012). Esses fatores fazem dos insetos uma solução viável para os desafios da produção alimentar sustentável.

No contexto da panificação, a incorporação de farinha de grilo em pães de trigo pode não apenas enriquecer o valor nutricional do produto, mas também

oferecer uma alternativa inovadora para atender à demanda por alimentos sustentáveis (Osimani et al., 2018). Estudos anteriores mostraram que a adição de farinhas de insetos pode melhorar a qualidade do pão, incluindo características como textura, sabor e valor nutricional (Bakkali et al., 2020; Álvarez-Jubete et al., 2010). A utilização de ingredientes alternativos na panificação, como farinhas de insetos, pode, portanto, alinhar-se às diretrizes dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 2, que visa acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição (Moruzzo et al., 2021).

Além disso, esse estudo atende ao ODS 12, que incentiva a produção e o consumo sustentáveis. A pesquisa sobre a adição de farinhas de insetos em produtos como pão não apenas promove a diversificação da dieta, mas também pode reduzir o desperdício alimentar, uma vez que os subprodutos da produção de insetos podem ser aproveitados de maneira eficiente (Sweeney et al., 2016; Anusha & Negi, 2023). Dessa forma, a panificação com insetos não apenas contribui para a segurança alimentar, mas também promove um sistema alimentar mais sustentável e resiliente.

Assim, este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da adição de farinha de grilo no desenvolvimento de pães de trigo, analisando parâmetros de qualidade

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção da farinha de grilo

Grilos desidratados foram adquiridos da Entomo Farms (Norwood, Canadá). Para a obtenção do pó, os grilos passaram inicialmente por uma triagem visual para garantir a remoção de eventuais impurezas. Em seguida, foram moídos em moinho de lâminas de alta rotação até obtenção de um pó fino e homogêneo. Para assegurar a padronização do tamanho das partículas, o pó foi peneirado em malha de 60 mesh (250 μm), e a fração retida foi novamente moída até atender à granulometria desejada. O pó final foi então armazenado em recipientes herméticos, protegidos da luz e mantidos em temperatura ambiente até o momento de sua incorporação nas formulações de pão.

Desenvolvimento do pão

Foi desenvolvimento quatro formulações de pães com diferentes teores de farinha de grilo (0%, 5%, 10% e 15%), que substituíram a farinha de trigo em proporção correspondente. As formulações e ingredientes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Ingredientes e proporções das diferentes formulações dos pães desenvolvidos com adição da farinha de grilo.

Ingredientes	F0	F1	F2	F3
Farinha de trigo (g)	100	95	90	85
Farinha de grilo (g)	0	5	10	15
Água (mL)	60	60	60	60
Sal (g)	1,5	1,5	1,5	1,5
Açúcar (g)	3	3	3	3
Fermento biológico (g)	2	2	2	2
Óleo vegetal (mL)	5	5	5	5

Inicialmente, os ingredientes secos (farinha de trigo, farinha de grilo, sal, açúcar e fermento) foram pesados e misturados em batedeira até homogeneização. Em seguida, foram adicionados água e óleo vegetal, e a massa foi sovada por 10 min em velocidade média até obter-se uma consistência homogênea e elástica. A massa foi então deixada em fermentação primária em condições controladas (28°C e 75% de umidade relativa) por 1 h, modelada e transferida para formas de pão, e submetida a uma segunda fermentação por 45 min. Os pães foram assados em forno pré-aquecido a 180 °C por 30 min e, após assados, resfriados em temperatura ambiente por 1 h antes das análises.

Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método de secagem em estufa. Aproximadamente 5 g de amostra foram pesados e colocados em estufa a 105 °C até peso constante, conforme a norma AOAC 925.10.

Teor e proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo método Kjeldahl, conforme a norma AOAC 979.09. Uma quantidade da de amostra (1 g) foi digerida em ácido sulfúrico concentrado na presença de um catalisador até a completa decomposição da matéria orgânica. A amônia liberada foi destilada em solução de ácido bórico e, posteriormente, titulada com ácido clorídrico padrão. O teor de nitrogênio obtido foi multiplicado pelo fator 6,25 para estimar o teor de proteína bruta (AOAC, 2016).

Teor de lipídeos

O teor de lipídeos foi quantificado pelo método Soxhlet, seguindo a metodologia AOAC 920.39. Cerca de 3 g da amostra foram secos e, em seguida, submetidos a extração com éter de petróleo por aproximadamente 6 horas em extrator Soxhlet. O solvente foi evaporado, e o resíduo lipídico foi pesado para calcular a porcentagem de lipídeos presentes na amostra (AOAC, 2016).

Volume específico

O volume específico dos pães foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de colza, conforme a norma AACC 10-05. Cada pão foi envolvido em um saco plástico para evitar a entrada de sementes no miolo e colocado em um recipiente graduado contendo as sementes de colza. O volume deslocado pelas sementes foi registrado como o volume do pão, e o volume específico foi calculado dividindo-se o volume do pão pela sua massa (AACC, 2000).

Firmeza

A firmeza foi medida em texturômetro utilizando uma sonda cilíndrica com compressão de 50%. Cada amostra de pão foi cortada em fatias de 2 cm de espessura e submetida ao teste de compressão. A força máxima necessária para comprimir a fatia até 50% de sua altura foi registrada como a firmeza do pão, conforme o método AACC 74-09 (AACC, 2000).

Análise estatística

Para análise estatística dos dados, foi realizada uma ANOVA com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), e os resultados foram processados no software Statistic 7.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise do teor de umidade das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha de grilo revelou variações não lineares, sugerindo que a adição de farinha de grilo não seguiu um padrão definido de impacto sobre o teor de umidade. Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Teor de umidade dos pães de trigo elaborados com diferentes concentrações de farinha de grilo.

Formulações	Teor de umidade (%)
F0	32,95 ± 0,35a
F1	33,06 ± 0,14a
F2	31,54 ± 0,29b
F3	32,81 ± 0,55a

Legenda: F0: pão elaborado sem farinha de grilo (controle); F1: pão elaborado com 5% da farinha de grilo; F2: pão elaborado com 10% da farinha de grilo; F3: pão elaborado com 15% da farinha de grilo; Letras iguais na mesma coluna, não indicam diferença estatística significativa entre as formulações de pães desenvolvidas.

O pão controle (F0), sem farinha de grilo, apresentou um teor de umidade de 32,95%, semelhante ao da formulação com 5% de farinha de grilo (F1), que foi de 33,06%. Ambos não apresentaram diferença estatística significativa entre si ($p>0,05$). A formulação com 10% de farinha de grilo (F2) apresentou uma ligeira redução no teor de umidade, com valor de 31,54%, diferindo estatisticamente das formulações F0, F1 e F3. Já a formulação com 15% de

farinha de grilo (F3) mostrou um teor de umidade de 32,81%, valor estatisticamente semelhante ao das formulações F0 e F1.

Essas variações sem um comportamento definido indicam que a adição de farinha de grilo não promoveu um efeito consistente no teor de umidade, possivelmente devido à interação complexa entre a farinha de grilo e a matriz do pão, que inclui farinha de trigo e água. A farinha de grilo possui diferentes características de retenção de água em comparação com a farinha de trigo, o que pode ter contribuído para flutuações nos valores de umidade (Khatun et al., 2021). Entretanto, a ausência de um padrão claro de aumento ou redução no teor de umidade sugere que fatores como a distribuição de partículas de farinha de grilo e a formação da rede de glúten também podem ter influenciado a retenção de umidade de forma não previsível.

O efeito da adição da farinha de grilo no teor de proteínas nas formulações dos pães desenvolvidos, pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Teor de proteínas dos pães de trigo elaborados com diferentes concentrações de farinha de grilo.

Formulações	Teor de proteínas (%)
F0	9,52 ± 0,32d
F1	11,20 ± 0,29c
F2	13,61 ± 0,14b
F3	15,96 ± 0,22a

Legenda: F0: pão elaborado sem farinha de grilo (controle); F1: pão elaborado com 5% da farinha de grilo; F2: pão elaborado com 10% da farinha de grilo; F3: pão elaborado com 15% da farinha de grilo; Letras iguais na mesma coluna, não indicam diferença estatística significativa entre as formulações de pães desenvolvidas.

A adição de farinha de grilo nas formulações de pães apresentou um impacto significativo no teor de proteínas, que aumentou progressivamente com a maior concentração desse ingrediente ($p<0,05$). Observa-se que a formulação controle (F0), sem a adição de farinha de grilo, apresentou um teor de proteínas

de 9,52%, enquanto as formulações com 5%, 10% e 15% de farinha de grilo (F1, F2 e F3) mostraram teores de proteínas de 11,20%, 13,61% e 15,96%, respectivamente. Esse incremento é atribuído à composição nutricional rica em proteínas da farinha de grilo, que é conhecida por possuir um teor proteico elevado em comparação com a farinha de trigo convencional. A adição de apenas 5% de farinha de grilo aumentou o teor de proteínas em aproximadamente 17,6% em relação ao controle. Com 10% e 15% de adição, os teores proteicos aumentaram em 43% e 67,7%, respectivamente, em comparação ao pão sem farinha de grilo.

A adição de farinha de grilo nas formulações de pães influenciou o teor de lipídeos (Tabela 4) de forma significativa, especialmente nas concentrações mais altas. O pão controle (F0), sem adição de farinha de grilo, apresentou um teor de lipídeos de 3,17%, enquanto as formulações F1, F2 e F3 (com 5%, 10% e 15% de farinha de grilo, respectivamente) apresentaram teores de lipídeos de maiores. Observa-se que os valores de F2 e F3 foram significativamente mais altos do que o controle e F1, sugerindo que a adição de farinha de grilo impacta o perfil lipídico dos pães, especialmente a partir de concentrações de 10%.

Tabela 4 – Teor de lipídeos dos pães de trigo elaborados com diferentes concentrações de farinha de grilo.

Formulações	Teor de lipídeos (%)
F0	3,17 ± 0,46b
F1	3,55 ± 0,19b
F2	4,12 ± 0,32a
F3	4,28 ± 0,55a

Legenda: F0: pão elaborado sem farinha de grilo (controle); F1: pão elaborado com 5% da farinha de grilo; F2: pão elaborado com 10% da farinha de grilo; F3: pão elaborado com 15% da farinha de grilo; Letras iguais na mesma coluna, não indicam diferença estatística significativa entre as formulações de pães desenvolvidas.

Esse aumento no teor de lipídeos pode ser atribuído à composição natural da farinha de grilo, que é rica em gorduras saudáveis, como ácidos graxos essenciais, incluindo os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6. Essa elevação nos níveis lipídicos adiciona um valor nutricional importante ao produto, já que esses ácidos graxos são reconhecidos por seus benefícios à saúde cardiovascular e pelo papel que desempenham em processos anti-inflamatórios e na função cognitiva (Maiyo et al., 2022).

Além disso, a ligeira diferença entre as formulações F1 e o controle (F0) não foi estatisticamente significativa, sugerindo que a adição de apenas 5% de farinha de grilo não eleva o teor lipídico de forma relevante. Contudo, a partir de 10% de farinha de grilo, o teor de lipídeos aumenta significativamente, o que indica uma contribuição crescente de lipídeos conforme a quantidade de farinha de grilo na formulação aumenta.

Tabela 5 – Volume específico e firmeza dos pães de trigo elaborados com diferentes concentrações de farinha de grilo.

Formulações	Volume específico (cm^3/g)	Firmeza (N)
F0	4,88 ± 0,12a	4,02 ± 0,56a
F1	3,75 ± 0,19b	4,77 ± 0,23a
F2	3,24 ± 0,37b	4,98 ± 0,50a
F3	2,91 ± 0,22b	5,10 ± 0,45a

Legenda: F0: pão elaborado sem farinha de grilo (controle); F1: pão elaborado com 5% da farinha de grilo; F2: pão elaborado com 10% da farinha de grilo; F3: pão elaborado com 15% da farinha de grilo; Letras iguais na mesma coluna, não indicam diferença estatística significativa entre as formulações de pães desenvolvidas.

O volume específico dos pães apresentou uma tendência de redução com o aumento da concentração de farinha de grilo. A formulação controle (F0), que não continha farinha de grilo, obteve um volume específico de 4,88 cm^3/g, o que é considerado um valor relativamente alto para pães, refletindo uma boa capacidade de expansão e aeração. Em contraste, as formulações F1, F2 e F3,

que continham 5%, 10% e 15% de farinha de grilo, respectivamente, mostraram volumes específicos significativamente menores: 3,75 cm³/g, 3,24 cm³/g e 2,91 cm³/g. Essa diminuição é indicativa de que a incorporação de farinha de grilo pode ter interferido na formação da rede de glúten e, consequentemente, na capacidade do pão de reter gases durante o processo de fermentação, levando a um produto final com menor volume e, potencialmente, uma textura mais densa (Kowalczewski et al., 2019).

Em relação à firmeza, as formulações apresentaram um aumento na resistência à compressão conforme a quantidade de farinha de grilo aumentou. O pão controle (F0) mostrou uma firmeza de 4,02 N, enquanto as formulações F1, F2 e F3 apresentaram firmezas de 4,77 N, 4,98 N e 5,10 N, respectivamente. Esse aumento na firmeza sugere que a farinha de grilo, ao ser incorporada à massa, pode ter contribuído para uma estrutura mais compacta e densa, possivelmente devido à interação das proteínas presentes na farinha de grilo com a rede de glúten, que afeta a textura final do pão (Machado & Thys, 2019).

Em síntese, a adição de farinha de grilo nos pães de trigo afetou tanto o volume específico quanto a firmeza das formulações. A diminuição do volume específico indica que a capacidade de expansão dos pães foi comprometida, enquanto o aumento da firmeza sugere uma textura mais densa e firme

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formulações de pães de trigo enriquecidos com farinha de grilo demonstraram um aumento significativo no teor de proteínas e lipídios, embora tenham apresentado uma diminuição no volume específico e um aumento na firmeza, evidenciando a potencialidade da farinha de grilo como um ingrediente nutritivo, mas também os desafios que sua adição pode trazer para a textura do produto. Para trabalhos futuros, recomenda-se investigar diferentes métodos de processamento e otimização das proporções de farinha de grilo, bem como a combinação com outros ingredientes funcionais, como fibras e emulsificantes, para melhorar a aeração e a maciez dos pães. Além disso, estudos sensoriais poderiam ser realizados para avaliar a aceitação do consumidor em relação às propriedades sensoriais dos pães enriquecidos, visando fomentar o desenvolvimento de produtos inovadores e sustentáveis no setor de panificação.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA em processo de escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram GPT-4 para melhorar o fluxo de escrita. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their use as functional gluten-free ingredients. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(9), 1965-1971.

American Association of Cereal Chemists (AACC). (2000). *Approved Methods of the AACC* (11th ed.). AACC International, St. Paul, MN, USA.

Anusha, S., & Negi, P. S. (2023). Edible insects as innovative ingredients: processing technologies and insect incorporated foods. *Journal of Insects as Food and Feed*, *9*(8), 1003-1016.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). Official Method of Analysis (20th ed.). AOAC International, Rockville, MD, USA.

Bakkali, A., Riera, M., & Marín, M. (2020). Nutritional and sensory quality of bread enriched with cricket flour. *Journal of Food Science*, 85(8), 2534-2542.

Combrzyński, M., Oniszczuk, T., Wójtowicz, A., Biernacka, B., Wojtunik-Kulesza, K., Bąkowski, M., Różyło, R., Szponar, J., Soja, J., & Oniszczuk, A. (2023). Nutritional Characteristics of New Generation Extruded Snack Pellets with Edible Cricket Flour Processed at Various Extrusion Conditions. *Antioxidants*, 12.

Khatun, H., Van Der Borght, M., Akhtaruzzaman, M., & Claes, J. (2021). Rheological characterization of chapatti (Roti) enriched with flour or paste of house crickets (Acheta Domesticus). *Foods*, *10*(11), 2750.

Kowalczewski, P. Ł., Walkowiak, K., Masewicz, Ł., Bartczak, O., Lewandowicz, J., Kubiak, P., & Baranowska, H. M. (2019). Gluten-free bread with cricket powder—Mechanical properties and molecular water dynamics in dough and ready product. *Foods*, *8*(7), 240.

Machado, C. R., & Thys, R. C. S. (2019). Cricket powder (Gryllus assimilis) as a new alternative protein source for gluten-free breads. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *56*, 102180.

Maiyo, N., Khamis, F., Okoth, M., Abong', G., Subramanian, S., Egonyu, J., Xavier, C., Ekesi, S., Omuse, E., Nakimbugwe, D., Ssepuuya, G., Ghemoh, C., & Tanga, C. (2022). Nutritional Quality of Four Novel Porridge Products Blended with Edible Cricket (Scapsipedus icipe) Meal for Food. *Foods*, 11.

Moruzzo, R., Mancini, S., & Guidi, A. (2021). Edible insects and sustainable development goals. *Insects*, *12*(6), 557.

Nijdam, D., Rood, T., & Westhoek, H. (2012). The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, 37(6), 760-770.

Oonincx, D. G. A. B., van der Fels-Klerx, H. J., van der Poel, A. F. B., & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia emissions from insect farming. *PLOS ONE*, 5(12), e14445.

Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., ... & Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (Acheta domesticus): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative food science & emerging technologies*, *48*, 150-163.

Smetana, S., Mathys, A., Kizerwetter, K., & Heinz, V. (2016). Meat alternatives: Life cycle assessment of most known meat substitutes. *Food Research International*, 112, 319-332.

Sweeney, M., & Barry, K. (2016). Insect protein and the future of food security. *Environmental Science & Policy*, 66, 100-108.
Van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., & van der Poel, A. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO.

Vasilica, B., Chiș, M., Alexa, E., Pop, C., Păucean, A., Man, S., Igual, M., Haydee, K., Dalma, K., Stănilă, S., Socaci, S., Fărcaş, A., Berbecea, A., Popescu, I., & Muste, S. (2022). The Impact of Insect Flour on Sourdough Fermentation-Fatty Acids, Amino-Acids, Minerals and Volatile Profile. *Insects*, 13.



ISBN 978-658506224-4